

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**GIOVANNI DE MEDEIROS SILVESTRI**

**BIBLIOTECA DE PROPRIEDADES  
TERMODINÂMICAS PARA SUBSTÂNCIAS DE  
VAN-DER-WAALS EM LINGUAGEM JULIA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**GUARAPUAVA  
2021**

**GIOVANNI DE MEDEIROS SILVESTRI**

**BIBLIOTECA DE PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS PARA  
SUBSTÂNCIAS DE VAN-DER-WAALS EM LINGUAGEM JULIA**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Coordenação de Engenharia Mecânica, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

**Orientador:** Prof. Dr. Christian Naaktgebo-  
ren

**GUARAPUAVA**

**2021**

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **BIBLIOTECA DE PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS PARA SUBSTÂNCIAS DE VAN-DER-WAALS EM LINGUAGEM JULIA**

**GIOVANNI DE MEDEIROS SILVESTRI**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em Guarapuava, Paraná na data de 12 de Março de 2021 de maneira remota, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Christian Naaktgeboren  
Prof. Orientador

---

Sediane Carmem Lunardi Hernandes  
Prof<sup>a</sup>. membra da Banca

---

Sérgio Dalmás  
Prof. membro da Banca

---

Aldo Przybysz  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

---

Giovanni de Medeiros Silvestri

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

## Resumo

SILVESTRI, Giovanni BIBLIOTECA DE PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS PARA SUBSTÂNCIAS DE VAN-DER-WAALS EM LINGUAGEM JULIA. 276 f. Trabalho de conclusão de curso, Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2021.

As propriedades termodinâmicas são constantemente utilizadas para fins de cálculo, projeto e descrição de processos e fenômenos, conseqüentemente as bibliotecas de propriedades se constituem como ferramentas muito utilizadas para esses trabalhos, proporcionando velocidade e praticidade. Os algoritmos dessas bibliotecas são baseados em equações de estado. Um modelo existente deste tipo de equação é o modelo de van-der-Waals, que além de utilizar apenas duas constantes, apresenta solução exata para a transição de fase líquido-vapor através da solução de Gibbs para a construção de Maxwell e possui uma forma adimensional dependente apenas das propriedades críticas da substância, o que possibilita trabalhar com substâncias que possuem poucos dados experimentais conhecidos. A revisão bibliográfica realizada indica a aparente inexistência de bibliotecas que implementem esse modelo. Portanto, o objetivo deste trabalho consiste em implementar uma biblioteca de propriedades com esta equação de estado. Para o desenvolvimento da biblioteca, utilizando o contexto de velocidade e praticidade mencionado, decidiu-se por utilizar a linguagem Julia na implementação, visto que é uma linguagem de alto nível, alto desempenho, dinâmica e com uma sintaxe muito próxima à matemática, constituindo-se como uma linguagem voltada à ciência, e até o momento, a revisão bibliográfica realizada indica a aparente inexistência de uma biblioteca de propriedades nativa nessa linguagem.

**Palavras-chaves:** Biblioteca de Propriedades, Equação de Estado, Van-der-Waals, Linguagem Julia.

## Abstract

SILVESTRI, Giovanni THERMODYNAMIC PROPERTY LIBRARY FOR VAN-DER-WAALS SUBSTANCES IN JULIA LANGUAGE. 276 f. Course Completion Work, Mechanical Engineering, Federal Technology University - Paraná, Guarapuava, 2021.

Thermodynamic properties are constantly used to calculate, design, and describe processes and phenomena, consequently, property libraries are used as tools for these works, providing speed and practicality. The algorithms of these libraries are based on equations of state. An existing model of this type of equation is the van-der-Waals model, which in addition to using only two constants, presents an exact solution for the transition of liquid-vapor phase through the Gibbs solution to the Maxwell construction and has a dimensionless form dependent only of the critical properties of the substance, which makes it possible to work with substances that have little known experimental data. The bibliographic review carried out indicates the apparent lack of libraries that implement this model. Therefore, the objective of this work is to implement a property library with this equation of state. For the development of the library, using the context of speed and practicality mentioned, it was decided to use the Julia language in the implementation, since it is a high-level language that also has high performance, is dynamic and with a syntax very close to mathematics, constituting itself as a science-oriented language, and so far, the bibliographic review carried out indicates the apparent absence of a property library native in that language.

**Key-words:** Property Library, Equation of State, Van-der-Waals, Julia Language.

## Lista de ilustrações

Figura 3.1 – Inflexão no ponto crítico da isoterma crítica . . . . .	27
Figura 3.2 – Isotermas de van-der-Waals . . . . .	28
Figura 3.3 – Regiões da Isoterma de van-der-Waals no diagrama $P \times v$ . . . . .	30
Figura 3.4 – Áreas entre as isotermas de van-der-Waals e as de substâncias simples .	31
Figura 3.5 – Isotermas corrigidas de van-der-Waals . . . . .	32
Figura 3.6 – Isotermas corrigidas de van-der-Waals em escala logarítmica . . . . .	32
Figura 3.7 – Ciclo Rankine Ideal . . . . .	36
Figura 3.8 – Diagrama $T \times s$ do Ciclo Rankine Ideal . . . . .	37
Figura 3.9 – Ciclo Rankine Regenerativo com Reaquecimento utilizando um Aquecedor de Alimentação de Água fechado . . . . .	38
Figura 3.10–Ciclo Rankine Regenerativo utilizando um Aquecedor de Alimentação de Água aberto . . . . .	39
Figura 3.11–Ciclo Brayton Ideal . . . . .	40
Figura 3.12–Ciclo Brayton com reaquecimento, regeneração e resfriamento intermediário . . . . .	40
Figura 3.13–Ciclo Linde-Hampson Ideal . . . . .	41
Figura 3.14–Interpretação geométrica do método de Newton-Raphson . . . . .	42
Figura 3.15–Interpretação geométrica do método da Secante . . . . .	43
Figura 3.16–Resultados do <i>Microbenchmark</i> . . . . .	46
Figura 4.1 – Diagrama $P_r \times v_r$ de van-der-Waals . . . . .	68
Figura 4.2 – Diagrama $P_r \times \log(v_r)$ de van-der-Waals . . . . .	68
Figura 4.3 – Diagrama $T_r \times \log(v_r)$ de van-der-Waals . . . . .	69
Figura 4.4 – Mapeamento da função <code>State</code> . . . . .	72
Figura 4.5 – Mapeamento da função <code>IsoProp</code> . . . . .	73
Figura 4.6 – Mapeamento da função <code>PlotDome</code> . . . . .	73
Figura 5.1 – Exemplificação dos testes com uma propriedade constante dentro do domo de saturação através do método utilizado nos processos isentálpicos, que se repete nos demais . . . . .	77
Figura 5.2 – Variação de P em 100 processos isobáricos, utilizando o estado final de cada um como estado inicial do seguinte, sempre utilizando o valor de uma mesma propriedade para o cálculo do estado final de cada processo, cada série de dados do gráfico representa esse mesmo procedimento mas utilizando uma propriedade diferente para esse cálculo do estado final .	78
Figura 5.3 – Variação de T nos Processos Isotérmicos, utilizando o mesmo procedimento realizado nos processos Isobáricos . . . . .	78

Figura 5.4 – Variação de $v$ nos Processos Isovolumétricos, utilizando o mesmo procedimento realizado nos processos Isobáricos . . . . .	79
Figura 5.5 – Variação de $u$ nos Processos Iso- $u$ , utilizando o mesmo procedimento realizado nos processos Isobáricos . . . . .	79
Figura 5.6 – Variação de $h$ nos Processos Isentálpicos, utilizando o mesmo procedimento realizado nos processos Isobáricos . . . . .	80
Figura 5.7 – Variação de $s$ nos Processos Isentrópicos, utilizando o mesmo procedimento realizado nos processos Isobáricos . . . . .	80
Figura 5.8 – Teste das Propriedades do Líquido Saturado utilizando $x = 0$ e um valor de $P$ para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ) . . . . .	83
Figura 5.9 – Teste das Propriedades do Líquido Saturado utilizando $x = 0$ e um valor de $T$ para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ) . . . . .	83
Figura 5.10–Teste das Propriedades do Líquido Saturado utilizando $x = 0$ e um valor de $v$ para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ) . . . . .	84
Figura 5.11–Teste das Propriedades do Líquido Saturado utilizando $x = 0$ e um valor de $u$ para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ) . . . . .	84
Figura 5.12–Teste das Propriedades do Líquido Saturado utilizando $x = 0$ e um valor de $h$ para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ) . . . . .	85
Figura 5.13–Teste das Propriedades do Líquido Saturado utilizando $x = 0$ e um valor de $s$ para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ) . . . . .	85

Figura 5.14–Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando $x = 1$ e um valor de $P$ para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ) . . . . .	86
Figura 5.15–Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando $x = 1$ e um valor de $T$ para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ) . . . . .	87
Figura 5.16–Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando $x = 1$ e um valor de $v$ para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ) . . . . .	87
Figura 5.17–Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando $x = 1$ e um valor de $u$ para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa a variação de uma determinada propriedade ( $T$ , $h$ ou $s$ ) calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ) . . . . .	88
Figura 5.18–Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando $x = 1$ e um valor de $u$ para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa a variação de uma determinada propriedade ( $P$ ou $v$ ) calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ), considerando apenas os 40 estados iniciais . . . . .	89
Figura 5.19–Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando $x = 1$ e um valor de $u$ para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa a variação de uma determinada propriedade ( $P$ ou $v$ ) calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ), considerando apenas os 10 estados finais . . . . .	89
Figura 5.20–Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando $x = 1$ e um valor de $h$ para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa a variação de uma determinada propriedade ( $T$ , $h$ , $s$ , ou $v$ ) calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ) . . . . .	90



Figura 5.21–Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando $x = 1$ e um valor de $h$ para a definição de cada estado, os pontos do gráfico representam o desvio da pressão calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ), considerando apenas os 30 estados iniciais . . . . .	90
Figura 5.22–Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando $x = 1$ e um valor de $h$ para a definição de cada estado, os pontos do gráfico representam o desvio da pressão calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ), considerando apenas os 20 estados finais . . . . .	91
Figura 5.23–Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando $x = 1$ e um valor de $s$ para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ) . . . . .	91
Figura 5.24–Diagrama $v_{r,v} \times T_{sat} \times u_{r,v}$ de uma substância de van-der-Waals . . . . .	92
Figura 5.25–Projeção do Diagrama $v_{r,v} \times T_{sat} \times u_{r,v}$ de uma substância de van-der-Waals no plano $v_{r,v} \times u_{r,v}$ . . . . .	93
Figura 5.26–Diagrama $v_{r,v} \times T_{sat} \times h_{r,v}$ de uma substância de van-der-Waals . . . . .	94
Figura 5.27–Projeção do Diagrama $v_{r,v} \times T_{sat} \times h_{r,v}$ de uma substância de van-der-Waals no plano $v_{r,v} \times h_{r,v}$ . . . . .	94
Figura 5.28–Influência de $x$ no diagrama $P_{sat} \times u_r$ de uma substância de van-der-Waals	95
Figura 5.29–Influência de $x$ no diagrama $P_{sat} \times h_r$ de uma substância de van-der-Waals	96
Figura 5.30–Teste do Domo de Saturação com a Equação de Clapeyron, onde a variável $C_{la}$ criada para o teste, quanto mais próxima for de 0, mais próximo o processo está de satisfazer a equação de Clapeyron, tendo sido testados 100 processos, cada um com 2 pontos do domo de saturação, sendo esses processos distribuídos ao longo de todo o domo . . . . .	97
Figura 5.31–Teste das relações de Maxwell para a região de Líquido Comprimido, onde cada série de dados do gráfico se refere a cada uma das relações de Maxwell, com $M_1$ se referindo a primeira relação e assim por diante, onde quanto mais próximos os valores são de 0, mais próximos estão de satisfazerem as relações . . . . .	99
Figura 5.32–Teste das relações de Maxwell para a região de Vapor Superaquecido, onde cada série de dados do gráfico se refere a cada uma das relações de Maxwell, com $M_1$ se referindo a primeira relação e assim por diante, onde quanto mais próximos os valores são de 0, mais próximos estão de satisfazerem as relações . . . . .	99
Figura 5.33–Diagrama $T \times s$ do Exercício de Ciclo Rankine . . . . .	107

Figura 5.34–Ciclo Brayton Regenerativo . . . . .	108
Figura 5.35–Diagrama $T \times s$ do Exercício de Ciclo Brayton . . . . .	111
Figura 5.36–Diagrama $T \times s$ do Exercício de Ciclo Linde-Hampson . . . . .	115

## Lista de tabelas

Tabela 4.1 – Tabela Simétrica de Relações de Propriedades . . . . .	66
Tabela 5.1 – Tempo de Resposta da Função <code>State</code> fora do Domo de Saturação . .	100
Tabela 5.2 – Tempo de Resposta da Função <code>State</code> dentro do Domo de Saturação .	101
Tabela 5.3 – Dados de saturação de uma substância de van-der-Waals . . . . .	102
Tabela 5.4 – Resultados do Exercício de Ciclo Rankine . . . . .	104
Tabela 5.5 – Resultados do Exercício de Ciclo Brayton . . . . .	108
Tabela 5.6 – Resultados do Exercício de Ciclo Linde-Hampson . . . . .	112
Tabela A.1 – Variação de $P$ em Processos Isobáricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $h$ . . . . .	122
Tabela A.2 – Variação de $P$ em Processos Isobáricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $s$ . . . . .	125
Tabela A.3 – Variação de $P$ em Processos Isobáricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $u$ . . . . .	128
Tabela A.4 – Variação de $P$ em Processos Isobáricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $v$ . . . . .	131
Tabela A.5 – Variação de $P$ em Processos Isobáricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $x$ . . . . .	134
Tabela A.6 – Variação de $T$ em Processos Isotérmicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $h$ . . . . .	137
Tabela A.7 – Variação de $T$ em Processos Isotérmicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $s$ . . . . .	140
Tabela A.8 – Variação de $T$ em Processos Isotérmicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $u$ . . . . .	143
Tabela A.9 – Variação de $T$ em Processos Isotérmicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $v$ . . . . .	146
Tabela A.10 – Variação de $T$ em Processos Isotérmicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $x$ . . . . .	149
Tabela A.11 – Variação de $h$ em Processos Isentálpicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $P$ . . . . .	152
Tabela A.12 – Variação de $h$ em Processos Isentálpicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $s$ . . . . .	155
Tabela A.13 – Variação de $h$ em Processos Isentálpicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $T$ . . . . .	158
Tabela A.14 – Variação de $h$ em Processos Isentálpicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $u$ . . . . .	161
Tabela A.15 – Variação de $h$ em Processos Isentálpicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $v$ . . . . .	164

Tabela A.16–Variação de $h$ em Processos Isentálpicos Dentro do Domo de Saturação	
Utilizando $x$ . . . . .	167
Tabela A.17–Variação de $s$ em Processos Isentrópicos Dentro do Domo de Saturação	
Utilizando $h$ . . . . .	170
Tabela A.18–Variação de $s$ em Processos Isentrópicos Dentro do Domo de Saturação	
Utilizando $P$ . . . . .	173
Tabela A.19–Variação de $s$ em Processos Isentrópicos Dentro do Domo de Saturação	
Utilizando $T$ . . . . .	176
Tabela A.20–Variação de $s$ em Processos Isentrópicos Dentro do Domo de Saturação	
Utilizando $u$ . . . . .	179
Tabela A.21–Variação de $s$ em Processos Isentrópicos Dentro do Domo de Saturação	
Utilizando $v$ . . . . .	182
Tabela A.22–Variação de $s$ em Processos Isentrópicos Dentro do Domo de Saturação	
Utilizando $x$ . . . . .	185
Tabela A.23–Variação de $u$ em Processos Iso- $u$ Dentro do Domo de Saturação Utilizando $h$ . . . . .	188
Tabela A.24–Variação de $u$ em Processos Iso- $u$ Dentro do Domo de Saturação Utilizando $P$ . . . . .	191
Tabela A.25–Variação de $u$ em Processos Iso- $u$ Dentro do Domo de Saturação Utilizando $s$ . . . . .	194
Tabela A.26–Variação de $u$ em Processos Iso- $u$ Dentro do Domo de Saturação Utilizando $T$ . . . . .	197
Tabela A.27–Variação de $u$ em Processos Iso- $u$ Dentro do Domo de Saturação Utilizando $v$ . . . . .	200
Tabela A.28–Variação de $u$ em Processos Iso- $u$ Dentro do Domo de Saturação Utilizando $x$ . . . . .	203
Tabela A.29–Variação de $v$ em Processos Isovolumétricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $h$ . . . . .	206
Tabela A.30–Variação de $v$ em Processos Isovolumétricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $P$ . . . . .	209
Tabela A.31–Variação de $v$ em Processos Isovolumétricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $s$ . . . . .	212
Tabela A.32–Variação de $v$ em Processos Isovolumétricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $T$ . . . . .	215
Tabela A.33–Variação de $v$ em Processos Isovolumétricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $u$ . . . . .	218
Tabela A.34–Variação de $v$ em Processos Isovolumétricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando $x$ . . . . .	221

Tabela A.35–Diferença entre as propriedades do líquido saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando $h_l$ . . .	224
Tabela A.36–Diferença entre as propriedades do líquido saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando $P_{sat}$ . . .	225
Tabela A.37–Diferença entre as propriedades do líquido saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando $s_l$ . . .	227
Tabela A.38–Diferença entre as propriedades do líquido saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando $T_{sat}$ . . .	229
Tabela A.39–Diferença entre as propriedades do líquido saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando $u_l$ . . .	230
Tabela A.40–Diferença entre as propriedades do líquido saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando $v_l$ . . .	232
Tabela A.41–Diferença entre as propriedades do vapor saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando $h_v$ . . .	234
Tabela A.42–Diferença entre as propriedades do vapor saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando $P_{sat}$ . . .	235
Tabela A.43–Diferença entre as propriedades do vapor saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando $s_v$ . . .	237
Tabela A.44–Diferença entre as propriedades do vapor saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando $T_{sat}$ . . .	239
Tabela A.45–Diferença entre as propriedades do vapor saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando $u_v$ . . .	240
Tabela A.46–Diferença entre as propriedades do vapor saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando $v_v$ . . .	242
Tabela A.47–Verificação da equação de Clapeyron ao longo do domo de saturação . . .	243
Tabela A.48–Testes utilizando a primeira relação de Maxwell na região de vapor super aquecido . . . . .	246
Tabela A.49–Testes utilizando a primeira relação de Maxwell na região de líquido comprimido . . . . .	249
Tabela A.50–Testes utilizando a segunda relação de Maxwell na região de vapor super aquecido . . . . .	252
Tabela A.51–Testes utilizando a segunda relação de Maxwell na região de líquido comprimido . . . . .	255
Tabela A.52–Testes utilizando a terceira relação de Maxwell na região de vapor super aquecido . . . . .	258
Tabela A.53–Testes utilizando a terceira relação de Maxwell na região de líquido comprimido . . . . .	261
Tabela A.54–Testes utilizando a quarta relação de Maxwell na região de vapor super aquecido . . . . .	264

Tabela A.55–Testes utilizando a quarta relação de Maxwell na região de líquido comprimido . . . . .	267
Tabela A.56–Valores dos diagramas $P_{sat} \times u_r$ e $P_{sat} \times h_r$ para os casos de transição .	270

## Lista de códigos

Código 3.1: <i>Multiple Dispatch</i> . . . . .	44
Código 3.2: Funções em Julia . . . . .	49
Código 3.3: Construtor dos Racionais em Julia . . . . .	50
Código 3.4: For e While . . . . .	51
Código 3.5: Biblioteca <code>Unitful</code> . . . . .	52
Código 3.6: Biblioteca <code>Polynomials</code> . . . . .	53
Código 3.7: Biblioteca <code>Roots</code> . . . . .	54
Código 3.8: Biblioteca <code>Plots</code> . . . . .	55
Código 3.9: Aplicação do Sistema de Tipos da Linguagem Julia . . . . .	56
Código 3.10: Funções de Gás Ideal em Julia . . . . .	56
Código 5.1: Resolução do exercício de ciclo Rankine . . . . .	106
Código 5.2: Resolução do exercício de ciclo Brayton . . . . .	110
Código 5.3: Resolução do Exercício de Ciclo Linde-Hampson . . . . .	114
Código 5.4: Plotagem do Domo de Saturação no diagrama $\log(P_r) \times \log(v_r)$ . . . . .	116
Código 5.5: Plotagem do Domo de Saturação no diagrama $\log(P_r) \times \log(v_r)$ com linhas de $T_r$ constante . . . . .	117
Código 5.6: Plotagem do Domo de Saturação no diagrama $P_r \times v_r$ . . . . .	118
Código 5.7: Plotagem do Domo de Saturação no diagrama $\log(T_r) \times \log(v_r)$ com linhas de $P_r$ constante . . . . .	119
Código 5.8: Plotagem do Domo de Saturação do Mercúrio no diagrama $\log(P) \times \log(v)$ com linhas de $T$ constante . . . . .	120
Código 5.9: Plotagem do Domo de Saturação do Gás Oxigênio no diagrama $\log(T) \times$ $\log(v)$ com linhas de $P$ constante e com volume reduzido delas somente até 5 . . . . .	121

## Lista de símbolos

$a$	Energia específica de Helmholtz, $kJ/kg$ , primeira citação na página 24.
$b$	Constante de van-der-Waals do volume molecular, $m^3/kg$ , primeira citação na página 21.
$c_p$	Calor específico a pressão constante, $kJ/(kg.K)$ , primeira citação na página 24.
$c_v$	Calor específico a volume constante, $kJ/(kg.K)$ , primeira citação na página 22.
$C_1$	Constante de integração relacionada ao estado 1, primeira citação na página 60.
$C_2$	Constante de integração relacionada ao estado 2, primeira citação na página 60.
$C_{1a}$	Variável criada para validação com a equação de Clapeyron, %, primeira citação na página 97.
$c$	Velocidade adiabática do som, $m/s$ , primeira citação na página 24.
$h$	Entalpia específica, $kJ/kg$ , primeira citação na página 24.
$k$	Coefficiente politrópico, adimensional, primeira citação na página 24.
$m$	Massa, $kg$ , primeira citação na página 35.
$M_1$	Variável criada para validação com a primeira relação de Maxwell, %, primeira citação na página 98.
$M_2$	Variável criada para validação com a segunda relação de Maxwell, %, primeira citação na página 98.
$M_3$	Variável criada para validação com a terceira relação de Maxwell, %, primeira citação na página 98.
$M_4$	Variável criada para validação com a quarta relação de Maxwell, %, primeira citação na página 98.
$p$	Propriedade genérica, primeira citação na página 58.
$P$	Pressão, $kPa$ , primeira citação na página 24.
$q$	Calor, $kJ/kg$ , primeira citação na página 35.



$R$	Constante do gás, $kJ/(kgK)$ , primeira citação na página 26.
$s$	Entropia específica, $kJ/(kgK)$ , primeira citação na página 24.
$T$	Temperatura, $K$ , primeira citação na página 24.
$u$	Energia interna específica, $kJ/kg$ , primeira citação na página 24.
$v$	Volume específico, $m^3/kg$ , primeira citação na página 24.
$w$	Trabalho específico, $kJ/kg$ , primeira citação na página 36.
$W$	Trabalho, $kJ$ , primeira citação na página 35.
$x$	Título, primeira citação na página 24.
$Z_c$	Fator de compressibilidade, primeira citação na página 24.

## SÍMBOLOS GREGOS

$\alpha$	Constante de van-der-Waals das forças de atração, $kPa.m^6/kg^2$ , primeira citação na página 21.
$\beta$	Coefficiente de expansão volumétrica, $1/K$ , primeira citação na página 24.
$\gamma$	Razão de calores específicos, primeira citação na página 24.
$\eta$	Eficiência térmica, primeira citação na página 36.
$\kappa_s$	Compressibilidade isentrópica, $1/kPa$ , primeira citação na página 24.
$\kappa_T$	Compressibilidade isotérmica, $1/kPa$ , primeira citação na página 24.
$\mu_{JT}$	Coefficiente de Joule-Thomson, $K/kPa$ , primeira citação na página 24.
$\Upsilon_1$	Segunda variável da substituição de variáveis de Gibbs, primeira citação na página 34.
$\Upsilon_2$	Terceira variável da substituição de variáveis de Gibbs, primeira citação na página 34.
$\phi$	Constante da hipótese de $c_v$ constante, primeira citação na página 59.
$\Phi$	Função de temperatura proveniente de integração, primeira citação na página 58.
$\varphi$	Primeira variável da substituição de variáveis de Gibbs, primeira citação na página 33.

## SUBSCRITOS

<i>b</i>	Propriedade da bomba, primeira citação na página 37.
<i>c</i>	Propriedade crítica, primeira citação na página 26.
<i>co</i>	Propriedade do compressor, primeira citação na página 40.
<i>ent</i>	Quantidade que entra, primeira citação na página 35.
<i>l</i>	Propriedade do líquido saturado, primeira citação na página 31.
<i>liq</i>	Quantidade líquida, primeira citação na página 35.
<i>m</i>	Propriedade calculada pela solução de Maxwell, primeira citação na página 82.
<i>r</i>	Propriedade adimensionalizada, primeira citação na página 27.
<i>re</i>	Propriedade para o caso real, primeira citação na página 37.
<i>reg</i>	Propriedade do regenerador, primeira citação na página ??.
<i>s</i>	Propriedade para o caso isentrópico, primeira citação na página 37.
<i>sai</i>	Quantidade que sai, primeira citação na página 35.
<i>sat</i>	Propriedade do estado saturado, primeira citação na página 31.
<i>t</i>	Propriedade da turbina, primeira citação na página 37.
<i>v</i>	Propriedade do vapor saturado, primeira citação na página 31.
$\cdot$	Propriedade dividida por tempo, primeira citação na página 35.
$\beta$	Propriedade calculada pela biblioteca desenvolvida, primeira citação na página 82.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>25</b>
2.1	Objetivo Geral	25
2.2	Objetivos Específicos	25
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>26</b>
3.1	Equação de Estado de van-der-Waals	26
3.2	Construção de Maxwell Aplicada à Equação de van-der-Waals	28
3.3	Ciclos Termodinâmicos	35
3.3.1	Ciclo Rankine	36
3.3.2	Ciclo Brayton	39
3.3.3	Ciclo Linde-Hampson	40
3.4	Métodos Numéricos	41
3.4.1	Método de Newton-Raphson	42
3.4.2	Método da Secante	42
3.5	Linguagem Julia	43
3.5.1	Tipos de Dados	46
3.5.2	Funções	48
3.5.3	Comandos de Repetição	50
3.5.4	Bibliotecas e Aplicações	51
3.5.5	Limitações	57
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>58</b>
4.1	Modelo Completo por Função Característica de Helmholtz	58
4.2	Modelo de Calor Específico Constante	59
4.2.1	Relações de Propriedades	62
4.2.1.1	Par Pressão e Temperatura	63
4.2.1.2	Par Volume e Temperatura	63
4.2.1.3	Par Volume e Entropia	63
4.2.1.4	Par Volume e Energia Interna	63
4.2.1.5	Par Volume e Entalpia	63
4.2.1.6	Par Pressão e Energia Interna	64
4.2.1.7	Par Pressão e Entalpia	64
4.2.1.8	Par Pressão e Entropia	64
4.2.1.9	Par Temperatura e Energia Interna	64
4.2.1.10	Par Temperatura e Entropia	64
4.2.1.11	Par Temperatura e Entalpia	65

4.2.1.12	Par Energia Interna e Entropia . . . . .	65
4.2.1.13	Par Energia Interna e Entalpia . . . . .	65
4.2.1.14	Par Entropia e Entalpia . . . . .	65
4.2.1.15	Equações de Obtenção de Propriedades . . . . .	66
4.2.2	Descrição de Processos . . . . .	66
4.2.2.1	Processos Isentálpicos . . . . .	66
4.2.2.2	Processos a Energia Interna Constante . . . . .	66
4.2.2.3	Processos Isentrópicos . . . . .	66
4.2.2.4	Processos Isobáricos . . . . .	66
4.2.2.5	Processos Isotérmicos . . . . .	67
4.2.2.6	Processos Isovolumétricos . . . . .	67
<b>4.3</b>	<b>Domo de Saturação para uma substância de van-der-Waals . . . . .</b>	<b>67</b>
4.3.1	Estados Dentro do Domo de Saturação . . . . .	69
4.3.1.1	Pares com $P$ ou $T$ , sem $x$ . . . . .	69
4.3.1.2	Pares sem $(P, T, x)$ . . . . .	70
4.3.1.3	Pares com o título conhecido . . . . .	70
<b>4.4</b>	<b>Implementação em Julia . . . . .</b>	<b>71</b>
<b>4.5</b>	<b>Metodologia de Validação . . . . .</b>	<b>73</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES . . . . .</b>	<b>75</b>
<b>5.1</b>	<b>Testes de Validação . . . . .</b>	<b>75</b>
5.1.1	Testes de validação de processos com uma propriedade constante dentro do domo de saturação . . . . .	75
5.1.1.1	Processo Único . . . . .	81
5.1.2	Testes de propriedades do líquido e do vapor saturados . . . . .	82
5.1.3	Validação do domo de saturação através da Equação de Clapeyron . . . . .	97
5.1.4	Validação de resultados fora do domo de saturação . . . . .	98
5.1.5	Tempo de execução . . . . .	100
<b>5.2</b>	<b>Exercícios de Validação . . . . .</b>	<b>101</b>
5.2.1	Ciclo Rankine . . . . .	102
5.2.2	Ciclo Brayton . . . . .	108
5.2.3	Ciclo Linde-Hampson . . . . .	111
<b>5.3</b>	<b>Resultados da Função de Plotagem . . . . .</b>	<b>115</b>
<b>5.4</b>	<b>Conclusão . . . . .</b>	<b>121</b>
<b>APÊNDICE A - TABELAS . . . . .</b>		<b>122</b>
<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>		<b>274</b>

# 1 INTRODUÇÃO

São diversos os sistemas que trabalham com substâncias submetendo-as a variações de estado e conseqüentes alterações em suas propriedades termodinâmicas, sendo assim necessário conhecer seus valores numéricos para fins de projeto e cálculo. Pode-se citar desde exemplos mais comuns como os processos de geração de potência e os processos de refrigeração, até exemplos mais específicos como a obtenção de nitrogênio líquido através do ciclo Claude.

Existem modelos para realizar o cálculo de propriedades das substâncias. Um deles se trata da equação de estado de van-der-Waals, que possui as grandes vantagens de ser simples, introduzindo apenas duas constantes,  $\alpha$  e  $b$ , possuir solução exata para a transição de fase líquido-vapor por meio da solução de Gibbs da construção de Maxwell, e possuir uma forma adimensional que é igual para todas as substâncias e que depende apenas de suas propriedades do ponto crítico (NOVELLINO; CAMPOS, 2015).

Essa possibilidade de utilizá-la com apenas esses dados de entrada permite então analisar as propriedades termodinâmicas de substâncias que não possuem muitos dados experimentais, como por exemplo o Mercúrio, o Gálio, o Potássio, entre outras, além de várias substâncias orgânicas. Isso representa uma chance de avançar pesquisas com essas substâncias que podem vir a servir como alternativas na indústria.

Apesar disso, uma desvantagem deste modelo consiste na baixa precisão em determinadas regiões se comparado a modelos mais complexos. Mesmo assim, suas vantagens são suficientes para justificar seu uso.

Além do cálculo manual, existem meios computacionais de se obter essas propriedades, que são as bibliotecas de propriedades termodinâmicas, ferramentas que aplicam modelos de equação de estado através da programação deles. Elas podem ser de licença livre ou proprietária. Alguns exemplos são: Coolprop (BELL et al., 2014), EES (F-CHART SOFTWARE, 1992), Freesteam (PYE, 2010), VMGThermo (VIRTUAL MATERIALS GROUP, 2019), Thermolib (EUTECH SCIENTIFIC ENGINEERING GMBH, 2016), `Modelica.Media` (MODELICA ASSOCIATION, 2003). Dos exemplos citados, todos possuem dados disponíveis para substâncias puras. Serão avaliadas suas demais características para fins de comparação entre elas.

O Coolprop possui propriedades para substâncias pseudo-puras, e também para misturas através de formulação de Helmholtz, e possui também uma quantidade considerável de fluidos, porém se restringindo àqueles de uso mais consolidado, apresentando também a possibilidade de cálculo através de equação cúbica de estado, mas atualmente apenas para algumas propriedades. É uma biblioteca em C++, portanto, com velocidade considerável, e possui porte para Python, Matlab, Excel, uso online, e outros (BELL et al., 2014).

O Freesteam consiste em outra opção de biblioteca livre. Está atualmente em

sua versão 2.0 e sua biblioteca é programada em C, possibilitando alta velocidade. Possui porte para uso em Python, Matlab, ASCEND. Pode gerar diagramas para análise dos estados além de dar as propriedades. Sua maior desvantagem é possuir apenas a água como substância disponível para a utilização (PYE, 2010).

Se diferenciando dos anteriores, o EES é primariamente um software para resolução de equações matemáticas, mas inclui biblioteca de propriedades que também possui uma quantidade significativa de substâncias puras e algumas misturas, provendo propriedades com alta acurácia e possuindo sistema de plotagem; é porém uma biblioteca proprietária (F-CHART SOFTWARE, 1992).

Outra alternativa proprietária é o VMGThermo, que além de calcular as propriedades para um estado, também possui a capacidade de monitorar o desempenho e otimizar um sistema de motor ou poço de gás natural, sendo uma opção para simulação; utiliza dados experimentais, possuindo acurácia na maior parte dos processos industriais (VIRTUAL MATERIALS GROUP, 2019).

Seguindo na mesma linha dos dois anteriores, o Thermolib é outra opção proprietária. Ele consiste em uma ferramenta para simulação termodinâmica em Matlab e Simulink que utiliza de dados de tabelas JANAF para o cálculo de propriedades, incluindo os fluidos de trabalho mais comuns e sendo capaz de calcular o comportamento de um gás real através da equação de estado de Peng-Robinson (EUTECH SCIENTIFIC ENGINEERING GMBH, 2016).

O último dos exemplos citados, a biblioteca `Modelica.Media`, consiste em uma biblioteca gratuita desenvolvida para a linguagem de modelagem orientada ao objeto chamada Modelica, ela é capaz de utilizar fluidos contendo uma única ou múltiplas substâncias, com uma ou mais fases, possui 1241 modelos de gás de alta precisão baseados nos coeficientes de NASA Glenn (MCBRIDE; ZEHE; GORDON, 2002), podendo também utilizar misturas de gases ideais, possui modelos diferenciados para o ar, água, substâncias incompressíveis e compressíveis, e para o fluido refrigerante R134a (MODELICA ASSOCIATION, 2003).

Através da análise dos exemplos citados e de pesquisas de outras bibliotecas, a única biblioteca encontrada que utiliza o modelo de van-der-Waals foi a biblioteca chamada `vdw` (DUCK, 2017) implementada em Python, mas que possui apenas uma função de pressão reduzida e funções para realizar a construção de Maxwell, não sendo capaz de realizar o cálculo de estado de uma substância propriamente dito.

Portanto, propõe-se a implementação de uma biblioteca utilizando tal modelo. Para isso, é necessária a obtenção da função de Helmholtz de uma substância de van-der-Waals, assim, partindo da equação de estado, as demais propriedades termodinâmicas podem ser obtidas por meio de um modelo de  $c_v$  constante (NAAKTGEBOREN, 2018b).

Ainda dentro da análise dos exemplos citados, pode-se concluir que alguns dos fatores mais relevantes em termos de comparação se constituem como sendo a precisão, o

desempenho, e o nível de comunicação entre o usuário e a linguagem ou programa no qual a biblioteca está sendo utilizada.

Enquanto a precisão muitas vezes costuma decorrer da metodologia adotada, conciliar um ambiente de fácil interação com o usuário com uma alta velocidade de desempenho é uma tarefa de maior dificuldade. Isso faz com que atualmente exista o chamado "problema das duas linguagens", onde os programadores costumam ter que implementar seus modelos inicialmente em linguagens de alto nível devido a complexidade lógica, mas terem que depois reprogramá-los em uma linguagem de baixo nível para executá-los, devido a velocidade de execução baixa nas linguagens de alto nível.

Dentro deste cenário problemático, surge, em 2012, uma linguagem computacional que está em ascensão e que promete resolver este problema. A linguagem em questão é chamada Julia, e é uma linguagem de alto nível, livre e *open-source*, que possui alto desempenho. Esse desempenho deriva principalmente dos fatos de ser uma linguagem de despacho múltiplos, possuir um sistema sofisticado de tipos e realizar compilação JIT (compilação durante execução do programa) utilizando o compilador LLVM (*Low Level Virtual Machine*) que provê uma maior otimização à compilação, sendo que alguns dos fatores que possibilitam isso consistem na eliminação de processos que não precisam ser compilados dependendo da situação em que se trabalha e da avaliação das opções de compilação com maior velocidade (JOSHI; LAKHANPAL, 2017).

O desempenho citado se constitui em um dos principais diferenciais da linguagem, sendo responsável por fazer muitas pessoas a classificarem como uma tecnologia disruptiva. Combinando seu alto desempenho ao seu alto nível, à sua dinamicidade, e a sua sintaxe que lembra muito a matemática, têm-se um ambiente de programação atrativo para o desenvolvimento científico, se constituindo em uma linguagem pertencente a este nicho.

Neste contexto, a linguagem Julia se insere como uma ferramenta com muito potencial para ser explorado nas mais diversas áreas da computação científica. Apesar disso, buscas sugerem a inexistência de uma biblioteca de propriedades termodinâmicas nativa em Julia.

Até sua versão 0.7, existia um porte para utilizar o Coolprop em Julia, porém, desde a versão 1.0 da linguagem, houveram várias modificações estruturais de gerenciador de pacotes, e ele não está mais em funcionamento, e desde então não foi mais adaptado a essa nova estrutura. É possível usar as bibliotecas de Python em Julia através de um pacote chamado PyCall, porém, isso acaba consumindo um tempo considerável, e prejudica o desempenho do programa, que é uma das principais vantagens da linguagem.

Além disso, há também uma biblioteca em Julia chamada ModiaMedia (MODIASIM, 2018) cujo objetivo consiste em obter a funcionalidade da biblioteca `Modelica.Media` na linguagem, porém ela está em desenvolvimento e não possui atualização desde fevereiro de 2019 (MODIASIM, 2018).

Este trabalho propõe implementar e validar uma biblioteca de propriedades



termodinâmicas para substâncias de van-der-Waals na linguagem Julia, com a capacidade de determinar o estado da substância a partir de um par inicial de propriedades, com a possibilidade desse par ser formado por qualquer combinação entre: temperatura ( $T$ ), pressão ( $P$ ), volume ( $v$ ), entalpia ( $h$ ), energia interna ( $u$ ), entropia ( $s$ ) e título ( $x$ ). Além disso, a biblioteca será capaz de informar como respostas constituintes do estado, além de todas as propriedades que podem formar o par inicial, as seguintes propriedades: energia específica de Helmholtz ( $a$ ), coeficiente politrópico ( $k$ ), calor específico a pressão constante ( $c_p$ ), calor específico a volume constante ( $c_v$ ), razão de calores específicos ( $\gamma$ ), fator de compressibilidade  $Z_c$ , coeficiente de expansão volumétrica ( $\beta$ ), compressibilidade isotérmica ( $\kappa_T$ ), compressibilidade isentrópica ( $\kappa_s$ ), coeficiente de Joule-Thomson ( $\mu_{JT}$ ), e velocidade adiabática do som ( $c$ ).

Outras capacidades que também objetiva-se obter com a biblioteca são a de se calcular o estado final de um processo com uma propriedade constante, conhecendo-se o estado inicial e uma propriedade do estado final (dentro as propriedades possíveis para o cálculo de estado) e a de se plotar diagramas com o domo de saturação da substância desejada, com possibilidade de adicionar linhas de propriedades constantes.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma biblioteca de propriedades termodinâmicas de substâncias de van-der-Waals na linguagem Julia.

### 2.2 Objetivos Específicos

1. Implementar em Julia algoritmos para: calcular o estado de uma substância de van-der-Waals a partir de duas propriedades conhecidas; calcular processos com uma propriedade constante, utilizando uma substância de van-der-Waals, a partir de um estado inicial e uma propriedade predefinida final; e plotar diagramas contendo o domo de saturação de uma dada substância, com linhas de propriedades constantes.
2. Validar a biblioteca através de estudos de caso comparativos entre os resultados obtidos por ela e resultados teóricos conhecidos.
3. Disponibilizar a biblioteca em um repositório online sob licença aberta para utilização por engenheiros, pesquisadores e demais pessoas que se interessarem.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Equação de Estado de van-der-Waals

A equação de estado

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{\alpha}{v^2}, \quad (3.1)$$

proposta por van-der-Waals, modela um comportamento mais próximo dos gases reais do que a equação dos gases ideais, inserindo o efeito das forças intermoleculares em suas considerações, isso é visualizado através dos parâmetros  $\alpha$  e  $b$ , que representam respectivamente as forças de atração e o volume molecular (PLIEGO JR, 2016). Introduz-se o fator de compressibilidade, definido por

$$Z_c = \frac{P_c v_c}{RT_c}. \quad (3.2)$$

As constantes  $\alpha$  e  $b$  resultam na existência de inflexão na isoterma crítica da representação gráfica dessa equação de estado, no ponto onde a pressão também é crítica, que está ilustrado na Figura 3.1 e pode ser utilizado para determinar essas constantes em relação a  $P_c$  e  $T_c$ , utilizando-se do fato de que em um ponto de inflexão a primeira e segunda derivadas são nulas (ÇENGEL, 2013).

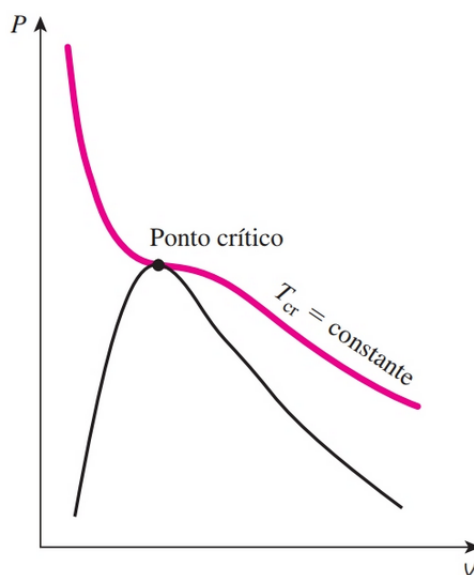
As equações

$$\frac{\partial}{\partial v} P(T, v) = -\frac{RT}{(v-b)^2} + \frac{2\alpha}{v^3} = 0 \quad \text{e} \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial v^2} P(T, v) = \frac{2RT}{(v-b)^3} - \frac{6\alpha}{v^4} = 0, \quad (3.4)$$

representam respectivamente a primeira e segunda derivadas da Eq. (3.1) (ÇENGEL, 2013).

Figura 3.1 – Inflexão no ponto crítico da isoterma crítica



Fonte: Çengel (2013)

Aplicando as Eqs. (3.2), (3.3) e (3.4) ao ponto crítico, obtém-se um sistema de três equações com três variáveis:  $v_c$ ,  $\alpha$  e  $b$ . Resolvendo o sistema, obtém-se

$$\alpha = \frac{27R^2T_c^2}{64P_c}, \quad (3.5)$$

$$b = \frac{RT_c}{8P_c} \quad \text{e} \quad (3.6)$$

$$v_c = \frac{3RT_c}{8P_c}. \quad (3.7)$$

Desses resultados obtém-se ainda que

$$v_c = 3b \quad \text{e} \quad (3.8)$$

$$Z_c = \frac{3}{8}. \quad (3.9)$$

A substituição dos resultados obtidos para  $\alpha$  e  $b$  na Eq. (3.1) resulta em

$$P = \frac{RT}{v - \frac{RT_c}{8P_c}} - \frac{27R^2T_c^2}{64P_c v^2}. \quad (3.10)$$

É possível adimensionalizar a equação de van-der-Waals utilizando

$$P_r = \frac{P}{P_c}, \quad (3.11)$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} \quad \text{e} \quad (3.12)$$

$$v_r = \frac{v}{v_c}. \quad (3.13)$$

Substituindo a Eq. (3.9) na Eq. (3.7) e então substituindo o resultado obtido na Eq. (3.13), obtém-se

$$v = v_r Z_c \frac{RT_c}{P_c}. \quad (3.14)$$

Substituindo as Eqs. (3.5), (3.6), (3.11), (3.12) e (3.14) na Eq. (3.1), obtém-se então a equação adimensional conhecida como equação reduzida de van-der-Waals,

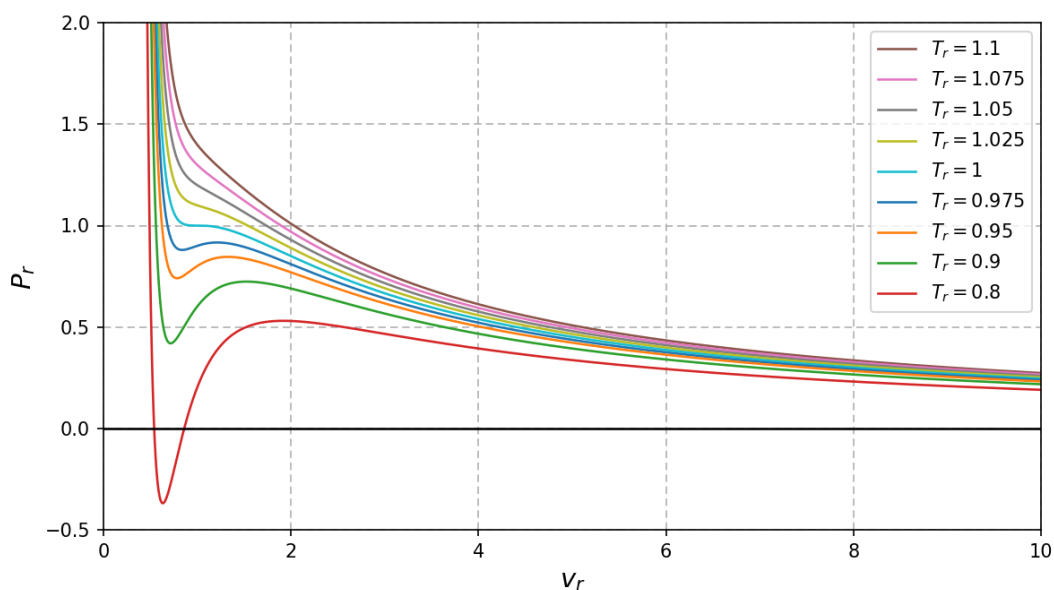
$$P_r = \frac{8T_r}{3v_r - 1} - \frac{3}{v_r^2}. \quad (3.15)$$

Essa equação reduzida possui a mesma forma para qualquer substância, dependendo apenas das suas propriedades do ponto crítico, e graças a isso ela possui grande relevância (ANDREWS et al., 1936).

### 3.2 Construção de Maxwell Aplicada à Equação de van-der-Waals

Ao construir isotermas com a equação de estado de van-der-Waals, é possível notar que elas possuem um comportamento curioso na região de  $T_r < 1$ , que caracteriza a região de transição de fases, compreendendo desde o líquido saturado até o vapor saturado, assim como pode-se observar na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Isotermas de van-der-Waals



Fonte: Adaptado de Naaktgeboren (2018a)

Tal comportamento citado é chamado de ondulações de van-der-Waals, e corresponde a um conjunto de estados metaestáveis, alguns dos quais podem ser obtidos e outros não (MAGALHÃES; FERNANDES; FERREIRA, 2009).

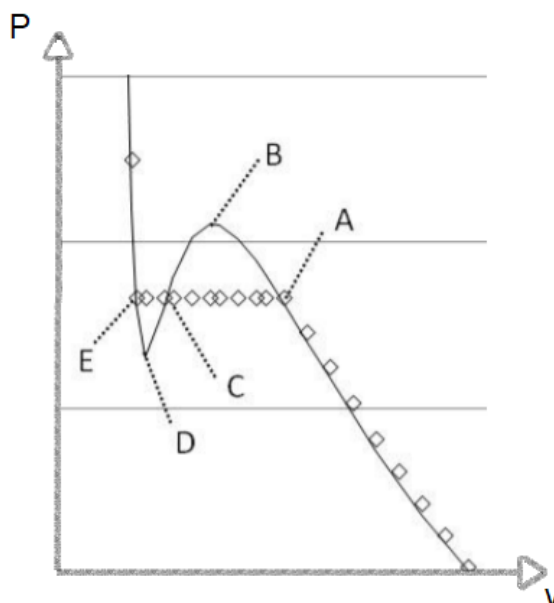
Observa-se na Figura 3.3 a divisão de uma isoterma de van-der-Waals em regiões. A região ED é chamada de região de líquido super aquecido, onde ocorre que o líquido já está em temperatura de ebulição mas permanece na forma líquida, o que pode ocorrer experimentalmente em processos onde um líquido sofre aumento de volume mas a pressão continua caindo abaixo da pressão de saturação mesmo após atingir a temperatura de saturação, porém por ser um estado metaestável termodinamicamente instável, qualquer perturbação no sistema como vibrações ou troca de calor ocasiona no começo da evaporação, levando a substância para um estado estável (MAGALHÃES; FERNANDES; FERREIRA, 2009).

Apesar dessa região apresentar estados possíveis, ela também pode apresentar estados com pressão negativa, e portanto impossíveis.

De maneira similar, BA também é uma região metaestável e termodinamicamente instável que é experimentalmente possível e é chamada de região de vapor super resfriado, estado este obtido através de processos onde ocorre a diminuição de volume e a pressão acaba se elevando acima da pressão de saturação quando é atingida a temperatura de saturação, fazendo com que o vapor não comece o processo de condensação (MAGALHÃES; FERNANDES; FERREIRA, 2009). Assim como na região ED, nessa região qualquer perturbação leva os estados para condições estáveis (MAGALHÃES; FERNANDES; FERREIRA, 2009).

Diferente das outras regiões, o intervalo da isoterma entre D e B é chamado de mecanicamente instável, pois não é possível ser obtido experimentalmente, o que pode ser provado devido a região corresponder a processos isotérmicos com aumento de volume e ao mesmo tempo aumento de pressão, o que leva a essa instabilidade (MAGALHÃES; FERNANDES; FERREIRA, 2009).

**Figura 3.3 – Regiões da Isoterma de van-der-Waals no diagrama  $P \times v$**



**Fonte: Adaptado de Magalhães, Fernandes e Ferreira (2009)**

Portanto, como observado, a equação de van-der-Waals apresenta apenas estados monofásicos, não sendo capaz de representar misturas saturadas. Esse comportamento da isoterma de van-der-Waals impossibilita a utilização direta da equação nessa região.

Porém, no início do século XX, Gibbs utilizou a construção de Maxwell sobre a equação de van-der-Waals e foi capaz de obter uma solução exata e corrigir o comportamento citado, possibilitando a substituição da equação por outra formulação na região de transição líquido-vapor (ANDREWS et al., 1936).

Para que essa substituição seja abordada, é necessário definir o título de uma substância, que é uma propriedade utilizada para trabalhar com misturas saturadas, e é dado por

$$x = \frac{m_v}{m_l + m_v}. \quad (3.16)$$

Essa propriedade possui significado apenas na região de mistura saturada, possui valor sempre entre 0 e 1, indica a quantidade de vapor saturado que está presente na mistura saturada, e é utilizado no cálculo das propriedades médias entre as do líquido saturado e as do vapor saturado, que é a abordagem considerada para esses casos, devido as propriedades de cada fase não mudarem ao longo desse processo de transição, apenas sua quantidade (ÇENGEL, 2013).

A energia específica de Helmholtz, cuja variação é expressa por

$$da = -sdT + Pdv, \quad (3.17)$$

quando aplicada ao longo da mudança de fase, resultará em  $da = Pdv$ , que integrando,

resulta em

$$a = \int_{v_l}^{v_v} P_{sat} dv, \quad (3.18)$$

que em variáveis reduzidas é

$$a = \int_{v_{r,l}}^{v_{r,v}} P_r dv_r. \quad (3.19)$$

Essa integração pode ser realizada utilizando a equação de van-der-Waals, o que resulta em

$$\int_{v_{r,l}}^{v_{r,v}} P_r dv_r = -\frac{8T_{r,sat}}{3} \ln(3v_{r,l} - 1) + \frac{8T_{r,sat}}{3} \ln(3v_{r,v} - 1) + \frac{3}{v_{r,v}} - \frac{3}{v_{r,l}}. \quad (3.20)$$

Realizando a mesma integração mas desta vez para uma substância pura, na qual espera-se que a pressão não varie na mudança de fase, obtém-se

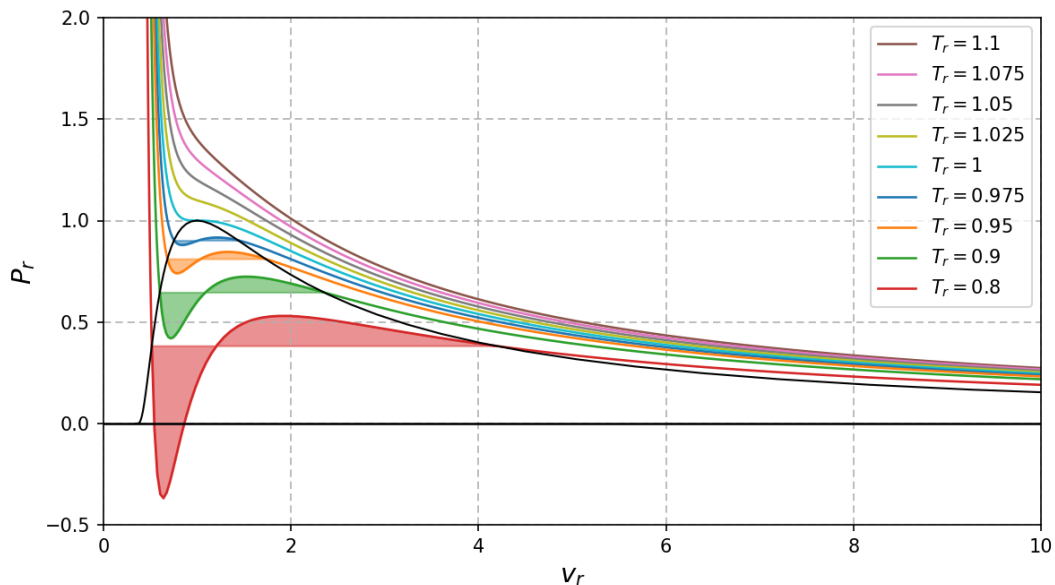
$$\int_{v_{r,l}}^{v_{r,v}} P_r dv_r = P_{r,sat}(v_{r,v} - v_{r,l}). \quad (3.21)$$

Pela construção de Maxwell, pode-se dizer que as áreas abaixo da isoterma de van-der-Waals e abaixo da isoterma de uma substância simples, considerando ambas a mesma temperatura, são iguais, e devido a isso pode-se dizer que

$$P_{r,sat}(v_{r,v} - v_{r,l}) = -\frac{8T_{r,sat}}{3} \ln(3v_{r,l} - 1) + \frac{8T_{r,sat}}{3} \ln(3v_{r,v} - 1) + \frac{3}{v_{r,v}} - \frac{3}{v_{r,l}}. \quad (3.22)$$

A Figura 3.4 ilustra a construção de Maxwell, enquanto a Figura 3.5 ilustra a substituição das isotermas de van-der-Waals dentro de domo de saturação pelas isotermas de substâncias simples, o que também pode ser observado em escala logarítmica na Figura 3.6.

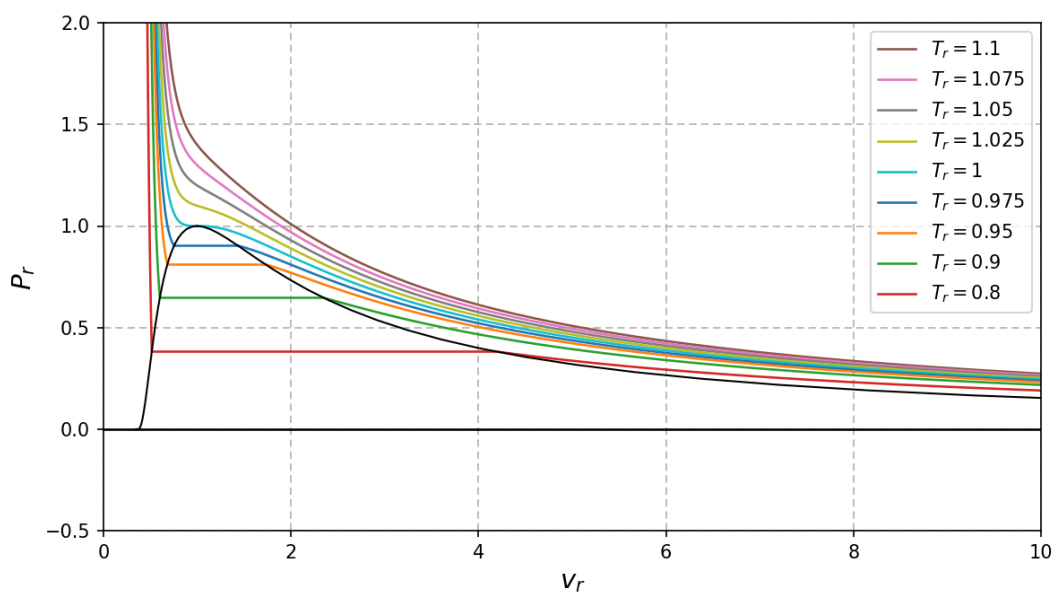
**Figura 3.4 – Áreas entre as isotermas de van-der-Waals e as de substâncias simples**



Fonte: Adaptado de Naaktgeboren (2018a)

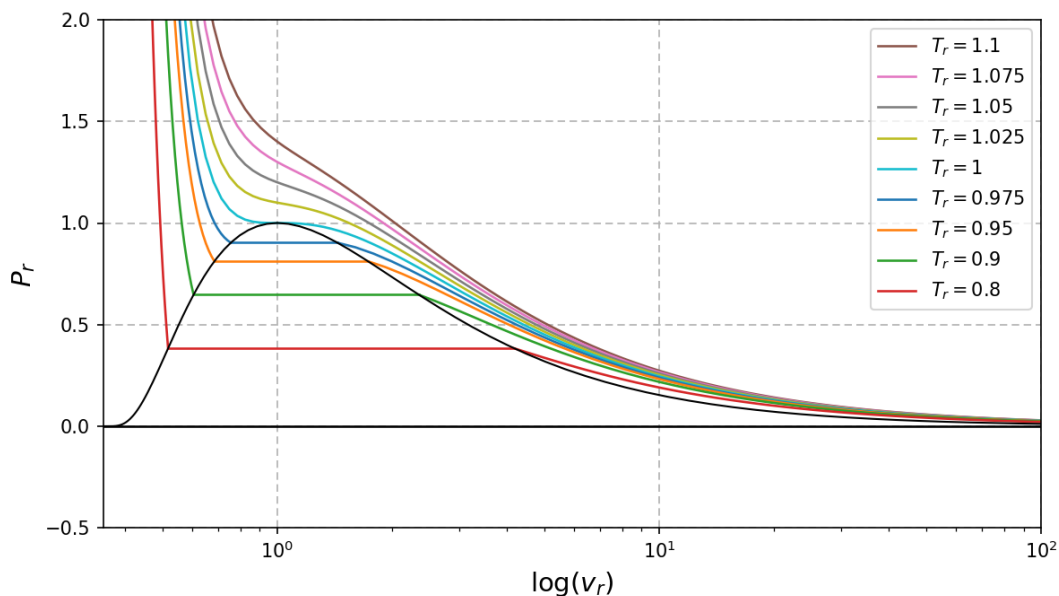


Figura 3.5 – Isotermas corrigidas de van-der-Waals



Fonte: Adaptado de Naaktgeboren (2018a)

Figura 3.6 – Isotermas corrigidas de van-der-Waals em escala logarítmica



Fonte: Adaptado de Naaktgeboren (2018a)

Aplicando  $(T_{r,sat}, v_{r1})$  e  $(T_{r,sat}, v_{r2})$  na Eq. (3.1) e as igualando, obtém-se

$$\frac{8T_{r,sat}}{3v_{r1} - 1} - \frac{3}{v_{r1}^2} = \frac{8T_{r,sat}}{3v_{r2} - 1} - \frac{3}{v_{r2}^2}, \tag{3.23}$$

que ao ser resolvida para  $T_{r,sat}$  resulta em

$$T_{r,sat} = \frac{1}{8v_{r1}^2 v_{r2}^2} (v_{r1} + v_{r2})(3v_{r1} - 1)(3v_{r2} - 1). \quad (3.24)$$

Utilizando o mesmo procedimento mas com a Eq. (3.24), obtém-se

$$P_{r,sat} = \frac{1}{v_{r1}^2 v_{r2}^2} (3v_{r1} - v_{r1} - v_{r2}). \quad (3.25)$$

Aplicando as Eqs. (3.24) e (3.25) na Eq. (3.22), obtém-se

$$-\frac{3}{v_{r2}} + \frac{1}{v_{r2}^2} + \frac{3}{v_{r1}} - \frac{1}{v_{r1}^2} = \frac{1}{3v_{r1}^2 v_{r2}^2} (9v_{r1}^2 v_{r2} - 9v_{r1} v_{r2}^2 + (v_{r1} + v_{r2})(3v_{r1} - 1)(3v_{r2} - 1)(-\ln(3v_{r1} - 1) + \ln(3v_{r2} - 1))). \quad (3.26)$$

Propõe-se utilizar a substituição de variável

$$\ln(\varphi) \stackrel{\text{def}}{=} \ln(3v_{r1} - 1) - \ln(3v_{r2} - 1), \quad (3.27)$$

na Eq. (3.26), isso possibilita escreve-la na forma

$$\frac{(-3v_{r1}^2 v_{r2} + v_{r2}^2 + 3v_{r1} v_{r2}^2 - v_{r2}^2)}{v_{r1} v_{r2}} = \frac{9v_{r1}^2 v_{r2} - 9v_{r1} v_{r2}^2 - (v_{r1} + v_{r2})(3v_{r1} - 1)(3v_{r2} - 1)\ln(\varphi)}{3v_{r1}^2 v_{r2}^2}, \quad (3.28)$$

simplificando e rearranjando os termos, chega-se na forma

$$-6v_{r1}^2 v_{r2} + v_{r1}^2 + 6v_{r1} v_{r2}^2 - v_{r2}^2 = -\frac{1}{3}(v_{r1} + v_{r2})(3v_{r1} - 1)(3v_{r2} - 1)\ln(\varphi). \quad (3.29)$$

Utilizando o fato de que

$$-6v_{r1}^2 v_{r2} + v_{r1}^2 + 6v_{r1} v_{r2}^2 - v_{r2}^2 = (6v_{r1} v_{r2} - v_{r1} - v_{r2})(-v_{r1} + v_{r2}), \quad (3.30)$$

reescreve-se a equação na forma

$$\frac{(v_{r1} + v_{r2})\ln(\varphi)}{(-v_{r1} + v_{r2})} = -\frac{3(6v_{r1} v_{r2} - v_{r1} - v_{r2})}{(3v_{r1} - 1)(3v_{r2} - 1)}, \quad (3.31)$$

que finalmente pode ser reescrita como

$$\frac{3v_{r1}}{3v_{r1} - 1} + \frac{3v_{r2}}{3v_{r2} - 1} + \frac{(v_{r1} + v_{r2})\ln(\varphi)}{-v_{r1} + v_{r2}} = 0. \quad (3.32)$$

A Eq. (3.32) é a forma adimensional da equação encontrada por Gibbs, dada por

$$\frac{v_1 + v_2}{v_2 - v_1} \ln \frac{v_1 - b}{v_2 - b} + \frac{v_1}{v_1 - b} + \frac{v_2}{v_2 - b} = 0. \quad (3.33)$$

Em seguida, utiliza-se as variáveis auxiliares

$$\varphi \stackrel{\text{def}}{=} \frac{3v_{r1} - 1}{3v_{r2} - 1}, \quad (3.34)$$

$$\Upsilon_1 \stackrel{\text{def}}{=} 3v_{r1} - 1 \quad \text{e} \quad (3.35)$$

$$\Upsilon_2 \stackrel{\text{def}}{=} 3v_{r2} - 1 \quad (3.36)$$

na Eq. (3.32), almejando uma solução. Fazendo esta substituição e rearranjando os termos, obtém-se

$$-\frac{\ln(\varphi)}{(\Upsilon_1 - \Upsilon_2)}(\Upsilon_1 + \Upsilon_2 + 2) = -2 - \frac{1}{\Upsilon_2} - \frac{1}{\Upsilon_1}, \quad (3.37)$$

que ao utilizar a relação

$$\varphi = \frac{\Upsilon_1}{\Upsilon_2}, \quad (3.38)$$

pode ser reescrita como

$$-\frac{\ln(\varphi)}{\varphi - 1}(\varphi\Upsilon_2 + \Upsilon_2 + 2) = -2\Upsilon_2 - 1 - \frac{1}{\varphi}, \quad (3.39)$$

ou ainda

$$-\frac{\ln(\varphi)}{\varphi - 1}(\Upsilon_2(\varphi + 1) + 2) = -2\Upsilon_2 - 1 - \frac{1}{\varphi}. \quad (3.40)$$

Rearranjando a Eq. (3.40), obtém-se

$$1 - \frac{2\ln(\varphi)}{\varphi - 1} + \frac{1}{\varphi} = \frac{\Upsilon_2}{\varphi - 1}(\varphi\ln(\varphi) - 2\varphi + \ln(\varphi) + 2), \quad (3.41)$$

que finalmente permite encontrar a solução

$$\Upsilon_2 = \frac{\varphi(-2\varphi + (\varphi + 1)\ln(\varphi) + 2)}{\varphi^2 - 2\varphi\ln(\varphi) - 1}. \quad (3.42)$$

A solução encontrada por Gibbs consiste na forma dimensional da Eq. (3.42), e é expressa por

$$\frac{1}{V_2} = \frac{2 - \frac{P+1}{P-1}\ln(P)}{\frac{2\ln(P)}{P-1} - \frac{1}{P} - 1}, \quad (3.43)$$

onde para Gibbs  $V_1 = (v_1 - b)/b$ ,  $V_2 = (v_2 - b)/b$  e  $P = V_1/V_2$ .

A Eq. (3.42) está bem definida apenas para valores de  $0 < \varphi < 1$ , pois  $\varphi = 0$  não está no domínio do logaritmo, enquanto  $\varphi = 1$  causa uma indeterminação. Através de um valor de  $\varphi$  no intervalo mencionado, pode-se encontrar  $\Upsilon_2$  pela Eq. (3.42), em seguida  $\Upsilon_1$  pela Eq. (3.38), e por fim ambos podem ser convertidos para  $v_{r1}$  e  $v_{r2}$ .

Fazendo a mesma substituição de variáveis, agora nas Eqs. (3.24) e (3.25), obtém-se

$$T_{r,sat} = \frac{27\Upsilon_1\Upsilon_2(\Upsilon_1 + \Upsilon_2 + 2)}{8(\Upsilon_1 + 1)^2(\Upsilon_2 + 1)^2} \quad \text{e} \quad (3.44)$$

$$P_{r,sat} = \frac{27(-\Upsilon_1 - \Upsilon_2 + (\Upsilon_1 + 1)(\Upsilon_2 + 1) - 2)}{(\Upsilon_1 + 1)^2(\Upsilon_2 + 1)^2}. \quad (3.45)$$

Dividindo a Eq. (3.44) pela Eq. (3.45), obtém-se

$$\frac{T_{r,sat}}{P_{r,sat}} = \frac{\Upsilon_1 \Upsilon_2 (\Upsilon_1 + \Upsilon_2 + 2)}{8(\Upsilon_1 \Upsilon_2 - 1)}. \quad (3.46)$$

Com as equações que foram desenvolvidas, é possível realizar a construção do domo de saturação de uma substância de van-der-Waals, pois a partir de  $\varphi$  pode-se encontrar  $v_{r1}$ ,  $v_{r2}$ ,  $P_{r,sat}$  e  $T_{r,sat}$ .

### 3.3 Ciclos Termodinâmicos

A definição do estado de uma substância pode ser feita ao conhecer-se ao menos duas de suas propriedades independentes (ÇENGEL, 2013). Quando uma substância muda o seu estado, tem-se a ideia de processo, e quando uma sequência de processos possui seu estado final igual ao inicial, tem-se um ciclo termodinâmico (ÇENGEL, 2013).

Como ciclos consistem portando em um sequência de mudanças de estado de uma ou mais substâncias, uma das formas de calcular esses processos consiste na utilização das equações de estado, e portanto bibliotecas de propriedades se tornam uma ferramenta interessante para ajudar nestes cálculos.

De acordo com Çengel (2013) uma das principais aplicações dos ciclos consiste na obtenção de trabalho através da utilização de um fluido de trabalho, onde em determinados processos ele realizará trabalho, e em outros receberá trabalho, e a diferença entre essas partes chama-se de trabalho líquido, que pode ser equacionado como

$$\dot{W}_{liq} = \dot{m}(q_{ent} - q_{sai}). \quad (3.47)$$

Esse trabalho por sua vez pode ser aproveitado por dispositivos diversos, como por exemplo turbinas e eixos, onde a energia pode ser convertida e utilizada de diversas formas (ÇENGEL, 2013).

De maneira geral, esses ciclos podem ser classificados como reversíveis e irreversíveis. Os ciclos reversíveis consistem naqueles onde existe a possibilidade de realizá-lo de maneira reversa sem que ocorram impactos na vizinhança dos processos (ÇENGEL, 2013).

Seguindo a mesma lógica, os processos irreversíveis são aqueles onde se for realizada a sua reversão, haverá a ocorrência de tais impactos, que normalmente podem ser observados na forma de realização de trabalho da vizinhança sobre o sistema (ÇENGEL, 2013).

De acordo com Çengel (2013), os processos irreversíveis englobam todos os processos realizados na realidade, enquanto os processos reversíveis são processos ideais que podem ser verificados apenas de maneira teórica, o que ocorre devido a existência de diversos fatores chamados de irreversibilidades, e não é possível a realização de um ciclo sem nenhum desses fatores. Essas irreversibilidades envolvem diversos fenômenos, como por exemplo: atrito, resistência elétrica, expansão não resistida de uma gás, entre vários outros.

Por não possuírem irreversibilidades, os ciclos reversíveis são mais eficientes, o que pode ser mensurado através do conceito de eficiência térmica.

De acordo com Çengel (2013), a eficiência térmica de um ciclo termodinâmico consiste na razão entre o trabalho líquido fornecido por ele e o calor que é necessário fornecer a ele:

$$\eta = \frac{w_{liq}}{q_{ent}}. \quad (3.48)$$

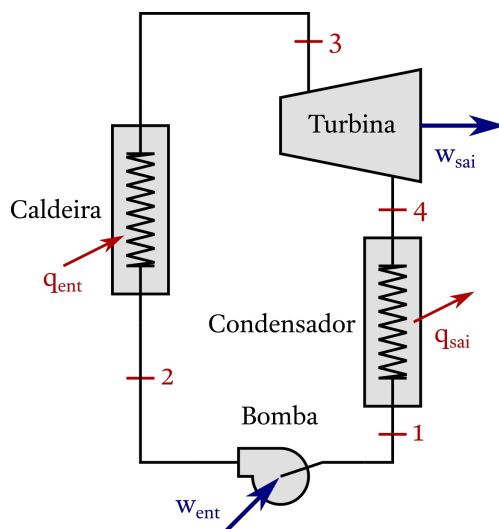
Apesar de ser impossível a obtenção de um ciclo reversível, eles servem como parâmetro de comparação, e busca-se conseguir ciclos com eficiências térmicas cada vez mais próximas dos reversíveis (ÇENGEL, 2013).

Existem diversos tipos de ciclos termodinâmicos, cada um com sua aplicação própria. Entre eles pode-se citar o ciclo Rankine, o ciclo Brayton, e o ciclo Linde-Hampson.

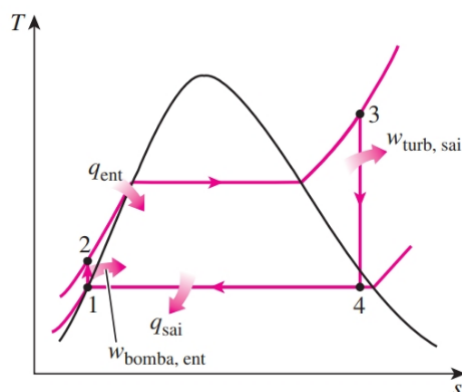
### 3.3.1 Ciclo Rankine

Segundo Çengel (2013), o ciclo Rankine é um ciclo termodinâmico considerado ideal para aplicação em usinas de potência a vapor. Sua forma ideal, assim como um gráfico  $T \times s$  de seus estados estão ilustrados respectivamente na Figura 3.7 e na Figura 3.8.

**Figura 3.7 – Ciclo Rankine Ideal**



Fonte: Adaptado de Çengel (2013)

Figura 3.8 – Diagrama  $T \times s$  do Ciclo Rankine Ideal

Fonte: Çengel (2013)

No ciclo em questão, um fluido em estado de líquido saturado ( $x = 0$ ) é bombeado para adquirir pressão e em seguida recebe calor a pressão constante de uma caldeira para que atinja o estado de vapor superaquecido. Esse fluido é então utilizado para realização de trabalho em uma turbina, expandindo-se, e em seguida perdendo calor para um condensador até voltar ao estado inicial (ÇENGEL, 2013).

Em uma abordagem idealizada, a compressão e expansão são processos isentrópicos ( $s$  constante), ou seja, possuem eficiência isentrópica igual a 1, porém em abordagens mais reais considera-se que a bomba e a turbina possuem eficiências isentrópicas diferentes dessa ideal (ÇENGEL, 2013).

A eficiência isentrópica da turbina é dada por

$$\eta_{s,t} = \frac{w_{re,t}}{w_{s,t}} = \frac{h_1 - h_{2,re}}{h_1 - h_{2,s}} \quad (3.49)$$

A eficiência isentrópica da bomba é dada por

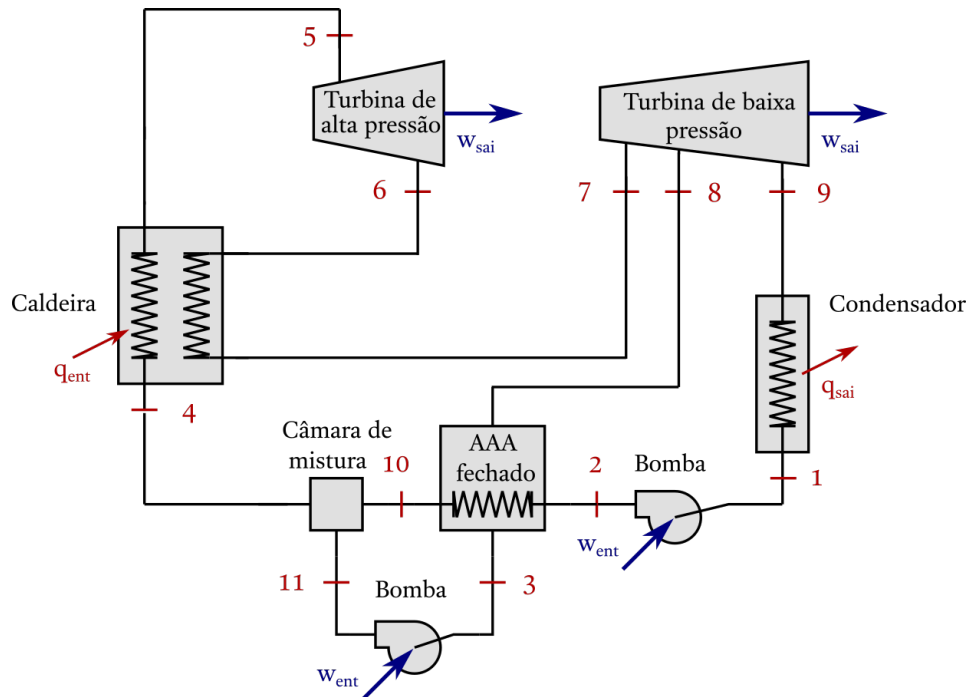
$$\eta_{s,b} = \frac{w_{s,t}}{w_{re,t}} = \frac{v(P_2 - P_1)}{h_{2,re} - h_1} \quad (3.50)$$

(ÇENGEL, 2013).

A partir do modelo inicial do ciclo Rankine, pode-se adicionar implementações, como por exemplo adicionar o processo de reaquecimento, que diminui a umidade do vapor nos últimos estados da expansão através do aquecimento dele antes de completar a expansão, permitindo um melhor funcionamento da turbina, e regeneração, que consiste em retirar frações do vapor da turbina antes de ser totalmente expandido para aquecer um pouco o fluido antes dele chegar na caldeira, aumentando a eficiência térmica do ciclo (ÇENGEL, 2013).

A Figura 3.9 apresenta um ciclo Rankine com reaquecimento e regeneração.

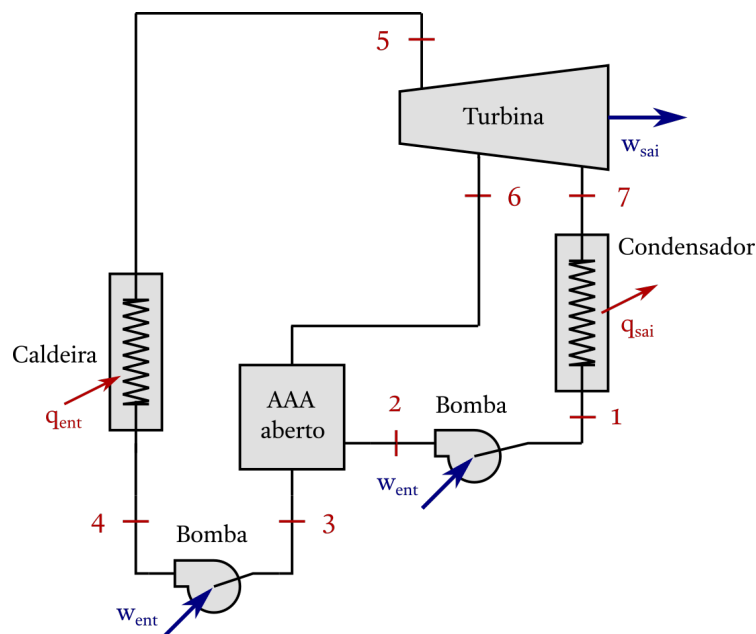
Figura 3.9 – Ciclo Rankine Regenerativo com Reaquecimento utilizando um Aquecedor de Alimentação de Água fechado



Fonte: Adaptado de Çengel (2013)

O processo de reaquecimento ilustrado na Figura 3.9 utiliza um Aquecedor de Alimentação de Água fechado, ou seja, as frações de fluido não se juntam, porém, poderia também ser utilizado um Aquecedor de Alimentação de Água aberto para o processo regenerativo, como mostra-se na Figura 3.10.

Figura 3.10 – Ciclo Rankine Regenerativo utilizando um Aquecedor de Alimentação de Água aberto



Fonte: Adaptado de Çengel (2013)

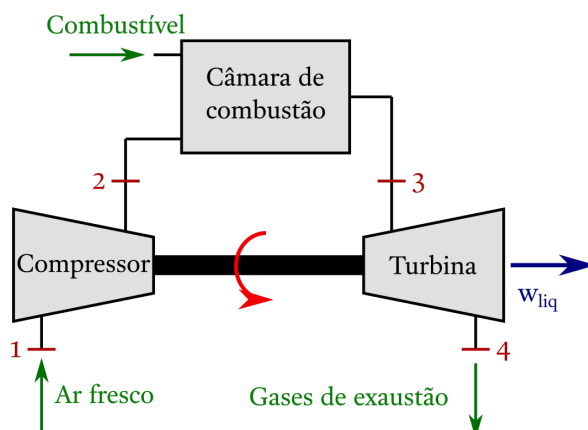
### 3.3.2 Ciclo Brayton

O ciclo Brayton consiste em um ciclo ideal para aplicação em turbinas a gás, onde o ar em condições ambientais é primeiramente admitido e submetido a uma compressão, para então passar por uma câmara de combustão onde ocorre aquecimento a pressão constante. Então, obtém-se trabalho fazendo esse ar expandir até as condições ambientes em uma turbina. O ar expelido ao final não é reutilizado, já que a admissão utiliza ar fresco (ÇENGEL, 2013).

Esse ciclo está ilustrado na Figura 3.11, e assim como o ciclo Rankine, também pode ser realizado com regeneração e reaquecimento, além disso é comum realizar nele um resfriamento intermediário no processo de compressão, pois segundo Çengel (2013), isso ajuda a reduzir o trabalho realizado pelo compressor, aumentando a eficiência térmica do ciclo. A Figura 3.12 ilustra um ciclo Brayton com todos esses processos.

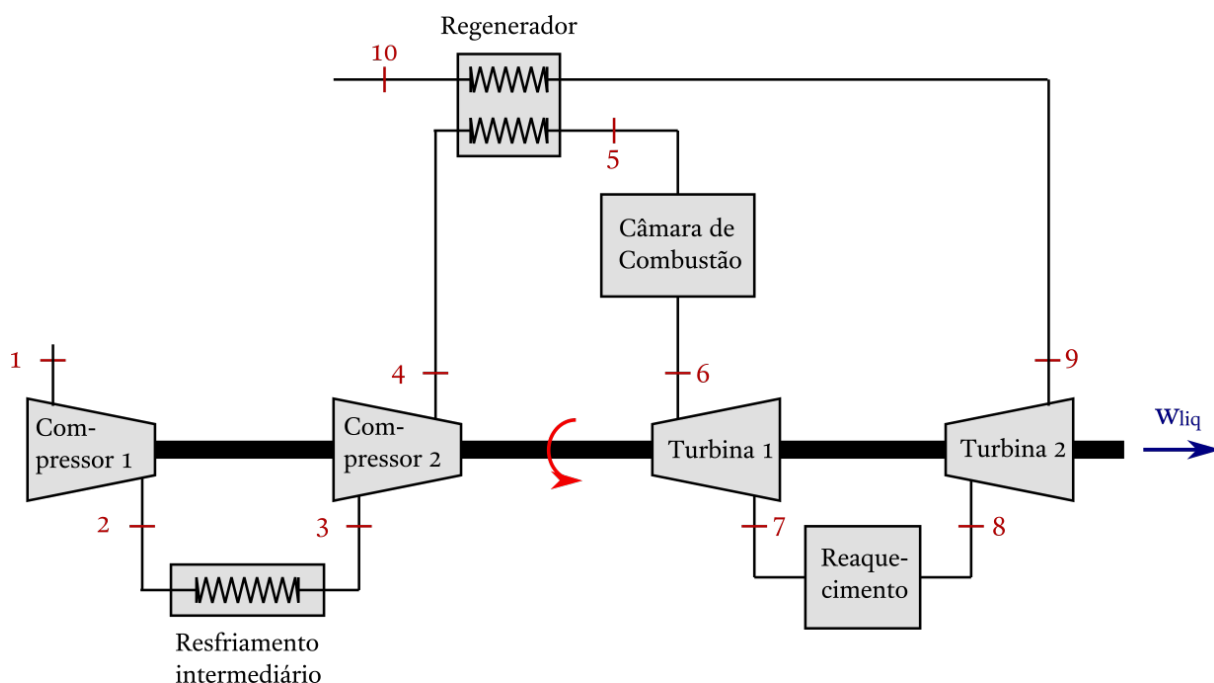


Figura 3.11 – Ciclo Brayton Ideal



Fonte: Adaptado de Çengel (2013)

Figura 3.12 – Ciclo Brayton com aquecimento, regeneração e resfriamento intermediário



Fonte: Adaptado de Çengel (2013)

Como esse tipo de ciclo envolve gás, utiliza-se a eficiência isentrópica do compressor ao invés da bomba:

$$\eta_{s,co} = \frac{h_{2,s} - h_1}{h_{2,re} - h_1}. \quad (3.51)$$

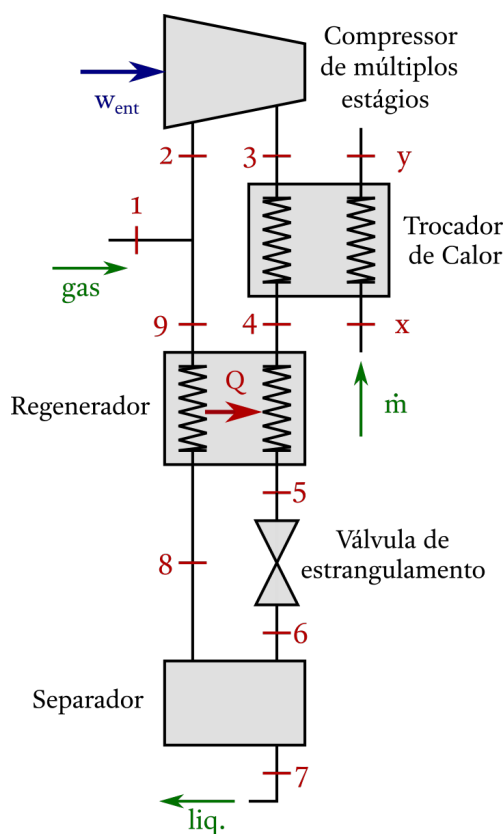
### 3.3.3 Ciclo Linde-Hampson

De acordo com Çengel (2013), o ciclo Linde-Hampson é um ciclo utilizado para a liquefação de gases, processo necessário para obtenção de, por exemplo, nitrogênio

e hidrogênio líquidos. Porém, o ciclo não consegue liquefazer totalmente a substância, portanto a fração de fluido admitida se junta a fração não liquefeita e então o estado resultante é submetido a uma grande compressão em múltiplos estágios aproximadamente isotérmica, em seguida o fluido é resfriado a pressão constante primeiramente em um trocador de calor onde perde calor para fora do ciclo e em seguida em um regenerador onde perde calor para a fração de vapor que está sendo reincorporada ao ciclo, e após isso é utilizada uma válvula de estrangulamento (onde a entalpia se mantém constante) para obter um estado de mistura saturada onde o líquido é extraído do ciclo e o vapor volta a circular.

O funcionamento deste ciclo está ilustrado na Figura 3.13.

**Figura 3.13 – Ciclo Linde-Hampson Ideal**



Fonte: Adaptado de Çengel (2013)

### 3.4 Métodos Numéricos

Para realizar o cálculo de todas as propriedades de um estado de uma gás de van-der-Waals, observou-se que em alguns casos será necessário a utilização de métodos numéricos.

### 3.4.1 Método de Newton-Raphson

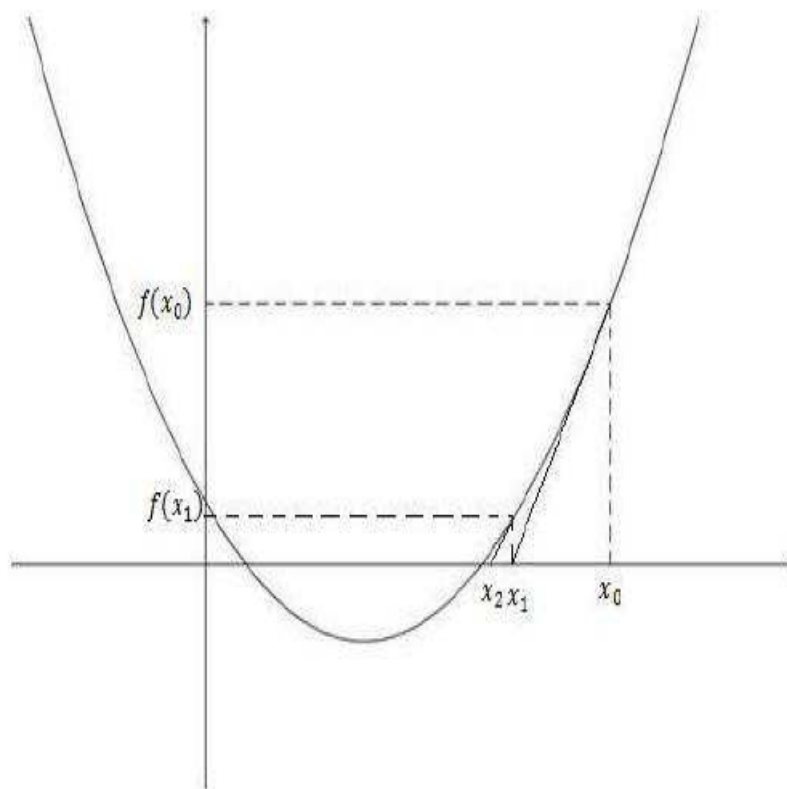
O método de Newton-Raphson consiste em uma técnica numérica que foi criada simultaneamente por Newton em 1671, que a publicou em 1736, e por Raphson em 1690 (YPMA, 1995). Este método constitui a base da maioria das técnicas atuais de resolução de problemas com equações algébricas não lineares, tendo sido utilizado em *Principia Mathematica* por Newton para resolver equações desse tipo (YPMA, 1995).

O método é definido por

$$x^{n+1} = x^n - \frac{f(x^n)}{f'(x^n)}, \quad (3.52)$$

onde  $f'$  se refere a derivada da função que, portanto, não pode ser nula ao longo do processo iterativo. A convergência deste método pode ser inferida pela Figura 3.14, onde se observa que o ponto  $n + 1$ , que é a intersecção da tangente da função em  $x = n$  com o eixo  $x$ , está mais próximo da raiz do que o ponto  $n$ .

**Figura 3.14 – Interpretação geométrica do método de Newton-Raphson**



Fonte: Amaral, Souza e Catalan (2015)

### 3.4.2 Método da Secante

De acordo com Kreyszig (2010), o método da secante deriva do método de Newton, tentando-se achar uma solução aproximada onde não haja a necessidade de calcular a

derivada da função, através da aproximação da derivada:

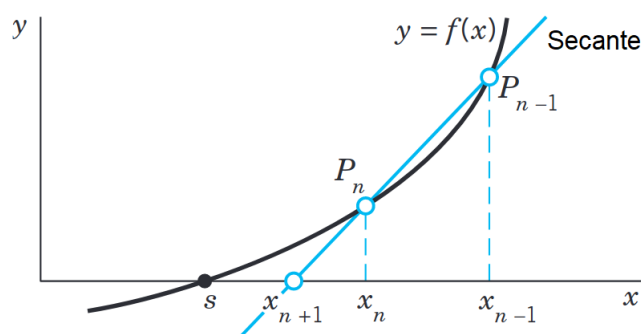
$$f'(x^n) \approx \frac{f(x^n) - f(x^{n-1})}{x^n - x^{n-1}}, \quad (3.53)$$

o que resulta em

$$x^{n+1} = x^n - f(x^n) \frac{(x^n - x^{n-1})}{f(x^n) - f(x^{n-1})}. \quad (3.54)$$

A convergência do método pode ser explicada geometricamente pela Figura 3.15, onde observa-se uma sequência de iterações que se aproximam da raiz da função.

**Figura 3.15** – Interpretação geométrica do método da Secante



Fonte: Adaptado de Kreyszig (2010)

### 3.5 Linguagem Julia

A biblioteca da linguagem Julia foi desenvolvida utilizando a própria linguagem, deixando-a mais compacta e genérica, e permitindo que o código da biblioteca seja utilizado como base de código de usuários, ou o contrário (BEZANSON et al., 2012).

A implementação da linguagem foi realizada através de 11000 linhas em C, 4000 linhas em C++, 3500 linhas em Scheme, o que é uma quantidade relativamente baixa de base em linguagem de baixo nível quando comparado a maioria das outras linguagens de *scripting* (BEZANSON et al., 2012). A biblioteca padrão conta com cerca de 25000 linhas de código em Julia e apresenta cerca de 300 funções numéricas do tipo encontrado em qualquer ambiente de computação técnica (BEZANSON et al., 2012).

O desenvolvimento da linguagem levou em conta que os principais tipos de dinamismo em uma linguagem podem ser traduzidos em: habilidade de ler o código em tempo de carregamento e em tempo de compilação, permitindo eliminar distrações do sistema e arquivos de configuração; o tipo Any como o único tipo verdadeiramente estático; nunca rejeitar código sintaticamente bem formado; comportamento dependendo apenas de tipos *run-time* (BEZANSON et al., 2012).

Um dos principais pontos diferenciais da linguagem Julia consiste no fato de ser uma linguagem de despachos múltiplos (*multiple dispatch*). Para entender melhor

o significado disso é importante entender que existem linguagens de *single dispatch* e linguagens de *multiple dispatch*.

As linguagens de *single dispatch* são aquelas onde um método é chamado através de um objeto e a escolha de qual método será utilizado dependerá apenas desse objeto, enquanto que linguagens de *multiple dispatch* são aquelas onde a decisão de qual método será chamado depende do tipo durante o tempo de execução de múltiplos objetos (BENDERSKY, 2016). Esse tipo de linguagem permite a realização de aplicações mais complexas, que muitas vezes podem não ser possíveis em *single dispatch* ou que necessitariam de uma quantidade muito maior de código, e também permite atingir uma maior eficiência através de um maior grau de reutilização de código (BENDERSKY, 2016).

### Código 3.1 – *Multiple Dispatch*

```
function x(a::Symbol, b::Real, c::Float64, d::Integer, e::Any)
    println("possibility one")
end

function x(f::Symbol, g::String, h::Real)
    println("possibility two")
end

a = :a
b = 76
c = 1.67
d = 2
e = [1, 2, 3]
f = :d
g = "variavel"
h = 78.67

x(f, g, h)
```

possibility two

**Fonte: Autoria Própria**

Como pode-se observar no Código 3.1, existem duas funções *x* e a determinação de qual foi chamada se deu de acordo com o tipo durante execução das variáveis que foram utilizadas como argumento, e também de acordo com o número de argumentos, o que caracteriza o *multiple dispatch*.

Segundo Bezanson et al. (2012), em linguagens científicas, tipos numéricos e aritmética são fundamentais para a programação, e em Julia, o *multiple dispatch* é utilizado para definir aritmética e a promoção de tipos no nível da biblioteca ao invés do compilador, como seria em C por exemplo, permitindo a incorporação de tipos numéricos e novos operadores com menos trabalho.

O núcleo da linguagem é constituído por: uma camada de sintaxe, linguagem simbólica e estrutura de dados para representar certos tipos, implementação de funções genéricas e *multiple dispatch* baseados nestes tipos, funções intrínsecas do compilador para acessar o modelo do objeto, aritmética nativa, operações `bit string` e capacidade de chamar nativamente funções em C e Fortran, e a presença de um mecanismo de alto nível para referenciar objetos (BEZANSON et al., 2012).

Julia é a primeira linguagem que parece resolver o “problema das duas linguagens”, que consiste em geralmente os desenvolvedores criarem um modelo inicialmente em linguagens de alto nível, como Python por exemplo, para que possam implementá-lo com maior facilidade e rapidez, e posteriormente traduzi-lo para uma linguagem de baixo nível, como por exemplo Fortran ou C, para obter o desempenho necessário para a utilização desse modelo (DAVISON, 2018).

Esse fato faz com que ela seja vista por muitos como uma tecnologia disruptiva, isso significa que ela possui a capacidade de transformar a comunidade de programação industrial, oferecendo uma solução para um problema que até o momento não conseguia-se resolver de forma satisfatória, isso resulta em uma resposta do mercado e em um crescimento exponencial de seu uso (DAVISON, 2018).

O seu nicho científico é outra vantagem, pois a linguagem foi construída de forma a facilitar seu uso no contexto científico através de sua grande capacidade de trabalhar com equações e rotinas matemáticas em geral, possuindo uma sintaxe muito parecida a linguagem matemática (DAVISON, 2018).

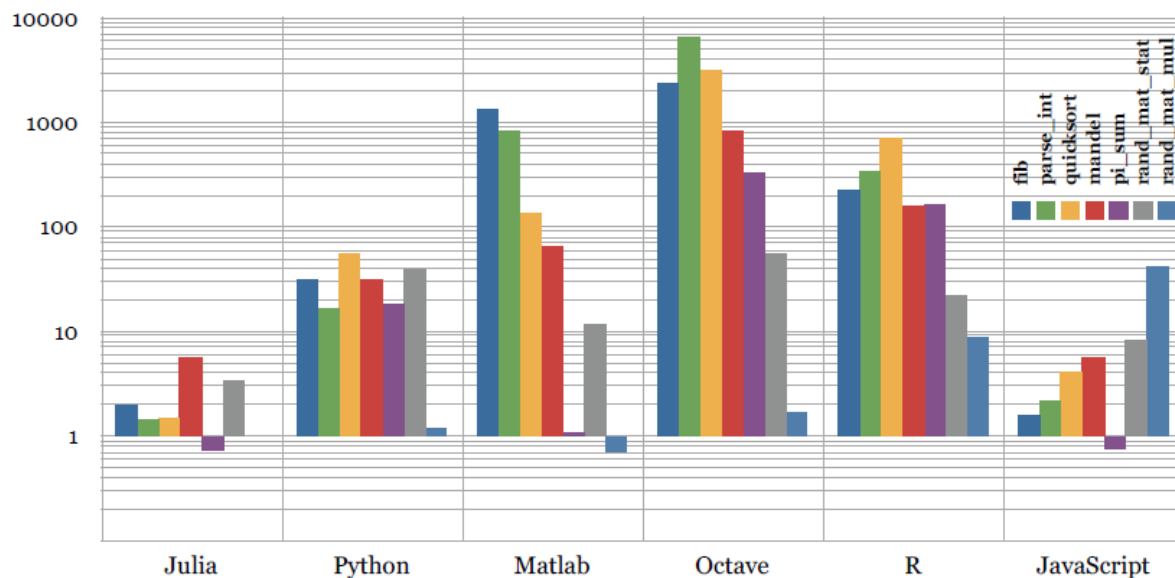
Tem-se também o fato de que possui uma grande comunidade que está constantemente desenvolvendo novos pacotes e aprimorando a linguagem, sendo predominantemente composta por pessoas do meio científico, o que aumenta constantemente o potencial oferecido pela linguagem na realização de pesquisas, e ajuda a inserir a linguagem neste nicho (DAVISON, 2018).

Além disso, existe uma tendência em serem utilizadas linguagens dinâmicas e de alto nível para o desenvolvimento de algoritmos e análise de dados em matemática e engenharia aplicadas, além de outras ciências, devido à maior conveniência e produtividade, porém para problemas mais intensivos computacionalmente, este tipo de linguagem deixa a desejar no quesito do desempenho, o que é diferente em Julia, dando a ela uma grande vantagem neste nicho (BEZANSON et al., 2012).

Para fins de comparação, observa-se o gráfico da Figura 3.16, que mostra o desempenho da linguagem Julia e de outras linguagens conhecidas em diversos tipos de operações, onde o eixo y do gráfico (que está em escala logarítmica) consiste no tempo levado pela linguagem em questão dividido pelo tempo da linguagem C++, portanto, 1 indica que a operação foi realizada no mesmo tempo da linguagem C++, enquanto 10 indica que a linguagem levou 10 vezes mais tempo do que a linguagem C++ naquela operação, e assim por diante. Para obter estes resultados foram realizados cinco *microbenchmarks*

com escalares e dois com Arrays simples (BEZANSON et al., 2012).

**Figura 3.16 – Resultados do *Microbenchmark***



Fonte: Bezanson et al. (2012)

Além do que foi citado, para que uma linguagem de programação seja considerada disruptiva, ela precisa ser bem projetada e sustentável, algo observado em Julia, que foi projetada por cientistas da computação recebendo suporte do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) e de grandes corporações (DAVISON, 2018). Além disso, uma linguagem disruptiva precisa de índices significativos de uso, o que pode ser observado pelo número crescente de empresas publicando trabalhos utilizando a linguagem. Por exemplo, a *Federal Aviation Administration* junto ao *Lincoln Labs* está desenvolvendo um sistema de nova geração para evitar colisões aéreas utilizando Julia. Outro exemplo é o *Federal Reserve Bank of New York*, que implementou modelos macroeconômicos em Julia (DAVISON, 2018).

Além disso tudo, por ser uma linguagem computacional atual, ela trabalha bem com os hardwares de alta tecnologia disponíveis no mercado, oferecendo também uma boa compatibilidade na implementação de inteligência artificial e *machine learning* (DAVISON, 2018).

### 3.5.1 Tipos de Dados

Uma importante característica das linguagens de programação consiste nos seus tipos. Os tipos podem ser definidos como classificações de variáveis utilizadas com o intuito de realizar restrições e diminuir as inconsistências existentes ao trabalhar com elas, de

forma similar a como funcionam as unidades de medida na matemática (CARDELLI; WEGNER, 1985).

O alto desempenho da linguagem é obtido principalmente por meio de uma rica informação de tipos, principalmente devido ao *multiple dispatch*, especialização agressiva de tipos com tipos *run-time*, e compilação JIT usando o compilador *framework* LLVM (BEZANSON et al., 2012).

Segundo Bezanson et al. (2012), o sistema sofisticado de tipos da linguagem está diretamente relacionado com sua dinamicidade, pois nela, eles são tratados como descrições simbólicas de determinados valores e também como objetos inspecionados durante a execução do programa e que podem ser criados. Algumas características desse sistema são a presença do tipo `Any`, que constitui o único tipo verdadeiramente estático da linguagem e a imutabilidade estrutural dos tipos em si (BEZANSON et al., 2012).

É possível programar em Julia sem especificar tipos, mas a existência da possibilidade de especificá-los é uma forte ferramenta para eficiência do código (BEZANSON et al., 2012).

Os tipos existentes em Julia são divididos em `composite types`, que possuem campos nomeados e supertipos declarados, `abstract types`, que podem ter subtipos e supertipos declarados, tuplas, que são coleções imutáveis de valores, `bit types`, que são valores declarados como `bit string` e que possuem supertipos declarados, e `union types`, que são `abstract types` construídos por meio de outros tipos (BEZANSON et al., 2012).

O tipo de uma tupla é dado como uma tupla dos tipos de seus elementos. Ele pode ser um subtipo se os elementos dela são subtipos dos elementos correspondentes de outra. Além disso, em tuplas usa-se o “...” em situações como por exemplo `(Int, String ...)`, que representa que o primeiro dado é um inteiro, e uma quantidade indefinida de `Strings` podem estar presentes (BEZANSON et al., 2012).

Os `union types` podem ser usados para juntar tipos não relacionados, para definir uma hierarquia de tipos diferente de uma hierarquia previamente estipulada, e para declarar métodos aplicáveis em múltiplos tipos (BEZANSON et al., 2012). Um exemplo de utilização seria um condicional de um método que pode retornar uma `String` por uma via ou um inteiro por outra via (BEZANSON et al., 2012).

`Abstract types`, `composite types`, e `bits types` podem ter parâmetros. Tipos iguais mas que possuem parâmetros diferentes são considerados fundamentalmente diferentes e não possuem relação de subtipo. Um `Array`, por exemplo, será diferente conforme os tipos de seus elementos sejam diferentes. Sintaticamente, essa representação em Julia é simplificada para evitar a necessidade de reescrita de código (BEZANSON et al., 2012). Observa-se isso em “`Array`” que se refere a qualquer `Array`, “`ArrayFloat64`” se refere a um `Array` composto de elementos `Float64` de qualquer dimensão, e “`ArrayFloat64, 1`” se refere a um `Array` composto de elementos `Float64`



de dimensão 1 (BEZANSON et al., 2012).

O sistema de promoção de tipos é pautado em 4 funções: `convert(T, value)`, que converte o segundo argumento em tipo `T`; `promote_rule(T1, T2)`, define qual dos dois argumentos é maior em termos de promoção parcial de ordem; `promote_type(T1, T2)`, utiliza o `promote_rule` pra definir que tipo deveria ser utilizado para valores dos tipo `T1` e `T2`; `promote(v1, v2)`, converte os argumentos para um tipo apropriado e retorna os resultados (BEZANSON et al., 2012).

Com isso em mente, tem-se que em “`+(x::Number, y::Number) = promote(x, y)...`” por exemplo, dados dois argumentos numéricos onde mais nenhuma definição específica se encaixa, os argumentos são promovidos e a operação é tentada novamente (BEZANSON et al., 2012).

### 3.5.2 Funções

As funções em Julia são em geral genéricas, ou seja, possuem várias definições ou métodos para diversas combinações de tipos dos argumentos, e essas funções genéricas consistem no principal mecanismo de abstração da linguagem (BEZANSON et al., 2012). Quando uma dessas funções é chamada, a definição mais específica que corresponder com os tipos em *run-time* dos argumentos é chamada. Isso permite que a maioria dos padrões de linguagens orientadas ao objeto sejam aplicados em Julia com menos características distintas (BEZANSON et al., 2012).

Em Julia, as definições de métodos possuem uma forma longa e uma curta, como pode-se observar no Código 3.2. O tipo de um argumento pode ser declarado através de uma especificação de *dispatch*, utilizando “`::`” antes do nome do argumento. Quando não é realizada a especificação, automaticamente o argumento é considerado como sendo do tipo `Any`, e se é utilizado “`...`” após um argumento, este é considerado como uma tupla de argumentos e a função então suporta qualquer número de argumentos, além disso, o “`::`” também pode ser utilizado para forçar uma variável a ser sempre do tipo especificado (BEZANSON et al., 2012).

Funções anônimas podem ser definidas através da sintaxe `x -> x + 1`, e variáveis locais são declaradas implicitamente enquanto as variáveis globais só podem ser modificadas por uma declaração global, além disso, os operadores também funcionam como as funções, mas com uma sintaxe especial para serem chamados (BEZANSON et al., 2012).

**Código 3.2 – Funções em Julia**

```
function iszero(x::Number)
    return x==0
end

iszero(x) = (x==0)
```

**Fonte: Bezanson et al. (2012)**

Outra característica útil consiste na possibilidade de se referir a parâmetros de tipos de argumentos dentro dos métodos, e especificar restrições nestes parâmetros para propósitos de *dispatch* (BEZANSON et al., 2012). Os parâmetros se comportam de forma similar a argumentos, mas derivam automaticamente dos tipos dos argumentos do método, e não são declarados explicitamente, a função primária disso é escrever um método aplicado a uma família de tipos paramétricos (BEZANSON et al., 2012).

Se for tomado como exemplo: `function assignT<:Integer(a::Array{T,1}, i, n::T)`, há uma função cujo primeiro argumento é um `Array` de uma dimensão cujos elementos são um tipo de inteiro, o segundo elemento é do tipo `Any`, e o terceiro é do tipo dos elementos do `Array`, logo, o `T` estará ligado ao tipo dos elementos do `Array` (BEZANSON et al., 2012).

Os *parametric types* e métodos foram projetados de forma a balancear o sistema sofisticado de tipos, utilizado para obter uma “não expressividade” e informações de tipo em tempo de compilação, com a usabilidade, conseqüentemente, eles não possuem um conceito de aplicação estática, não possuem contextos distintos de tipos e expressões, e os parâmetros são opcionais sempre que possível (BEZANSON et al., 2012).

*Composite types* são utilizados como funções para construir instâncias. O Código 3.3 mostra o construtor para o tipo dos racionais. O identificador `new` dentro de `type` está ligado a uma pseudo função que constrói instâncias a partir de valores nos campos, isso permite a representação dos racionais como frações simplificadas (BEZANSON et al., 2012).

**Código 3.3 – Construtor dos Racionais em Julia**

```
type Rational{T<:Integer} <: Real
    num::T
    den::T

    function Rational(num::T, den::T)
        if num == 0 && den == 0
            error("invalid rational: 0//0")
        end
        g = gcd(den, num)
        new(div(num, g), div(den, g))
    end
end
```

**Fonte: Bezanson et al. (2012)**

A tabela do método de uma função genérica consiste em um dicionário onde as chaves são os tipos (BEZANSON et al., 2012). Com métodos múltiplos, definições podem ser associadas a combinações de tipos, deixando fácil representar propriedades que não são naturais aos tipos, assim esses tipos podem ser inferidos por meio de construtores de tipo e da função `typeof`, isso dá a flexibilidade e desempenho de tipos estáticos sem o uso de sintaxe especial (BEZANSON et al., 2012).

A escolha do método como já citado se dará por conta da combinação de tipos dos argumentos, buscando o método mais específico que esteja de acordo com estes tipos. Para isso são utilizadas as seguintes regras: se A é subtipo de B, A é mais específico; subtipos declarados são sempre mais específicos que seus supertipos declarados independentemente do tipo de parâmetro; se A é `Union{Int32, String}` e B é `Number`, então a intersecção dos dois é `(Int32)`, logo A é mais específico que B; o tipo dos argumentos é mais significativo na especificidade do que a quantidade de argumentos; restrições diagonais são mais específicas (BEZANSON et al., 2012). Além disso, como o *multiple dispatch* de Julia é simétrico, todos os argumentos possuem mesma importância, logo, não se pode declarar duas funções com os mesmos tipos de argumentos mas com ordem diferente (BEZANSON et al., 2012).

### 3.5.3 Comandos de Repetição

Para iterações, foi adotado um design onde um *looping* em `for` pode ser convertido em um `while` usando a estrutura do Código 3.4. A escolha a isso foi devido a não deixar a iteração presa a um estado alocado mutável, como um objeto iterador que se atualiza sozinho (BEZANSON et al., 2012).

**Código 3.4 – For e While**

```
for i in range
    # body
end

#Transforma-se em:

state = start(range)
while !done(range, state)
    (i, state) = next(range, state)
    # body
end
```

**Fonte: Bezanson et al. (2012)**

### 3.5.4 Bibliotecas e Aplicações

Existem diversas bibliotecas já desenvolvidas para a linguagem, o que fornece uma grande quantidade de ferramentas que podem auxiliar o usuário em diversas aplicações distintas. Isso auxilia o desenvolvimento científico com a linguagem, ajudando-a a ser inserida nesse nicho. Além disso, algumas bibliotecas podem auxiliar o desenvolvimento de outras, portanto serão abordadas algumas bibliotecas nativas na linguagem, em específico as que serão utilizadas como dependências da biblioteca a ser desenvolvida.

A biblioteca `Unitful` consiste em uma biblioteca utilizada para dar suporte à utilização de unidades de medida, incluindo não apenas o Sistema Internacional, como também outros sistemas, além de ferramentas para auxiliar a análise dimensional, de forma a integrar esses aspectos com as operações matemáticas da linguagem (PAINTERQUBITS, 2016).

Pode-se observar pelo Código 3.5 alguns exemplos de aplicações dessa biblioteca, onde inicialmente são definidas variáveis que possuem unidades, em seguida são feitas algumas operações com elas, após isso há a realização de conversões, e por último mostra-se o processo de remoção da unidade.

**Código 3.5 – Biblioteca Unitful**

```
using Unitful
m = 50u"kg"
P = 100u"kPa"
v = 2u"m^3/kg"
y = m*v*P
```

10000 m<sup>3</sup> kPa

```
y + 20u"dm^3*GPa"
```

30000000 kg m<sup>2</sup> s<sup>-2</sup>

```
y |> u"kN*m"
```

10000 m kN

```
y |> u"dm^3*GPa"
```

10//1 dm<sup>3</sup> GPa

```
y.val
```

10000

**Fonte: Adaptado de PAINTERQUBITS (2016)**

A biblioteca `Polynomials` possui diversas ferramentas para trabalhar com polinômios, incluindo aritmética básica, integração, diferenciação, cálculo e determinação das raízes, tudo isso para uma ampla quantidade de tipos de polinômios (JULIA MATH, 2014a).

Observa-se pelo Código 3.6 como funciona a definição de polinômios utilizando essa biblioteca e são mostradas algumas operações utilizando-os, e então é utilizada uma função presente nela para encontrar as raízes de um dos polinômios.

Código 3.6 – Biblioteca **Polynomials**

```

using Polynomials
p1 = Polynomial([1, (34/33), 8, 2])

1.0 + 1.0303030303030303·x + 8.0·x2 + 2.0·x3

p2 = Polynomial([0, 0, 4, -5])

4·x2 - 5·x3

3*p1 + (p2/2)

3.0 + 3.090909090909091·x + 26.0·x2 + 3.5·x3

p1(0.3) - p2(2)

26.08309090909091

integrate(p1)

1.0·x + 0.5151515151515151·x2 + 2.6666666666666665·x3 +
0.5·x4

derivative(p1)

1.0303030303030303 + 16.0·x + 6.0·x2

roots(p1)

3-element Array{Complex{Float64},1}:
-3.9007965262242825 + 0.0im
-0.049601736887857295 - 0.3545682119924629im
-0.049601736887857295 + 0.3545682119924629im

```

**Fonte: Adaptado de JULIA MATH (2014a)**

A biblioteca `Roots` contém rotinas para encontrar raízes de funções contínuas e escalares de uma variável real, através da função `find_zero`, com suporte a vários algoritmos através da especificação do método, que inclui o método da Bisseção, Newton-Raphson, Secante, entre outros (JULIA MATH, 2014b).

Pode-se ver pelo Código 3.7 a utilização da biblioteca `Roots` para encontrar a raiz de uma função utilizando o método de Newton-Raphson e também o método da secante, onde foi utilizada uma estimativa inicial de -1 para a raiz em ambos os casos.

Código 3.7 – Biblioteca `Roots`

```
using Roots
f(x) = 2x^3 + cos(x)
fderivada(x) = 6x^2 - sin(x)

fderivada (generic function with 1 method)

#Método de Newton-Raphson
find_zero((f, fderivada), -1, Roots.Newton())

-0.721406032674848

#Método da Secante
find_zero(f, -1, Order1())

-0.721406032674848
```

Fonte: Adaptado de JULIA MATH (2014b)

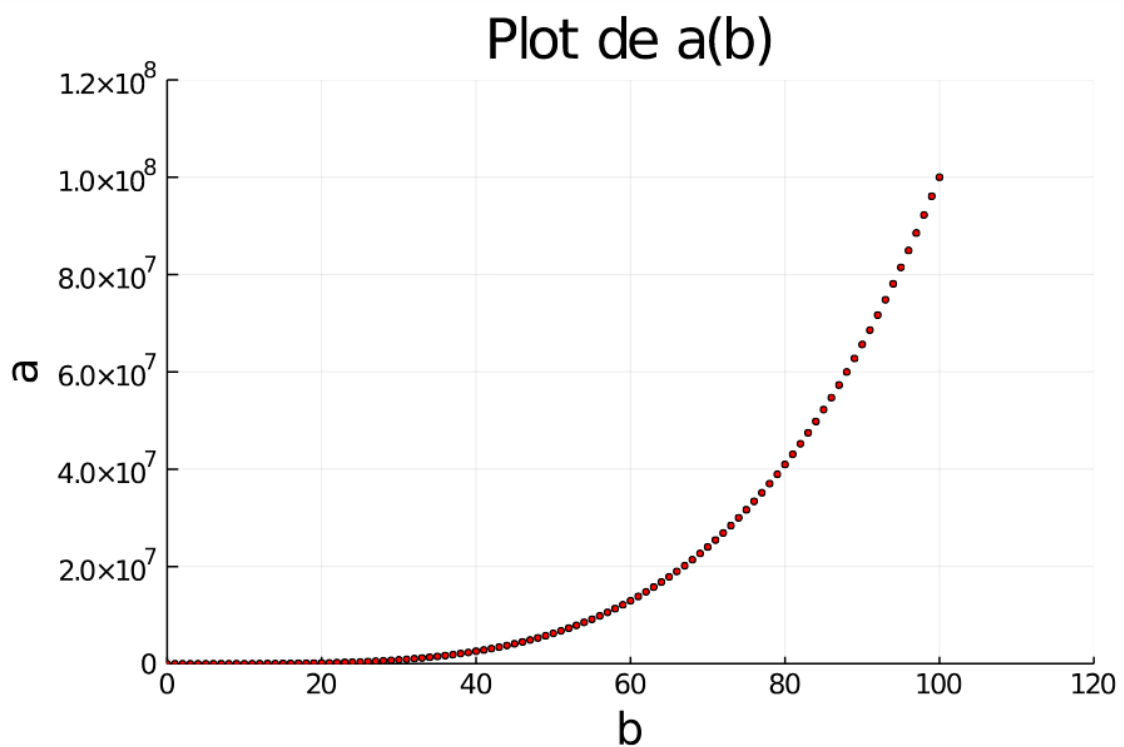
A biblioteca `Plots` é uma ferramenta muito útil para a realização de plotagens em Julia, ela utiliza como *back-ends* (partes secundárias) outras ferramentas de plotagem como GR, PyPlot, PGFPlotsX, Plotly, conectando comandos com implementação, permitindo utilizar diversos recursos de todas essas ferramentas com uma mesma sintaxe (BRELOFF, 2015).

Outras características dessa biblioteca consistem em ela ser intuitiva, concisa através de códigos menores que dão menos margens a erros, flexível devido a seus diversos *back-ends*, consistente pois mantém sua sintaxe para todos eles e leve pois possui poucas dependências já que os *back-ends* são carregados e inicializados de maneira dinâmica (BRELOFF, 2015).

Utilizando a biblioteca `Plots`, foi realizada a plotagem que pode ser observada no Código 3.8, onde é utilizada a função de plotagem da biblioteca juntamente com várias especificações que permitem adaptar a parte visual da plotagem de diversas formas, incluindo tamanho da fonte em vários locais, estilo da linha, cor, espessura, presença ou não de legenda, entre outros.

Código 3.8 – Biblioteca **Plots**

```
using Plots
a(b) = b^4 + b^2
x = 0:100
plot(x, a.(x), seriestype = :scatter, title = "Plot de a(b)",
      xlabel = "b", ylabel = "a",
      label = "a(b)", tickfontsize = 10, guidefontsize = 16,
      legendfontsize = 12, titlefontsize = 20, color = :red,
      width = 2, xlims = (0, 120), ylims = (0, 120000000),
      legend = false, markersize = 2)
```



Fonte: Adaptado de Breloff (2015)

Além das aplicações de bibliotecas, pode-se observar um exemplo prático da utilização do sistema de tipos em Julia, através da criação de uma estrutura de tipo, uma característica da linguagem, em uma aplicação para gás ideal, no Código 3.9. Já no Código 3.10 observa-se a sintaxe das funções em Julia aplicadas neste mesmo contexto. Esta mesma lógica pode servir de base para criar uma biblioteca de gás de van-der-Waals.



## Código 3.9 – Aplicação do Sistema de Tipos da Linguagem Julia

```

struct idealGas
    nome::String
    M::AbstractFloat
    cpCoef::NTuple{4,AbstractFloat}
end

nome(gas::idealGas) = gas.nome
M(gas::idealGas) = gas.M
cpCoef(gas::idealGas) = gas.cpCoef
cvCoef(gas::idealGas) = (gas.cpCoef[1] -  $\bar{R}$ (), gas.cpCoef[2:end]...)
 $\bar{R}$ () = 8.31447
R(gas::idealGas) =  $\bar{R}$ () / M(gas)

CO2 = idealGas("CO2", 44.0098, (23.965, 0.054685, -3.0227e-5,
6.0233e-9))

```

```
idealGas("CO2", 44.0098, (23.965, 0.054685, -3.0227e-5,
6.0233e-9))
```

Fonte: Adaptado de Naaktgeboren (2019b)

## Código 3.10 – Funções de Gás Ideal em Julia

```

P(gas::idealGas, Molr::Bool=false; T::Real, v::Real) =
Molr ?  $\bar{R}$ () * T / v : R(gas) * T / v
T(gas::idealGas, Molr::Bool=false; P::Real, v::Real) =
Molr ? P * v /  $\bar{R}$ () : P * v / R(gas)
v(gas::idealGas, Molr::Bool=false; P::Real, T::Real) =
Molr ?  $\bar{R}$ () * T / P : R(gas) * T / P
cp(gas::idealGas, Molr=false; T::Real) = begin
    val = sum(cpCoef(gas) .* (T .^ (0:3)))
    Molr ? val : val / M(gas)
end
cv(gas::idealGas, Molr=false; T::Real) = begin
    val = sum(cvCoef(gas) .* (T .^ (0:3)))
    Molr ? val : val / M(gas)
end
 $\gamma$ (gas::idealGas; T::Real) = cp(gas, T=T) / cv(gas, T=T)
 $\kappa$ (gas::idealGas; T::Real) =  $\gamma$ (gas, T=T)

```

$\kappa$  (generic function with 1 method)

Fonte: Adaptado de Naaktgeboren (2019b)

### 3.5.5 Limitações

O design da linguagem também incorre em algumas limitações. As informações dos tipos seguem um fluxo direto junto com os valores, isso impede a linguagem de realizar aplicações onde um fluxo reverso é requerido, como por exemplo determinar o tipo de um *container* baseado no tipo de um elemento dele em um ponto adiante da programação, além disso, não é possível realizar *return type-overloading*, que é possível em sistemas com tipos estáticos (BEZANSON et al., 2012).

Outra limitação da linguagem consiste no fato de atualmente não ser capaz de armazenar em cache código gerado nativamente, dependendo de um tempo de inicialização necessário para compilar as funções básicas da biblioteca, porém existe o planejamento de superar esta limitação em atualizações futuras (BEZANSON et al., 2012).

## 4 METODOLOGIA

Para a construção das funções da biblioteca é necessário desenvolver um modelo para obtenção de cada propriedade termodinâmica, no qual a equação de cada propriedade será implementada e utilizada para os cálculos de estados e processos. Partindo do referencial teórico abordado, o método para obtenção dessas propriedades consiste em desenvolver um modelo utilizando a função característica de Helmholtz.

### 4.1 Modelo Completo por Função Característica de Helmholtz

Equacionando a energia específica de Helmholtz na forma adimensional, obtém-se

$$a_r = \frac{a}{P_c v_c} \Rightarrow \frac{\partial a_r}{\partial a} = \frac{1}{P_c v_c}. \quad (4.1)$$

O mesmo processo de equacionamento para os calores específicos resulta em

$$c_{p,r} = \frac{T_c c_p}{P_c v_c} \Rightarrow \frac{\partial c_{p,r}}{\partial c_p} = \frac{T_c}{P_c v_c} \quad \text{e} \quad (4.2)$$

$$c_{v,r} = \frac{T_c c_v}{P_c v_c} \Rightarrow \frac{\partial c_{v,r}}{\partial c_v} = \frac{T_c}{P_c v_c}. \quad (4.3)$$

Para a forma adimensional de  $u$ ,  $h$  e  $s$ , tem-se as equações

$$u_r = \frac{u}{P_c v_c} \Rightarrow \frac{\partial u_r}{\partial u} = \frac{1}{P_c v_c}, \quad (4.4)$$

$$h_r = \frac{h}{P_c v_c} \Rightarrow \frac{\partial h_r}{\partial h} = \frac{1}{P_c v_c} \quad \text{e} \quad (4.5)$$

$$s_r = \frac{T_c s}{P_c v_c} \Rightarrow \frac{\partial s_r}{\partial s} = \frac{T_c}{P_c v_c}. \quad (4.6)$$

Efetuada a integração indefinida da Eq. (3.20) considerando a variação da temperatura, obtêm-se:

$$a_r(T_r, v_r) = -\frac{8T_r}{3} \ln(3v_r - 1) - \frac{3}{v_r} + \Phi(T_r), \quad (4.7)$$

onde  $\Phi(T_r)$  é a constante de integração parcial em  $v_r$ .

Sabe-se que dentro do domo, o volume, entalpia, entropia e energia interna da substância seguem a regra

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_l + x(\mathbf{p}_{lv}). \quad (4.8)$$

Essa lógica também é válida para a energia de Helmholtz, isso pode ser verificado aplicando a Eq. (3.17) em uma situação de mudança de fases (onde  $dT = 0$  e  $P$  é constante) e integrando do estado líquido até um estado qualquer dentro do domo, o que resulta em

$$a - a_l = \Delta a = P x v_{lv} = x a_{lv}, \quad (4.9)$$

que mostra que a variação de  $a$  ao longo do domo de saturação se comporta da mesma maneira que a variação das outras propriedades que dependem de  $x$  nessa região, assim,

$$a_r = \begin{cases} -\frac{8T_r}{3} \ln(3v_r - 1) - \frac{3}{v_r} + \Phi(T_r), & \text{se } v_r(T_r) < v_{r,l}(T_r) \text{ ou } v_r(T_r) > v_{r,v}(T_r), \\ a_{r,l} + x a_{r,lv}, & \text{se } T_r < 1 \text{ e } v_{r,l}(T_r) \leq v_r \leq v_{r,v}(T_r) \quad . \end{cases} \quad (4.10)$$

Portanto, para os casos dentro do domo de saturação, as equações desenvolvidas através deste modelo serão substituídas pela formulação desenvolvida na seção 3.2.

Utilizando a relação

$$-s_r = \left( \frac{\partial a_r}{\partial T_r} \right)_{v_r}, \quad (4.11)$$

sobre a Eq. (4.7), obtém-se então

$$s_r = \frac{8}{3} \ln(3v_r - 1) - \frac{d}{dT_r} \Phi(T_r) \quad (4.12)$$

Utilizando os resultados de  $a_r$  e  $s_r$  na equação

$$u_r = a_r + T_r s_r, \quad (4.13)$$

será obtido

$$u_r = -T_r \frac{d}{dT_r} \Phi(T_r) - \frac{3}{v_r} + \Phi(T_r). \quad (4.14)$$

Pode-se obter o calor específico a volume constante através de

$$c_{v,r} = \left( \frac{\partial u_r}{\partial T_r} \right)_{v_r}, \quad (4.15)$$

que resultará em

$$c_{v,r} = -T_r \frac{d^2}{dT_r^2} \Phi(T_r). \quad (4.16)$$

## 4.2 Modelo de Calor Específico Constante

O modelo que será desenvolvido utilizará os resultados obtidos anteriormente, junto à hipótese de que  $c_v = \phi R$  e portanto  $c_{v,r} = \phi / Z_c$ , com  $\phi$  sendo uma constante dependente da molécula do gás e cujo valor é modelado como

$$\phi = \begin{cases} 3/2, & \text{p/ monoatômicos,} \\ 5/2, & \text{p/ diatômicos,} \\ 7/2, & \text{p/ os demais .} \end{cases} \quad (4.17)$$

Utilizando esta hipótese em coordenadas reduzidas através da Eq. (4.3) e utilizando a relação dada pela Eq. (2), pode-se reescrever a Eq. (4.16) na forma

$$-\frac{\phi}{T_r Z_r} = \frac{d^2}{dT_r^2} \Phi(T_r). \quad (4.18)$$

Resolvendo esta EDO, chega-se no valor da constante de integração

$$\Phi(T_r) = C_1 + T_r \left( C_2 - \frac{\phi}{Z_c} \ln(T_r) + \frac{\phi}{Z_c} \right), \quad (4.19)$$

onde as constantes  $C_1$  e  $C_2$  estão relacionadas com o estado de referência utilizado.

Pode-se agora substituir o valor de  $\Phi$  nas propriedades expressas pelas Eqs. (4.7), (4.12) e (4.14), obtendo-se então

$$a_r(T_r, v_r, \phi) = C_1 + T_r \left( C_2 - \frac{\phi}{Z_c} \ln(T_r) + \frac{\phi}{Z_c} \right) - \frac{8T_r}{3} \ln(3v_r - 1) - \frac{3}{v_r}, \quad (4.20)$$

$$s_r(T_r, v_r, \phi) = \frac{8}{3} \ln(3v_r - 1) + \frac{8\phi}{3} \ln(T_r) - C_2 \quad e \quad (4.21)$$

$$u_r(T_r, v_r, \phi) = C_1 + \frac{8T_r}{3} \phi - \frac{3}{v_r}. \quad (4.22)$$

Utilizando a Eq. (4.15) sobre o valor de  $u_r$  dado pela Eq. (4.22), obtém-se um valor de  $c_{v,r}$  dado por

$$c_{v,r}(\phi) = \frac{8}{3} \phi, \quad (4.23)$$

como era esperado por ser uma condição já imposta.

Como a energia interna é conhecida, é possível obter a entalpia através da relação

$$h_r = u_r + P_r v_r, \quad (4.24)$$

que irá resultar em

$$h_r(T_r, v_r, \phi) = C_1 + \frac{8T_r}{3} \phi + \frac{8T_r v_r}{3v_r - 1} - \frac{6}{v_r}. \quad (4.25)$$

O calor específico a pressão constante é obtido através da relação

$$c_p - c_v = \frac{-T \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_v^2}{\left( \frac{\partial P}{\partial v} \right)_T}, \quad (4.26)$$

ou em coordenadas reduzidas

$$c_{p,r} - c_{v,r} = \frac{-T_r \left( \frac{\partial P_r}{\partial T_r} \right)_{v_r}^2}{\left( \frac{\partial P_r}{\partial v_r} \right)_{T_r}}. \quad (4.27)$$

Assim, ele será dado por

$$c_{p,r}(T_r, v_r, \phi) = \frac{8(4T_r v_r^3 + \phi(4T_r v_r^3 - (3v_r - 1)^2))}{3(4T_r v_r^3 - (3v_r - 1)^2)}. \quad (4.28)$$

Através dos calores específicos a pressão e volume constantes, encontra-se a razão  $\gamma$  entre eles

$$\gamma = \frac{c_{p,r}}{c_{v,r}}, \quad (4.29)$$

que nesse caso é

$$\gamma(T_r, v_r, \phi) = \frac{4T_r v_r^3 + \phi(4T_r v_r^3 - (3v_r - 1)^2)}{\phi(4T_r v_r^3 - (3v_r - 1)^2)}. \quad (4.30)$$

Isolando a temperatura reduzida na Eq. (3.15), obtém-se

$$T_r(P_r, v_r) = \frac{3v_r - 1}{8} \left( P_r + \frac{3}{v_r^2} \right). \quad (4.31)$$

Deixando agora a Eq. (3.15) no formato de polinômio cúbico de  $v_r$ , tem-se

$$\frac{3P_r}{8} v_r^3 - \frac{P_r}{8} v_r^2 - T_r v_r^2 + \frac{9}{8} v_r - \frac{3}{8} = 0. \quad (4.32)$$

Por definição, o coeficiente de expansão volumétrica é dado por

$$\beta = \frac{1}{v_r} \left( \frac{\partial v_r}{\partial T_r} \right)_{P_r}, \quad (4.33)$$

e portanto

$$\beta(P_r, v_r) = \frac{8v_r^2}{3T_c(P_r v_r^3 - 3v_r + 2)}. \quad (4.34)$$

As compressibilidades isentrópica e isotérmica são dadas respectivamente por

$$\kappa_s = -\frac{1}{v_r} \left( \frac{\partial v_r}{\partial P_r} \right)_{s_r} \quad \text{e} \quad (4.35)$$

$$\kappa_T = -\frac{1}{v_r} \left( \frac{\partial v_r}{\partial P_r} \right)_{T_r}, \quad (4.36)$$

o que resulta em

$$\kappa_s(T_r, v_r) = \frac{v_r^2(3v_r - 1)^2}{6P_c(4T_r v_r^3 - 9v_r^2 + 6v_r - 1)} \quad \text{e} \quad (4.37)$$

$$\kappa_T(T_r, v_r, \phi) = \frac{\phi v_r^2(3v_r - 1)^2(4T_r v_r^3 - (3v_r - 1)^2)}{6P_c(4T_r v_r^3 + \phi(4T_r v_r^3 - (3v_r - 1)^2))(4T_r v_r^3 - 9v_r^2 + 6v_r - 1)}. \quad (4.38)$$

O coeficiente politrópico é obtido através de

$$k = -\frac{v_r}{P_r} \left( \frac{\partial P_r}{\partial v_r} \right)_{s_r}, \quad (4.39)$$

que resulta em

$$k(T_r, v_r, \phi) = \frac{6(4T_r \phi v_r^3 + 4T_r v_r^3 - 9\phi v_r^2 + 6\phi v_r - \phi)}{\phi(3v_r - 1)(8T_r v_r^2 - 9v_r + 3)}. \quad (4.40)$$

A velocidade adiabática do som, definida por

$$\frac{c^2}{1000} = -v_r^2 \left( \frac{\partial P_r}{\partial v_r} \right)_{s_r}, \quad (4.41)$$

resulta em

$$c(T_r, v_r, \phi) = \frac{1000\sqrt{6}}{\sqrt{\phi}\sqrt{v_r}|3v_r - 1|} \sqrt{4T_r v_r^3 + \phi(4T_r v_r^3 - (3v_r - 1)^2)}. \quad (4.42)$$

### 4.2.1 Relações de Propriedades

A função de estado implementada deverá ter a capacidade de calcular o estado recebendo duas propriedades independentes, incluindo:  $P$ ,  $T$ ,  $v$ ,  $u$ ,  $h$ ,  $s$ ,  $x$ . Os valores absolutos de  $u$ ,  $h$  e  $s$  não têm significado pois dependem de seu referencial, porém, suas variações entre diferentes estados possuem, e são fatores importantes de análise, podendo também serem dados de entrada, e por isso a possibilidade de cálculo do estado através delas possui grande utilidade, pois conhecendo um estado através de duas outras propriedades, pode-se calcular outro adicionando essa variação ao valor dessas propriedades nesse estado.

A função de Estado receberá as propriedades na forma dimensional, mas os cálculos serão realizados utilizando as propriedades reduzidas, o que é possível pois um dos argumentos da função será a substância utilizada, o que fornece dados para realizar a redução.

Uma vez que a maioria das propriedades são explicitamente descritas em função de  $(T_r, v_r)$ , o método de obtenção do estado consistirá em sempre tentar obter esse par a partir do par inicial de propriedades para que então todas as demais propriedades possam ser obtidas. Para os casos de estados fora do domo de saturação, as propriedades podem ser calculadas diretamente através das equações a seguir.

Algumas vezes será necessário a utilização de métodos numéricos para a obtenção dos resultados. Esses casos são divididos em dois e cada um tratado de uma forma diferente. O primeiro deles consiste em equações onde não é possível isolar a variável desejada, mas isola-se outra em seu lugar para obter uma função que será submetida ao método da secante para que se obtenha o seu valor.

O segundo caso consiste em equações com formato polinomial. Para essas resoluções utiliza-se a biblioteca `Polynomials` (JULIA MATH, 2014a), que realiza seus cálculos através da implementação do General Complex Polynomial Root Solver em Julia, desenvolvido inicialmente em Fortran por Skowron (2012), e que utiliza os métodos de Newton-Raphson, de Laguerre, e métodos intermediários. Essa biblioteca encontra todas as raízes do polinômio.

No caso dos polinômios de terceiro grau, existem casos com 3 raízes reais, para lidar com isso a biblioteca de propriedades faz a seguinte análise: parte-se da equação 4.32, cujo comportamento pode ser observado através da Figura 3.2, onde considerando uma pressão constante e uma temperatura constante na região com  $P_r < P_c$ , existem três pontos correspondentes para o volume reduzido, porém, sempre apenas um deles está fora do domo de saturação e outros dois estão dentro, a biblioteca utiliza um algoritmo que permite perceber quando um par está dentro ou fora do domo, portanto, quando o par está fora a raiz escolhida é a raiz que também está fora, e quando o par está dentro, não é necessário escolher entre as outras duas raízes pois é utilizada a outra formulação nesses casos, como já mencionado anteriormente. Já na região com  $P_r > P_c$ , observa-se que há sempre apenas uma raiz real. Como todos os polinômios de terceiro grau derivam da

equação 3.2, essa mesma lógica é válida.

#### 4.2.1.1 Par Pressão e Temperatura

Quando a pressão e temperatura são conhecidas, pode-se obter o volume utilizando na Eq. (4.32) os procedimentos numéricos para polinômios que foram citados.

#### 4.2.1.2 Par Volume e Temperatura

Pode-se dizer que o conhecimento desse par e da substância que deseja-se trabalhar (da qual obtém-se o valor de  $\phi$  e os valores críticos) permite instanciar computacionalmente o estado da substância, pois o método utilizado pela função de estado implementada na biblioteca consiste no que foi mencionado de sempre procurar obter esse par através do par inicial, e então aplicar as demais equações das outras propriedades para obter seus valores. Assim, pode-se definir o par  $(T_r, v_r)$  como o estado (computacional) que visa-se obter com todos os pares trabalhados.

#### 4.2.1.3 Par Volume e Entropia

Quando o volume e a entropia são conhecidos, pode-se isolar a temperatura na Eq. (4.21), obtendo-se a expressão

$$T_r(s_r, v_r, \phi) = e^{\frac{3}{8\phi}(s_r + C2)}(3v_r - 1)^{-\frac{1}{\phi}}, \quad v_r \geq \frac{1}{3}. \quad (4.43)$$

Após isso obtém-se a pressão através da Eq. (3.15).

#### 4.2.1.4 Par Volume e Energia Interna

Quando o volume e a energia interna são conhecidos, pode-se isolar a temperatura na Eq. (4.22), obtendo-se a expressão

$$T_r(u_r, v_r, \phi) = \frac{3}{8\phi}(u_r - C1 + \frac{3}{v_r}), \quad v_r \geq \frac{1}{3}. \quad (4.44)$$

Após isso obtém-se a pressão através da Eq. (3.15).

#### 4.2.1.5 Par Volume e Entalpia

Quando o volume e a entalpia são conhecidos, pode-se isolar a temperatura na Eq. (4.25), obtendo-se a expressão

$$T_r(h_r, v_r, \phi) = \frac{(h_r - C1 + \frac{6}{v_r})}{\frac{8\phi}{3} + \frac{8v_r}{3v_r - 1}}, \quad v_r \geq \frac{1}{3}. \quad (4.45)$$

Após isso obtém-se a pressão através da Eq. (3.15).



#### 4.2.1.6 Par Pressão e Energia Interna

Quando a pressão e a energia interna são conhecidas, pode-se substituir a Eq. (4.44) na Eq. (4.32), obtendo-se um novo polinômio de terceiro grau

$$3P_r v_r^3 - P_r v_r^2 - \frac{3}{\phi}(u_r - C1)v_r^2 - \frac{9}{\phi}v_r + 9v_r - 3 = 0, \quad v_r \geq \frac{1}{3}, \quad (4.46)$$

por meio do qual obtém-se o volume utilizando os procedimentos para polinômios que foram citados.

#### 4.2.1.7 Par Pressão e Entalpia

Quando a pressão e a entalpia são conhecidas, pode-se substituir a Eq. (4.45) na Eq. (3.15) e manipular os termos para obter o polinômio de terceiro grau dado por

$$(\phi P_r + P_r)v_r^3 + \left( \frac{-\phi P_r}{3} - (h_r - C1) \right) v_r^2 + (3\phi - 3)v_r - \phi = 0, \quad v_r \geq \frac{1}{3}, \quad (4.47)$$

por meio do qual obtém-se o volume utilizando os procedimentos para polinômios que foram citados.

#### 4.2.1.8 Par Pressão e Entropia

Quando a pressão e a entropia são conhecidas, pode-se substituir a Eq. (4.43) na Eq. (3.15), obtendo-se a expressão

$$P_r(v_r, s_r, \phi) = \frac{8(e^{\frac{3}{8\phi}(s_r+C2)}(3v_r - 1)^{-\frac{1}{\phi}})}{3v_r - 1} - \frac{3}{v_r^2}, \quad v_r \geq \frac{1}{3}, \quad (4.48)$$

por meio da qual obtém-se o volume utilizando o método da secante.

#### 4.2.1.9 Par Temperatura e Energia Interna

Quando a temperatura e a energia interna são conhecidas, pode-se isolar o volume na Eq. (4.22), obtendo-se

$$v_r(T_r, u_r, \phi) = -\frac{3}{\left(u_r - C1 - \frac{8T_r}{3}\phi\right)}, \quad v_r \geq \frac{1}{3}. \quad (4.49)$$

Em seguida é possível a obtenção da pressão através da Eq. (3.15).

#### 4.2.1.10 Par Temperatura e Entropia

Quando a temperatura e a entropia são conhecidas, pode-se isolar o volume na Eq. (4.21), obtendo-se

$$v_r(T_r, s_r, \phi) = \frac{1}{3} \left( \left( \frac{T_r}{e^{\frac{3}{8\phi}(s_r+C2)}} \right)^{-\phi} + 1 \right), \quad v_r \geq \frac{1}{3}. \quad (4.50)$$

Em seguida é possível a obtenção da pressão através da Eq. (3.15).

#### 4.2.1.11 Par Temperatura e Entalpia

Quando a temperatura e a entalpia são conhecidas, pode-se manipular a Eq. (4.45) para obter um polinômio de segundo grau em função do volume, expresso pela equação

$$(8T_r(\phi + 1) - 3h_r + 3C1)v_r^2 + \left( \frac{-8T_r}{3} + h_r - C1 - 18 \right) v_r + 6 = 0, \quad v_r \geq \frac{1}{3}, \quad (4.51)$$

e em seguida obter a pressão utilizando 3.15.

#### 4.2.1.12 Par Energia Interna e Entropia

Quando a energia interna e a entropia são conhecidas, pode-se igualar as Eqs. (4.44) e (4.43), isso leva a relação

$$\frac{8\phi}{3} e^{\frac{3}{8\phi}(s_r+C2)} (3v_r - 1)^{-\frac{1}{\phi}} - u_r - \frac{3}{v_r} + C1 = 0, \quad v_r \geq \frac{1}{3}. \quad (4.52)$$

Utilizando o volume obtido por essa relação através do método da secante, é possível a obtenção da pressão através da Eq. (3.15).

#### 4.2.1.13 Par Energia Interna e Entalpia

Quando a energia interna e a entalpia são conhecidas, pode-se igualar as Eqs. (4.44) e (4.45), após isso, através da manipulação dos termos, obtém-se o polinômio de segundo grau

$$\begin{aligned} & ((\phi + 1)(u_r - C1) - \phi(h_r - C1)) v_r^2 + \\ & \left( \frac{-\phi}{3}(u_r - C1) + 3\phi + 3 + \frac{\phi}{3}(h_r - C1) - 6\phi \right) v_r + \phi = 0, \quad (4.53) \\ & v_r \geq \frac{1}{3}. \end{aligned}$$

Utilizando o volume obtido por essa relação juntamente com a entalpia na Eq. (4.45), obtém-se a temperatura.

#### 4.2.1.14 Par Entropia e Entalpia

Quando a entropia e a entalpia são conhecidas, utiliza-se as Eqs. (4.43) e (4.45), obtendo-se

$$\left( \frac{8\phi}{3} + \frac{8v_r}{3v_r - 1} \right) e^{\frac{3}{8\phi}(s_r+C2)} (3v_r - 1)^{-\frac{1}{\phi}} - h_r + C1 - \frac{6}{v_r} = 0, \quad v_r \geq \frac{1}{3}. \quad (4.54)$$

que permite encontrar o volume através do método da secante. E em seguida a temperatura é obtida por 4.43.

## 4.2.1.15 Equações de Obtenção de Propriedades

Tabela 4.1 – Tabela Simétrica de Relações de Propriedades

Propriedades	$T_r$	$P_r$	$v_r$	$u_r$	$h_r$	$s_r$
$T_r$	—					
$P_r$	Eq.(4.32)	—				
$v_r$	Eq.(3.15)	Eq.(4.31)	—			
$u_r$	Eq.(4.49)	Eq.(4.46)	Eq.(4.44)	—		
$h_r$	Eq.(4.45)	Eq.(4.47)	Eq.(4.45)	Eq.(4.53)	—	
$s_r$	Eq.(4.50)	Eq.(4.48)	Eq.(4.43)	Eq.(4.52)	Eq.(4.54)	—

Fonte: Autoria Própria

## 4.2.2 Descrição de Processos

As propriedades de uma substância podem mudar de diversas formas dependendo do processo a que são submetidas e portanto, é interessante descrever alguns desses processos para obter relações específicas de alguns deles, e essas relações por sua vez podem ser úteis para a realização da validação dos resultados da biblioteca.

## 4.2.2.1 Processos Isentálpicos

Fazendo  $h_1 = h_2$  pela Eq. (4.25), obtém-se

$$\frac{8\phi}{3}(T_{r2} - T_{r1}) + 8 \left( \frac{T_{r2}v_{r2}}{3v_{r2} - 1} - \frac{T_{r1}v_{r1}}{3v_{r1} - 1} \right) - 6 \left( \frac{1}{v_{r2}} - \frac{1}{v_{r1}} \right) = 0. \quad (4.55)$$

## 4.2.2.2 Processos a Energia Interna Constante

Fazendo  $u_1 = u_2$  pela Eq. (4.22) e rearranjando, obtém-se

$$\frac{8\phi}{9}(T_{r2} - T_{r1}) = \left( \frac{1}{v_{r2}} - \frac{1}{v_{r1}} \right). \quad (4.56)$$

## 4.2.2.3 Processos Isentrópicos

Fazendo  $s_1 = s_2$  pela Eq. (4.21) e rearranjando, obtém-se

$$\left( \frac{T_{r2}}{T_{r1}} \right)^\phi = \left( \frac{3v_{r1} - 1}{3v_{r2} - 1} \right)^1. \quad (4.57)$$

## 4.2.2.4 Processos Isobáricos

Fazendo  $P_1 = P_2$  pela Eq. (3.15) e rearranjando, obtém-se

$$\left( \frac{T_{r2}}{3v_{r2} - 1} - \frac{T_{r1}}{3v_{r1} - 1} \right) = \frac{3}{8} \left( \frac{1}{v_{r2}^2} - \frac{1}{v_{r1}^2} \right). \quad (4.58)$$

#### 4.2.2.5 Processos Isotérmicos

Fazendo  $T_1 = T_2$  pela Eq. (4.31) e rearranjando, obtém-se

$$(P_{r2} - P_{r1}) + 3 \left( (P_{r1}v_{r1} - P_{r2}v_{r2}) + \left( \frac{3v_{r1} - 1}{v_{r1}^2} - \frac{3v_{r2} - 1}{v_{r2}^2} \right) \right) = 0. \quad (4.59)$$

#### 4.2.2.6 Processos Isovolumétricos

Para processos a volume constante, a relação de Gibbs

$$du = Tds - Pdv, \quad (4.60)$$

se reduz a

$$T = \frac{du}{ds}, \quad (4.61)$$

e a Eq. (3.17) resulta em

$$s = -\frac{da}{dT}. \quad (4.62)$$

### 4.3 Domo de Saturação para uma substância de van-der-Waals

O domo de saturação para as substâncias de van-der-Waals pode ser obtido utilizando a construção de Maxwell, assim como foi demonstrado na seção 3.2.

Portanto temos que a partir de  $\phi$  pode-se encontrar  $v_{r1}$ ,  $v_{r2}$ ,  $P_{r,sat}$  e  $T_{r,sat}$ , e conseqüentemente todas as outras propriedades do domo utilizando suas respectivas equações que levam  $T_r$  e  $v_r$  como argumento. Assim, foram utilizados diversos valores de  $\phi$  para construir o domo de saturação de substâncias de van-der-Waals utilizado pela biblioteca, para isso foi utilizada a equação

$$\phi_{n+1} = \frac{\phi_n}{1.0000008872^n}, \quad (4.63)$$

onde partiu-se de  $\phi = 0,95$  e contando com o primeiro foram obtidos 7110 valores da variável para cobrir de forma aproximadamente uniforme a região do domo no intervalo  $0,15 < T_r < 1$ , logo a biblioteca não suporta valores dentro do domo de saturação que estejam abaixo de 15% da temperatura crítica. Esta limitação foi implementada pois as pressões correspondentes a temperaturas abaixo deste valor são extremamente baixas, podendo causar erros nos cálculos da biblioteca em algumas situações, além de não terem muita aplicação prática. A pressão reduzida correspondente a  $T_{r,sat} = 0,15002$  é  $P_{r,sat} = 4.3745 \times 10^{-9}$ , e como a pressão cai muito mais rápido que a temperatura isso dá uma ideia de quão baixas ficam essas pressões abaixo deste ponto.

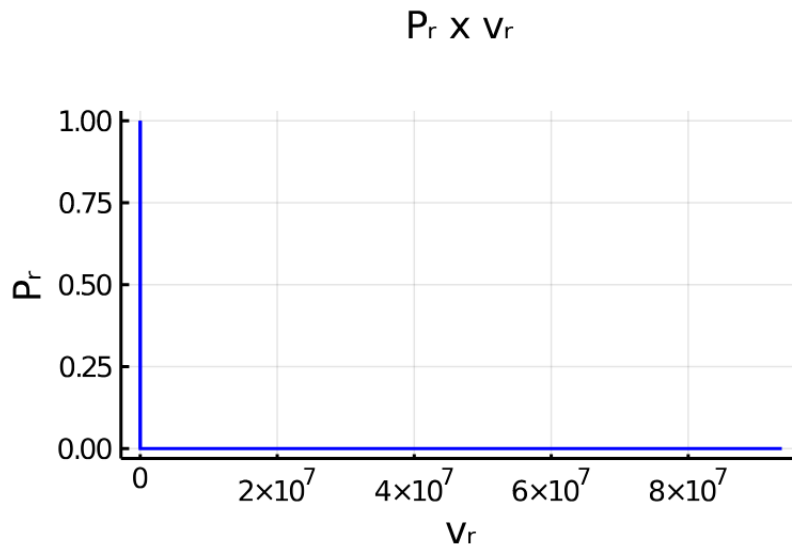
Posteriormente foram adicionados mais 101 pontos na região mais crítica do domo, com  $\phi > 0,95$ , verificou-se a necessidade desse procedimento pois apesar das variações de  $T$  e  $P$  na região serem praticamente nulas, a variação de  $v$  é considerável. Esses pontos foram adicionados utilizando a função

$$\phi_{n+1} = \frac{\phi_n}{1.0005}, \quad (4.64)$$

partindo de  $\varphi = 0,99999$ .

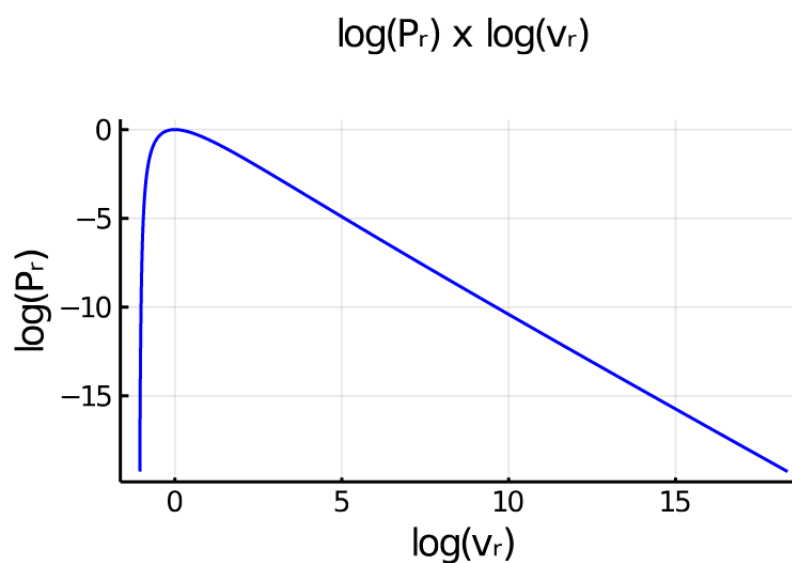
Utilizando a metodologia mencionada, foi obtida a Figura 4.1 que ilustra o diagrama  $P_r \times v_r$  de uma substância de van-der-Waals. Para facilitar a visualização foram realizadas as Figuras 4.2 e 4.3 que ilustram respectivamente os diagramas  $\log(T_r) \times \log(v_r)$  e  $\log(P_r) \times \log(v_r)$ .

Figura 4.1 – Diagrama  $P_r \times v_r$  de van-der-Waals

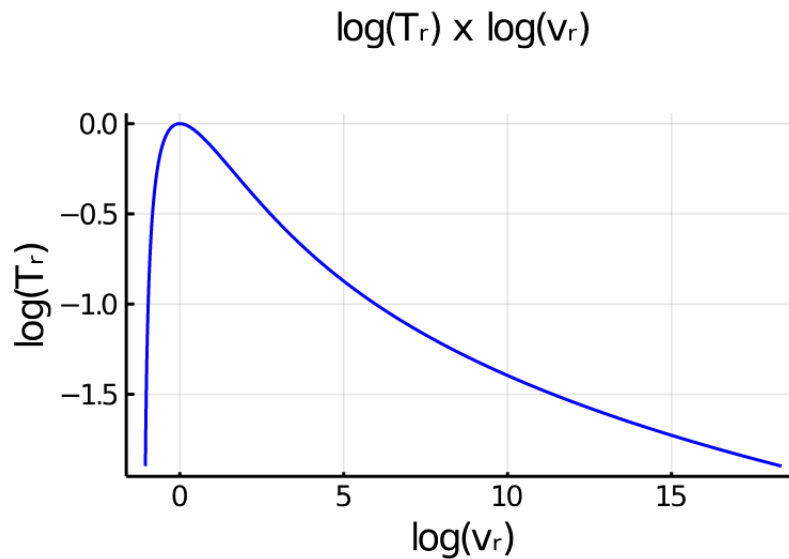


Fonte: Autoria Própria

Figura 4.2 – Diagrama  $P_r \times \log(v_r)$  de van-der-Waals



Fonte: Autoria Própria

Figura 4.3 – Diagrama  $T_r \times \log(v_r)$  de van-der-Waals

Fonte: Autoria Própria

#### 4.3.1 Estados Dentro do Domo de Saturação

Em casos onde o par de propriedades define um estado dentro do domo de saturação, é necessário calcular o título para a definição do estado. É necessário portanto saber quando um par está dentro e quando está fora do domo. Essas situações serão inicialmente divididas em dois casos, o primeiro para os pares onde  $P$  ou  $T$  fazem parte do par inicial, e o segundo para quando isso não acontece. Além disso,  $x$  também será aceito como argumento, portanto haverá um terceiro caso onde já se sabe que o ponto está dentro do domo.

O domo de saturação em propriedades reduzidas para uma substância de van-der-Waals já foi obtido, logo,  $P_{r,sat}$ ,  $T_{r,sat}$ ,  $v_{r,l}$  e  $v_{r,v}$  são dados conhecidos ao longo de todos os seus pontos, portanto para cada um destes pontos que está sobre o domo (líquido ou vapor saturado), é possível calcular  $u_r$  (Eq. (4.22)),  $h_r$  (Eq. (4.25)) e  $s_r$  (Eq. (4.21)), que como dependem de  $\phi$ , utiliza-se também a substância informada para realizar esse cálculo. Assim adquirem-se os valores de  $u_{r,l}$ ,  $h_{r,l}$ ,  $s_{r,l}$ ,  $u_{r,v}$ ,  $h_{r,v}$  e  $s_{r,v}$ .

Portanto, tem-se que para todos os pontos do domo de saturação, os valores das propriedades ( $P$ ,  $T$ ,  $v$ ,  $u$ ,  $h$ ,  $s$ ,  $x$ ) do líquido saturado e do vapor saturado são sempre conhecidos, possibilitando os cálculos com o título.

##### 4.3.1.1 Pares com $P$ ou $T$ , sem $x$

Quando a pressão ou a temperatura são conhecidas, a detecção de se o par está dentro do domo ou não é feita utilizando o fato de que essas duas propriedades são

constantes ao longo da saturação de uma substância, logo, comparando o valor da outra propriedade do par com a faixa de variação dessa propriedade dentro do domo quando se tem esse valor de  $P$  ou  $T$  constante, conclui-se se esse par está dentro ou fora do domo.

Caso esteja dentro do domo, nesse caso já haverá dados suficientes para o cálculo do título através da Eq. (3.16), já que os valores da outra propriedade em estado de líquido saturado e de vapor saturado já serão conhecidos, e de só haver uma linha do domo com essa pressão ou temperatura.

#### 4.3.1.2 Pares sem $(P, T, x)$

Quando  $P$ ,  $T$  e  $x$  não são conhecidos, é possível determinar se um par está dentro ou fora do domo fazendo uma varredura através da relação

$$\frac{\mathfrak{p}_{1,r} - \mathfrak{p}_{1,r,l}}{\mathfrak{p}_{1,r,v} - \mathfrak{p}_{1,r,l}} = \frac{\mathfrak{p}_{2,r} - \mathfrak{p}_{2,r,l}}{\mathfrak{p}_{2,r,v} - \mathfrak{p}_{2,r,l}}, \quad (4.65)$$

onde  $\mathfrak{p}_1$  e  $\mathfrak{p}_2$  são as propriedades do par, com  $\mathfrak{p} \in \{u, h, s, v\}$ . Como as propriedades tanto do líquido saturado quanto do vapor saturado são conhecidas em cada linha horizontal no domo, basta aplicar essa equação ao longo de todo o domo (para todas as temperaturas) e verificar se em alguma linha (temperatura) esta igualdade é satisfeita, se sim, o par está dentro do domo, se não, está fora. Assim, implementa-se uma função que faz essa varredura em todas as linhas do domo para realizar essa determinação.

Se o par estiver dentro do domo, o título já será conhecido pois será o valor de cada lado da igualdade na linha onde ela foi satisfeita.

#### 4.3.1.3 Pares com o título conhecido

Quando  $x$  for conhecido e a outra propriedade não for nem  $T$  e nem  $P$ , pode-se realizar uma varredura através da equação

$$x = \frac{\mathfrak{p}_r - \mathfrak{p}_{r,l}}{\mathfrak{p}_{r,v} - \mathfrak{p}_{r,l}}, \quad (4.66)$$

onde  $x$  e  $\mathfrak{p}_r$  serão conhecidos, e encontrar o ponto do domo onde a propriedade equivalente do líquido saturado e do vapor saturado satisfazem a equação, de maneira similar ao processo sem  $(x, T, P)$ . Implementa-se portanto uma função que aplica essa equação em todas as temperaturas do domo e determina se a relação é satisfeita para alguma delas.

Caso  $T$ , ou  $P$  forem conhecidos, as propriedades do líquido e vapor saturados já se tornam conhecidas pois estão associadas a  $T_{sat}$  e  $P_{sat}$ .

Nos casos específicos em que o título é 0 ou 1, essa varredura não é necessária, pois nessa situação os valores das propriedades desejadas serão ou do líquido saturado ou do vapor saturado, e consequentemente já serão conhecidos.

#### 4.4 Implementação em Julia

A implementação inicia com as equações individuais de cada propriedade termodinâmica envolvendo todos os pares trabalhados, com cada equação da Tabela 4.1 como uma função, e após isso é implementada a Função de Estado que recebe como argumento a substância trabalhada, duas propriedades (pares com  $P$ ,  $T$ ,  $v$ ,  $u$ ,  $h$ ,  $s$ ,  $x$ ) e um argumento booleano de verdadeiro ou falso, sendo verdadeiro para utilizar base molar nas propriedades intensivas e falso para base mássica, e utiliza as demais funções para calcular cada uma das propriedades do estado, fornecendo todas essas propriedades como resultado em um `Array`.

A Função de Processos recebe como argumento a substância, duas propriedades do estado inicial, uma propriedade do estado final, e uma `String` contendo a propriedade que é constante ao longo do processo, e também possui o argumento booleano para possibilidade de utilizar base mássica ou molar. Ela retorna como resultado as propriedades do estado inicial e final, cada estado como uma coluna de um `Array`.

A biblioteca utiliza como base a biblioteca `EngThermBase` (NAAKTGEBOREN, 2019a) que cria tipos para cada propriedade e tipo de base (molar ou mássica) e utiliza as unidades de medida mais comuns em livros de engenharia. Assim, os tipos dos argumentos que são propriedades serão especificados para serem sempre os tipos dessa biblioteca.

Além disso, cria-se uma estrutura de tipo para as substâncias, englobando os seus valores críticos (onde são utilizados os valores de Lide (2005)), massa molar (onde são utilizados os valores de U.S. NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH (2004)) e constante  $\phi$ , devendo esse tipo ser especificado como o tipo das substâncias que as funções recebem como argumento. A biblioteca engloba um total de 398 substâncias, baseando-se no total de substâncias com valores críticos de  $P$ ,  $T$  e  $v$  disponíveis na fonte citada.

A biblioteca utiliza também as bibliotecas nativas em Julia `Roots` (JULIA MATH, 2014b) e `Polynomials` (JULIA MATH, 2014a), para respectivamente, aplicar o método da secante (que não possui o requisito que a derivada não se anule no intervalo determinado) nas equações que não possuem solução direta (equações do mesmo tipo que a Eq.(4.54)), e calcular as raízes das equações que são polinômios de 2° ou 3° grau (equações do mesmo tipo que a Eq.(4.53)), assim como mencionado anteriormente.

Implementa-se também uma função de plotagem utilizando como base a biblioteca `Plots` (BRELOFF, 2015), onde são aproveitados os dados já obtidos do domo de saturação com propriedades reduzidas para sua representação gráfica, e o resultado esperado dela consiste em um diagrama  $P \times v$  ou  $T \times v$ , logarítmicos para melhor visualização, reduzidos ou não, contendo o domo de saturação e linhas de temperatura constante para o primeiro caso ou de pressão constante para o segundo caso.

As linhas de propriedade constante são obtidas com a plotagem da Eq.(4.31) utilizando um valor constante de pressão, obtendo uma função dependendo apenas do volume, e 3.15 utilizando um valor constante de temperatura, novamente se tornando uma



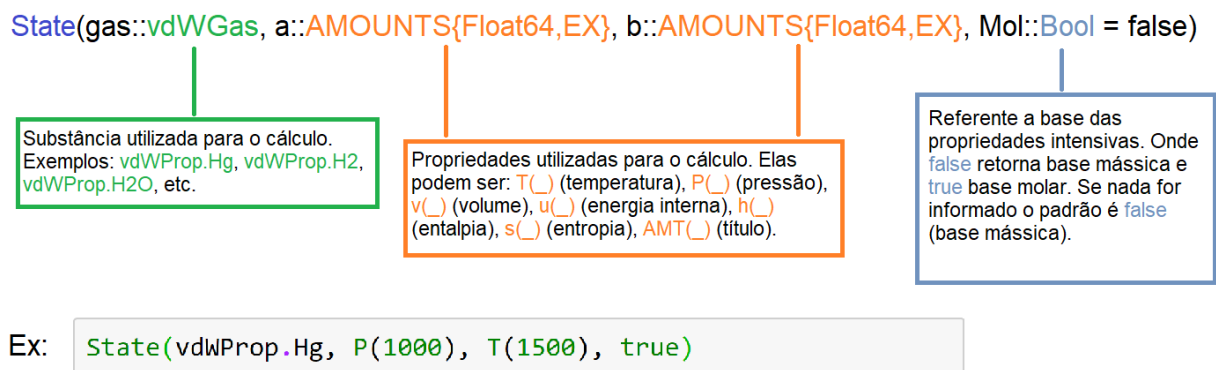
função do volume.

A função conta com dois métodos. O primeiro para utilizar propriedades reduzidas, com quatro argumentos, sendo o primeiro um `Array` contendo os valores das temperaturas ou pressões para as linhas de propriedades constante, o segundo um argumento booleano de falso para o diagrama  $P \times v$  e verdadeiro para o  $T \times v$ , onde o argumento padrão é falso, um argumento numérico que consiste no valor máximo do volume reduzido utilizado nas linhas de propriedade constante, com valor padrão de  $9.3672917718184 \times 10^7$ , e um argumento de `String` onde pode ser utilizado “original” para caso o usuário não queira que a plotagem seja logarítmica, onde o padrão será “log”.

O segundo método, para propriedades dimensionais, só possui um argumento a mais no início, que é a substância utilizada para a realização do domo de saturação, assim o procedimento é o mesmo do outro método mas as propriedades reduzidas são multiplicadas por seus valores críticos.

As Figuras 4.4, 4.5 e 4.6 ilustram os argumentos necessários para a utilização de cada uma das três funções principais da biblioteca.

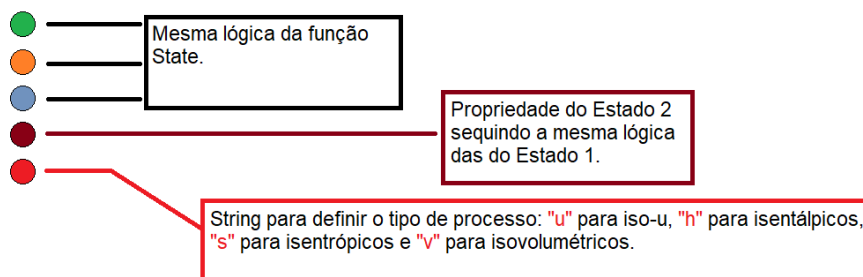
Figura 4.4 – Mapeamento da função **State**



Fonte: Autoria Própria

Figura 4.5 – Mapeamento da função **IsoProp**

```
IsoProp(gas::vdWGas, a1::AMOUNTS{Float64,EX}, b::AMOUNTS{Float64,EX},
a2::AMOUNTS{Float64,EX}, iso::String, Mol::Bool = false)
```

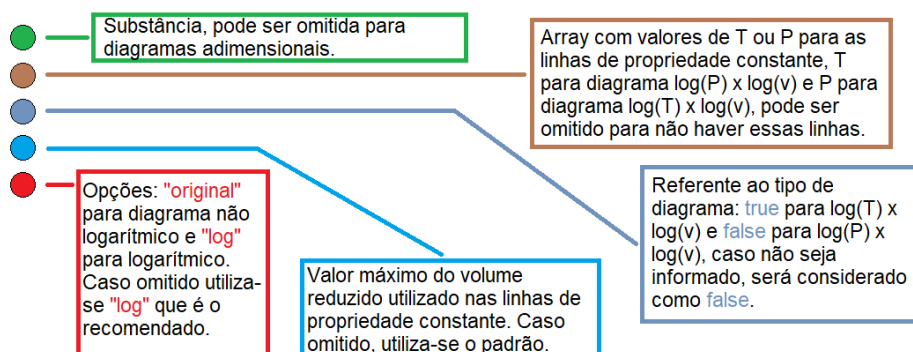


```
Ex: IsoProp(vdWProp.Hg, T(1500), P(1000), T(1600), "v")
```

Fonte: Autoria Própria

Figura 4.6 – Mapeamento da função **PlotDome**

```
PlotDome(gas::vdWGas, Tconst::Array = [], T::Bool = false,
vpoints::Number = 9.3672917718184e7 ,str::String = "log")
```



```
Ex: PlotDome(vdWProp.O2, [10000, 3000, 1000], true, 10)
```

Fonte: Autoria Própria

## 4.5 Metodologia de Validação

Para a validação da biblioteca, realiza-se um estudo comparativo entre os valores obtidos pela biblioteca e os resultados teóricos exatos. Os pontos a serem validados são o funcionamento dos processos *iso-p*, o correto cálculo de propriedades dentro do domo de saturação e no domo de saturação (líquido e vapor saturados), o correto comportamento do domo de saturação, e o cálculo correto das propriedades fora do domo de saturação.

Para os processos *iso-p* tem-se teoricamente que  $p_2 - p_1 = 0$ , sendo esse o resultado exato esperado. Para as propriedades do líquido e vapor saturado de uma substância de

van-der-Waals, tem-se os seus valores exatos calculados pela construção de Maxwell. Para o domo de saturação tem-se que a equação de Clapeyron, dada por

$$\left(\frac{dP}{dT}\right)_{sat} = \frac{h_{lv}}{Tv_{lv}}, \quad (4.67)$$

deve ser obedecida.

Para os cálculos fora do domo de saturação, tem-se uma comparação utilizando como base as equações de maxwell, dadas por

$$\left(\frac{\partial T}{\partial v}\right)_s = -\left(\frac{\partial P}{\partial s}\right)_v, \quad (4.68)$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_s = \left(\frac{\partial v}{\partial s}\right)_P, \quad (4.69)$$

$$\left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v \quad \text{e} \quad (4.70)$$

$$\left(\frac{\partial s}{\partial P}\right)_T = -\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P. \quad (4.71)$$

Após isso, realiza-se também as comparações entre resultados de exercícios acadêmicos sobre ciclos termodinâmicos resolvidos com e sem a biblioteca, para a validação da correta implementação do modelo e demonstração de aplicabilidade.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Testes de Validação

Com a biblioteca implementada, a próxima etapa consiste em validar o funcionamento da biblioteca executando diversos testes e observando como ela se comporta ao longo deles, para que se possa entender em quais situações ela pode ser aplicada ou não.

Um dos argumentos necessários para as funções de estado e de processos da biblioteca consiste na substância que será utilizada, assim, para a realização de todos os testes, foi padronizada a utilização sempre do Mercúrio (Hg) como sendo essa substância.

Outro fator a se considerar nos testes são os métodos numéricos utilizados pela biblioteca. Assim como mencionado na Metodologia, é utilizado o método da secante para equações sem solução direta e que não estão em forma de polinômio (como a Eq.(4.54)), e é utilizado o método aplicado pela biblioteca `Polynomials` para os polinômios, o `General Complex Polynomial Root Solver`, que utiliza os métodos de Newton-Raphson, Laguerre, e métodos intermediários.

Para a realização dos testes, uma grande quantidade de dados foi utilizada, portanto todos os valores das propriedades utilizadas para definir os estados e/ou processos de cada teste foram colocados em tabelas e encontram-se no Apêndice A para facilitar a visualização, e para todas as tabelas nesse apêndice, os valores foram padronizados para 5 dígitos significativos por questões de espaço, e portanto alguns deles não são os valores exatos utilizados nos testes, não sendo recomendado apenas copiar esses valores para a reprodução dos testes.

#### 5.1.1 Testes de validação de processos com uma propriedade constante dentro do domo de saturação

Para testar o funcionamento da função de processos da biblioteca, a função `IsoProp`, dentro do domo de saturação, ela foi aplicada diversas vezes, utilizando como argumento na primeira aplicação um estado inicial, uma propriedade do estado final, e qual propriedade se mantém constante ao longo do processo (se ele é isentrópico, isobárico, etc), e a partir da segunda aplicação em diante sempre o estado inicial utilizado como argumento consiste no estado final do teste anterior, e então é definido um novo estado final através do valor de uma de suas propriedades, mantendo-se sempre a mesma propriedade constante ao longo da sequência de testes, e realizando uma sequência de testes para cada tipo de processo.

Após o cálculo dos estados, a propriedade que deve se manter constante em cada processo da sequência é testada, realizando a subtração de seu valor inicial pelo seu valor final para verificar se ela se manteve constante ou se houve variação e qual a amplitude dessa variação.

Como a função impõe que os dois valores sejam iguais, foram utilizados o volume e temperatura do estado final para recalcular essa propriedade para a realização do cálculo de teste, exceto para situações onde a propriedade constante é  $v$  ou  $T$ , para esses casos o recálculo é feito utilizando  $u$  no lugar de  $v$  ou  $P$  no lugar de  $T$ , respectivamente.

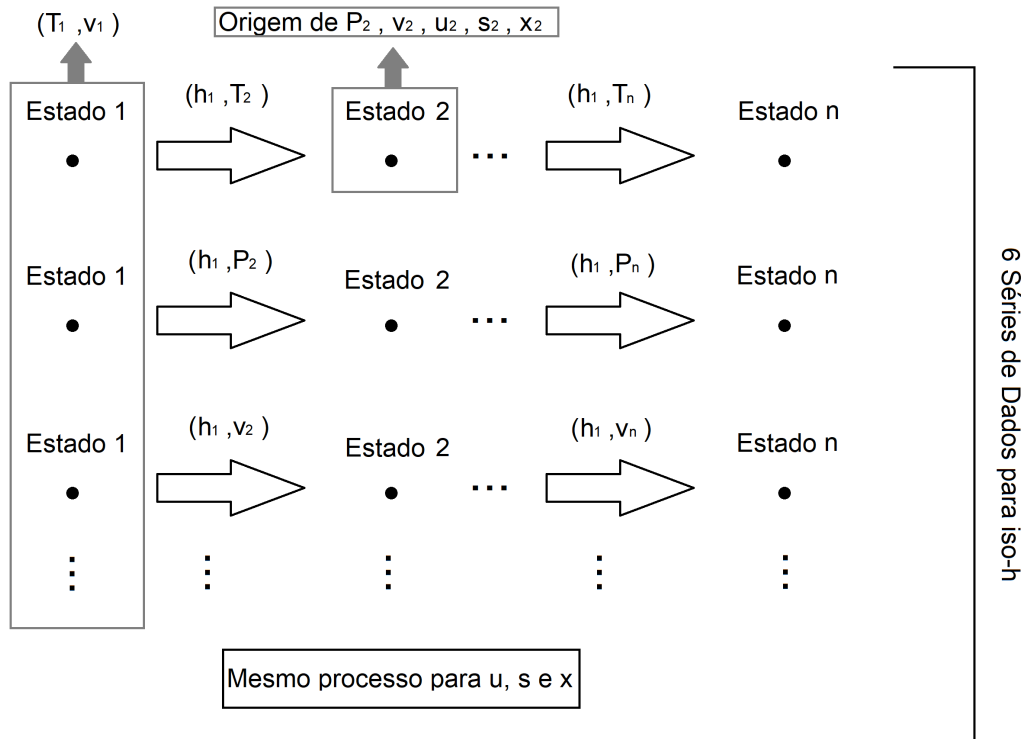
Para que o máximo de situações sejam testadas, foram feitos testes utilizando diferentes propriedades no estado 2 para verificar o funcionamento da função com todas essas propriedades e para todos os processos.

Para garantir a existência dos estados definidos utilizando propriedades com visualização mais difícil (como o par  $(u, h)$  por exemplo), para cada tipo de processo (isentrópico, isentálpico, etc) foram calculados primeiramente 100 processos, onde cada um deles é obtido através de um estado inicial definido com  $T$  e  $v$  e um  $T$  final, pois é mais fácil visualizar o processo através da temperatura, tendo-se então 101 estados pré-definidos. Assim, para cada estado, foram armazenados os valores de  $P$ ,  $v$ ,  $u$ ,  $h$ ,  $s$  e  $Q$ , de forma que para realizar o mesmo processo mas com outra propriedade como argumento do estado 2, os valores desta outra propriedade serão os valores já obtidos anteriormente no processo utilizando  $T$ , garantindo então que o processo é o mesmo, mas definido com um argumento diferente, e que os estados envolvidos realmente são possíveis.

A única exceção foram os processos isobáricos e isotérmicos, onde não há variação de temperatura dentro do domo de saturação, e portanto, além do tipo do processo, a propriedade utilizada para definir o estado 2 ao longo dos processos foi o título.

Exemplificando, para um caso de processo isentálpico, são calculados 100 processos, partindo de um estado inicial definido com  $T$  e  $v$ , utilizando uma sequência de temperaturas e o conhecimento de que  $h$  é constante. Para realizar agora o processo utilizando  $u$  como a propriedade do estado 2 em vez de  $T$ , utiliza-se como argumento os valores de  $u$  já obtidos através dos estados calculados com  $T$ . Esse processo está ilustrado na Figura 5.1.

**Figura 5.1 – Exemplificação dos testes com uma propriedade constante dentro do domo de saturação através do método utilizado nos processos isentálicos, que se repete nos demais**



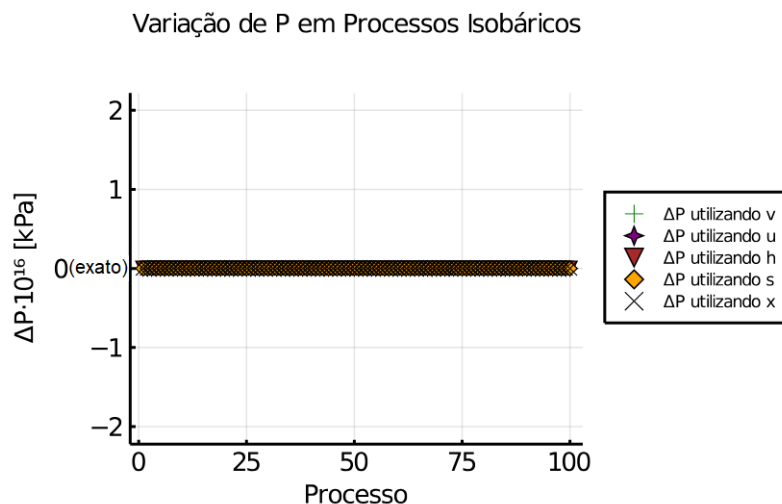
Fonte: Autoria Própria

Os principais alvos de validação deste teste consistem nas equações utilizadas para a construção do domo de saturação, que são as Eqs. (4.63) e (4.64), os algoritmos utilizados para encontrar as soluções das Eqs. (4.65) e (4.66), e as Eqs. (4.22), (4.25) e (4.21) que foram obtidas através da hipótese de  $c_v$  constante.

Todos os dados utilizados para a realização desses testes (estados iniciais e finais de cada processo) podem ser observados nas Tabelas (A.11 - A.34), e os resultados podem ser observados nessas tabelas também. As Figuras (5.2 - 5.7) ilustram gráficos que resumem os resultados destas tabelas.

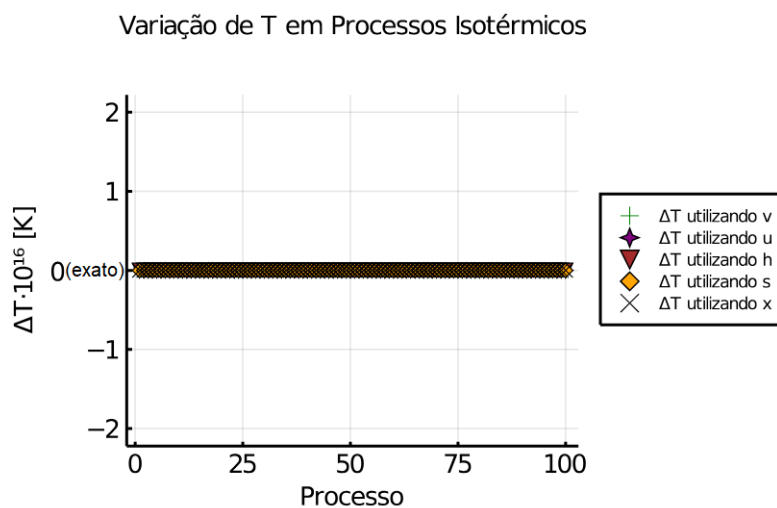
Vale destacar que os resultados apresentados nesses gráficos estão todos multiplicados por  $10^{16}$  para facilitar a visualização e comparação entre eles, portanto o valor real das variações para esse teste são sempre o valor do gráfico dividido por  $10^{16}$ .

Figura 5.2 – Variação de P em 100 processos isobáricos, utilizando o estado final de cada um como estado inicial do seguinte, sempre utilizando o valor de uma mesma propriedade para o cálculo do estado final de cada processo, cada série de dados do gráfico representa esse mesmo procedimento mas utilizando uma propriedade diferente para esse cálculo do estado final



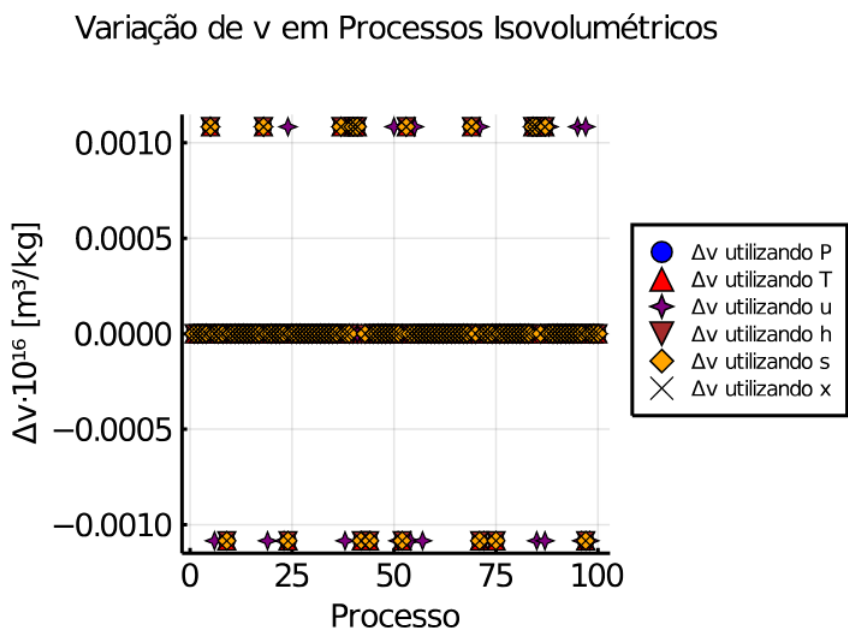
Fonte: Autoria Própria

Figura 5.3 – Variação de T nos Processos Isotérmicos, utilizando o mesmo procedimento realizado nos processos Isobáricos



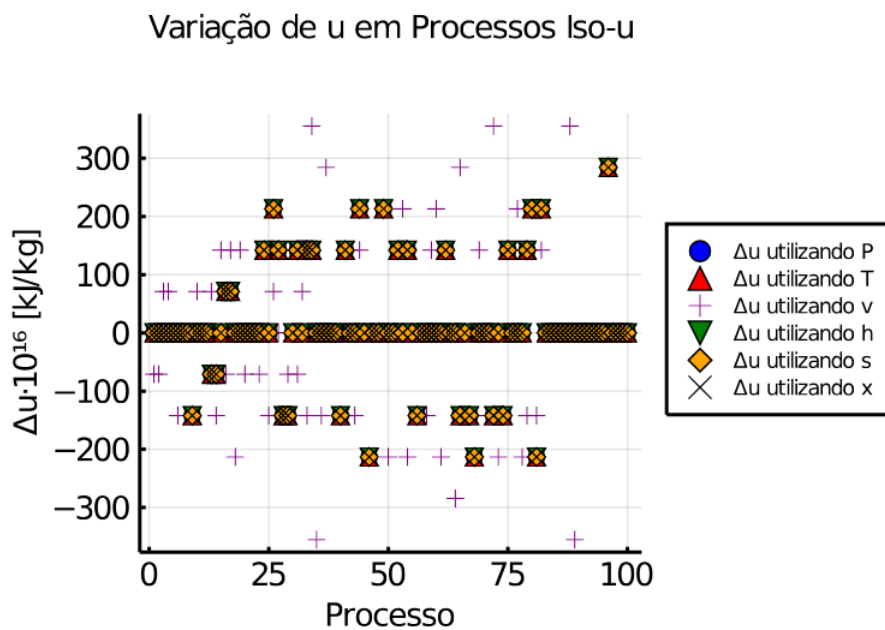
Fonte: Autoria Própria

Figura 5.4 – Variação de  $v$  nos Processos Isovolumétricos, utilizando o mesmo procedimento realizado nos processos Isobáricos



Fonte: Autoria Própria

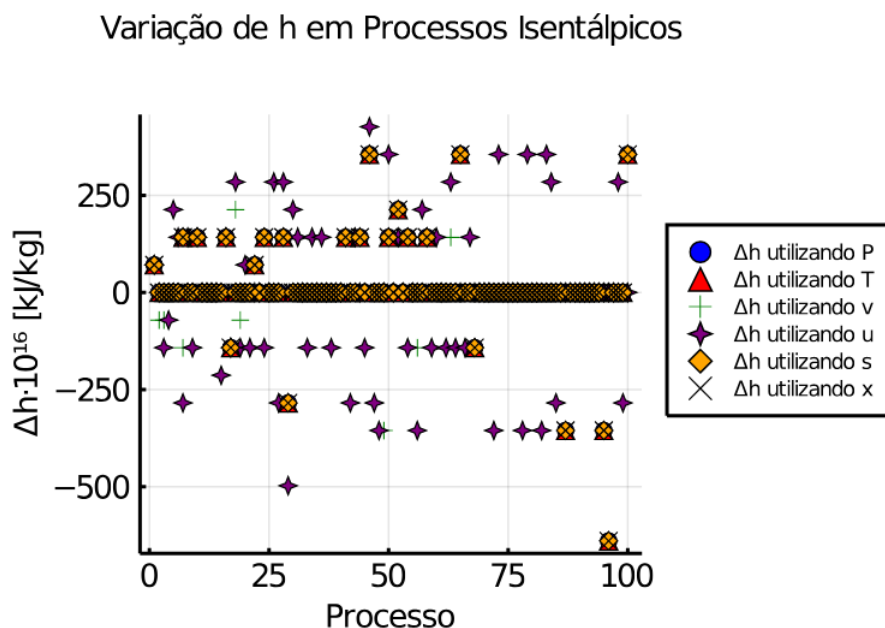
Figura 5.5 – Variação de  $u$  nos Processos Iso- $u$ , utilizando o mesmo procedimento realizado nos processos Isobáricos



Fonte: Autoria Própria

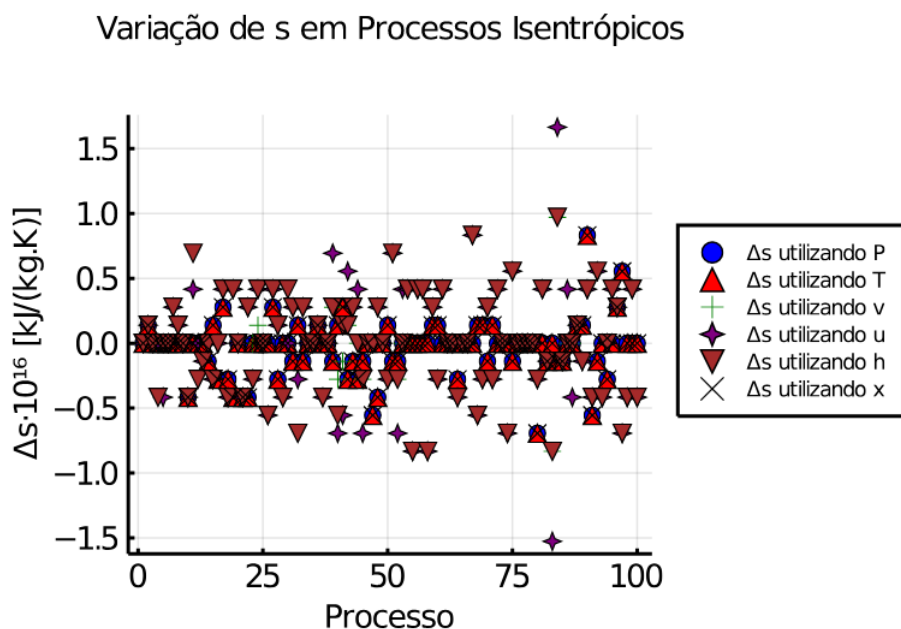


Figura 5.6 – Variação de  $h$  nos Processos Isentálpicos, utilizando o mesmo procedimento realizado nos processos Isobáricos



Fonte: Autoria Própria

Figura 5.7 – Variação de  $s$  nos Processos Isentrópicos, utilizando o mesmo procedimento realizado nos processos Isobáricos



Fonte: Autoria Própria

Os gráficos mostram que se alcançou a condição necessária para a validação de cada processo, que é a variação aproximadamente zero da propriedade constante. Verificou-se

que os processos Isotérmicos e Isobáricos apresentaram resultados melhores com a variação exatamente zero, enquanto os outros apresentaram variação em alguns pontos, porém, a maior foi da ordem de  $10^{-14} \text{ kJ/kg}$  (nos gráficos de iso- $h$  e iso- $u$ ), o que não representa um impacto considerável nos resultados.

Observa-se também que em todos os processos quando  $P$  ou  $T$  são dados conhecidos a variação é zero, portanto conclui-se que o algoritmo utilizado para cálculos dentro do domo em situações onde se conhece  $P$  ou  $T$  possui mais exatidão e precisão do que o método para duas propriedades intensivas, o que já era esperado teoricamente pois o método para pares entre propriedades intensivas, como visto na Metodologia, busca um resultado que satisfaça a Eq. (4.65), e muitas vezes esse resultado é aproximado por se basear nos pontos pré-existentes do domo, que são finitos, e portanto não satisfazem de forma exata todas as situações. Mesmo os desvios devido a esse processo serem na maior parte das vezes desprezíveis, tem-se a possibilidade de melhorar esses resultados em alterações futuras da biblioteca a partir de interpolações entre esses pontos e/ou modelagem de dados do domo.

Verifica-se também que os resultados de  $\Delta v$  e  $\Delta s$  aparentam ser mais exatos do que os de  $\Delta u$  e de  $\Delta h$ , porém isso ocorre pois os resultados visualizados são absolutos e não percentuais, e conseqüentemente são afetados pelo tamanho da grandeza. O valor de  $\Delta v$  foi menor por que os valores absolutos dos volumes utilizados são os menores dentre as propriedades utilizadas, seguidos pelos valores de  $s$ , e por fim os valores de  $u$  e  $h$  que são os maiores para as propriedades intensivas nos estados em questão, e portanto tem variações maiores.

#### 5.1.1.1 Processo Único

Após a realização do teste da variação da propriedade constante nos processos, foi realizado o mesmo processo porém desta vez em vez de calcular a mudança ao longo de 100 processos, foi realizado um processo único indo direto do ponto inicial ao final de cada uma das tabelas obtidas no teste com vários processos. Esse teste visou verificar se em pontos mais distantes a variação tornar-se-ia considerável.

Os resultados para todos os testes utilizando processos isotérmicos, isobáricos, isovolumétricos, e iso- $u$  mostraram variações nulas. Para os testes com processos isentrópicos, para todas as propriedades utilizadas para definir o estado 2 o resultado foi o mesmo:  $-2.7756 \times 10^{-17} \text{ kJ/(kg.K)}$ . Já para todos os testes com processos isentálpicos, independente da propriedade utilizada no estado 2, o resultado foi  $-7.1054 \times 10^{-15} \text{ kJ/kg}$ .

Portanto verifica-se que a variação se mantém desprezível para pontos mais distantes em todos os processos, o que além de decorrer da pequena magnitude da variação entre pontos próximos, pode também, em alguns casos, ser explicado pelo comportamento aparentemente simétrico ou quase simétrico dos gráficos de testes com mais processos, como os observados nas Figuras 5.5, 5.6 e 5.7 por exemplo, o que faz com que haja o cancelamento entre as variações positivas e negativas.

### 5.1.2 Testes de propriedades do líquido e do vapor saturados

Foram realizados testes para comparação entre os valores das propriedades do líquido e do vapor saturados calculados pela biblioteca e calculados através da solução exata de Maxwell.

Para isso, foram utilizadas equações na forma  $(p_\beta/p_m) - 1$ , que podem ser observadas nas Figuras (5.8 - 5.23). As propriedades  $p_\beta$  são as calculadas pela biblioteca e as propriedades  $p_m$  são as calculadas pela solução exata de Maxwell.

Define-se um estado no domo de saturação (líquido saturado ou vapor saturado) a partir de uma propriedade base e do título que é conhecido nesse caso, e as demais propriedades são calculadas pela função de estado da biblioteca, em seguida cada um desses valores são divididos pelo valor da propriedade equivalente mas calculada pela solução exata de Maxwell. Após isso é subtraído 1 deste valor para facilitar a visualização dos erros. Portanto, quanto mais próximo de 0 o valor encontrado, mais próximo está o valor calculado pela biblioteca do valor da solução de Maxwell.

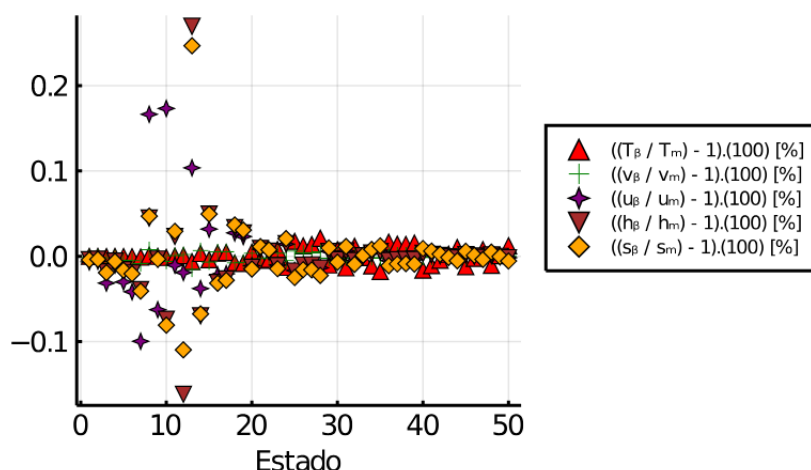
Esse teste também foi realizado utilizando diferentes propriedades na definição do estado para verificar a funcionalidade da biblioteca com todas elas.

Os principais alvos de validação deste teste são novamente as Eqs. (4.63) e (4.63) utilizadas para o domo, as Eqs. (4.22), (4.25) e (4.21) obtidas através da hipótese de  $c_v$  constante, e o algoritmo de solução para a Eq. (4.66), desta vez com foco para os valores limite de título (0 e 1).

Todos os dados utilizados no teste podem ser observados nas Tabelas (A.35 - A.46), assim como seus resultados. As Figuras (5.8 - 5.23) ilustram gráficos que resumem os resultados destas tabelas.

Figura 5.8 – Teste das Propriedades do Líquido Saturado utilizando  $x = 0$  e um valor de  $P$  para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ )

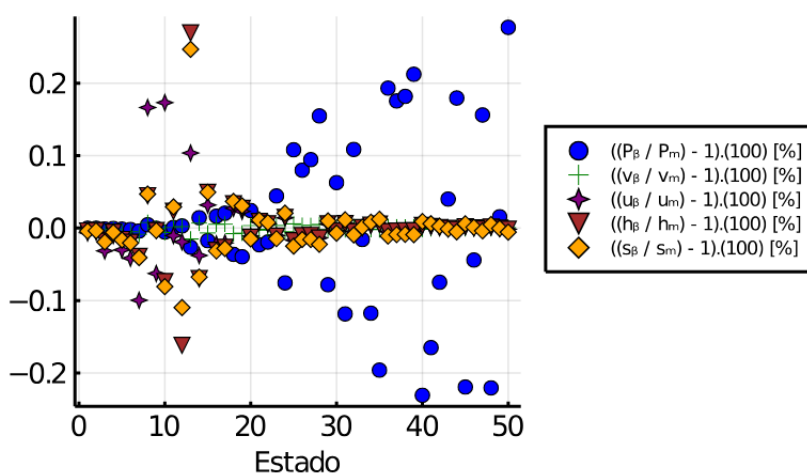
Teste das propriedades do Líquido Saturado com P



Fonte: Autoria Própria

Figura 5.9 – Teste das Propriedades do Líquido Saturado utilizando  $x = 0$  e um valor de  $T$  para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ )

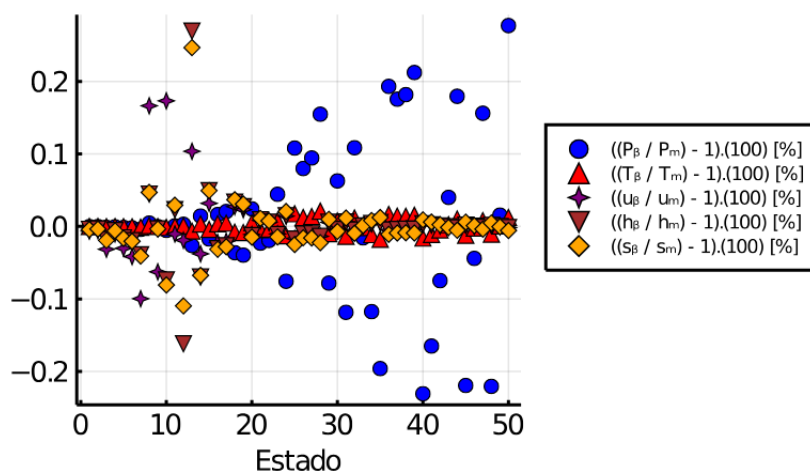
Teste das propriedades do Líquido Saturado com T



Fonte: Autoria Própria

Figura 5.10 – Teste das Propriedades do Líquido Saturado utilizando  $x = 0$  e um valor de  $v$  para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ )

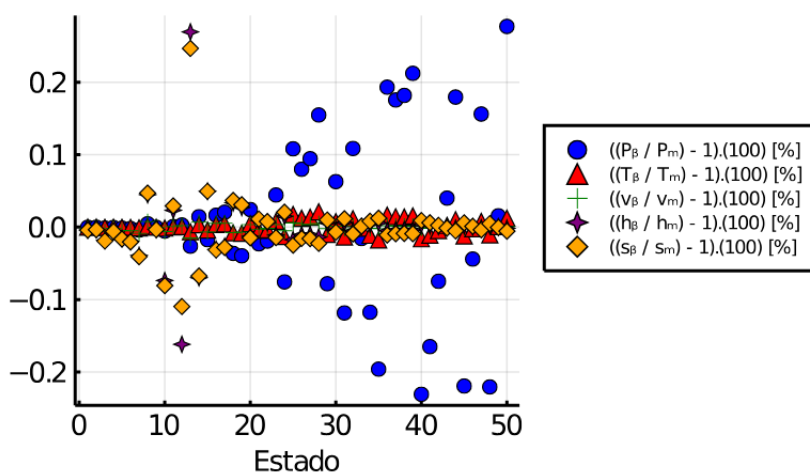
Teste das propriedades do Líquido Saturado com  $v$



Fonte: Autoria Própria

Figura 5.11 – Teste das Propriedades do Líquido Saturado utilizando  $x = 0$  e um valor de  $u$  para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ )

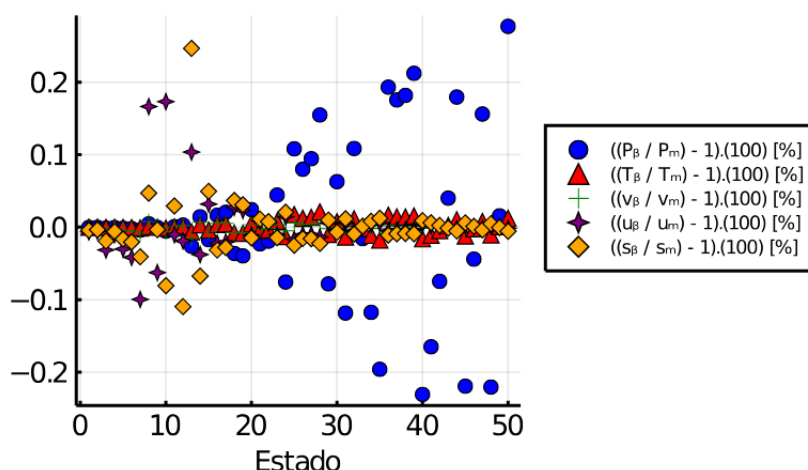
Teste das propriedades do Líquido Saturado com  $u$



Fonte: Autoria Própria

Figura 5.12 – Teste das Propriedades do Líquido Saturado utilizando  $x = 0$  e um valor de  $h$  para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ )

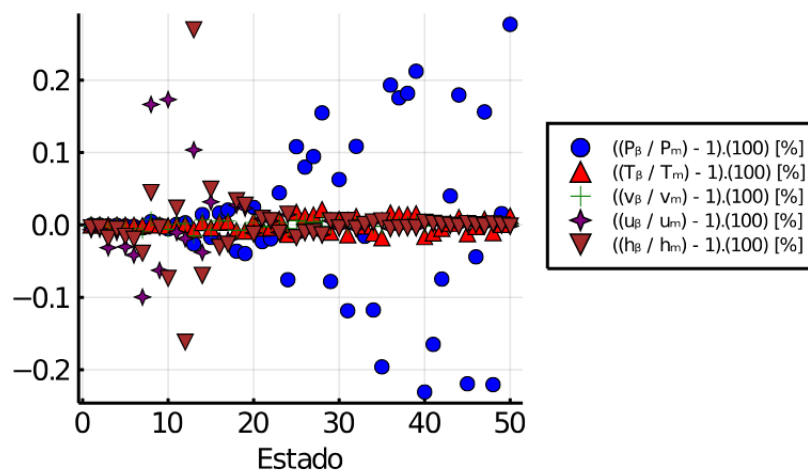
Teste das propriedades do Líquido Saturado com  $h$



Fonte: Autoria Própria

Figura 5.13 – Teste das Propriedades do Líquido Saturado utilizando  $x = 0$  e um valor de  $s$  para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ )

Teste das propriedades do Líquido Saturado com  $s$

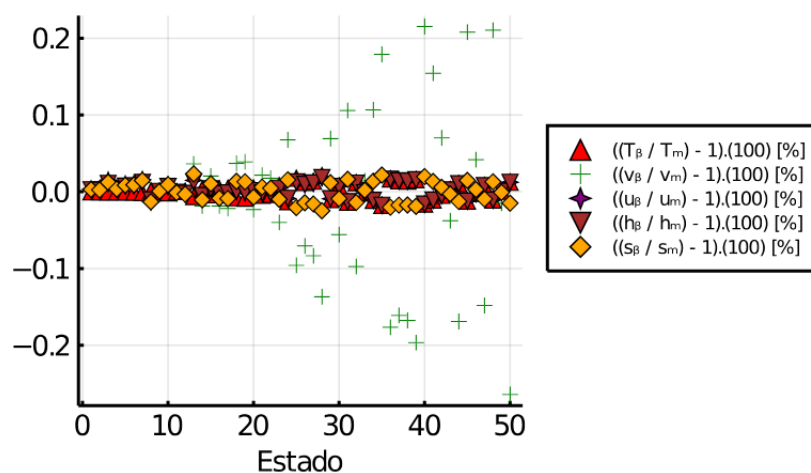


Fonte: Autoria Própria

Em todos os testes realizados para as propriedades do líquido saturado, observa-se que os desvios se mantiveram sempre menores do que 0,3% em valores absolutos, esse fato consiste em um bom resultado e permite a validação destes testes.

**Figura 5.14 – Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando  $x = 1$  e um valor de  $P$  para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ )**

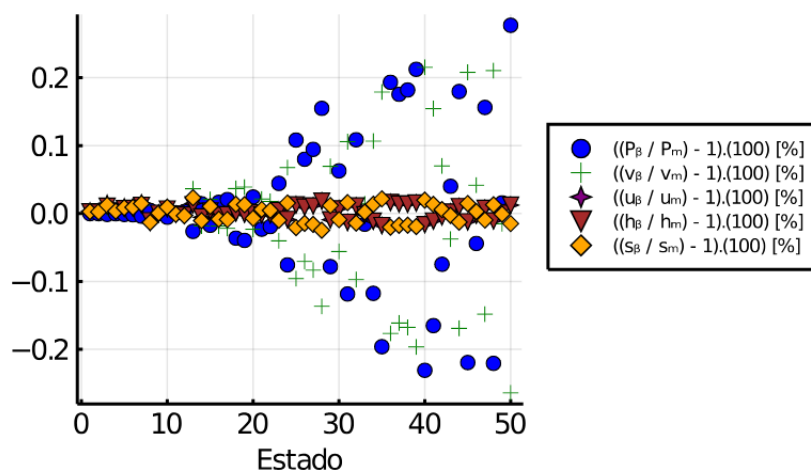
Teste das propriedades do Vapor Saturado com P



Fonte: Autoria Própria

Figura 5.15 – Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando  $x = 1$  e um valor de  $T$  para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ )

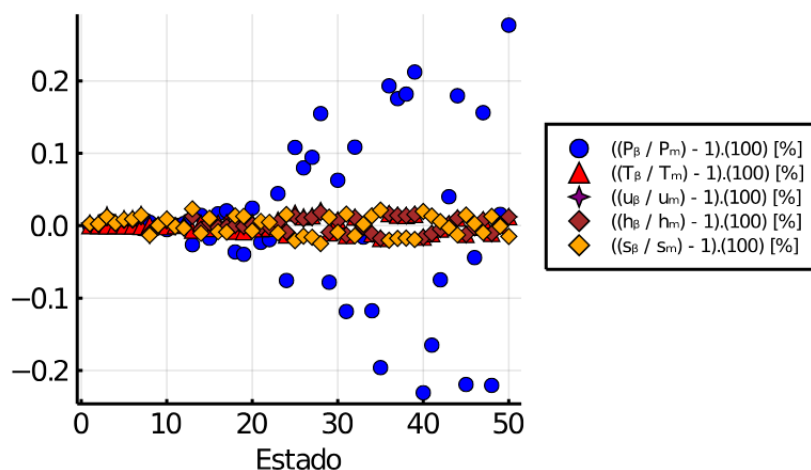
Teste das propriedades do Vapor Saturado com T



Fonte: Autoria Própria

Figura 5.16 – Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando  $x = 1$  e um valor de  $v$  para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ )

Teste das propriedades do Vapor Saturado com v



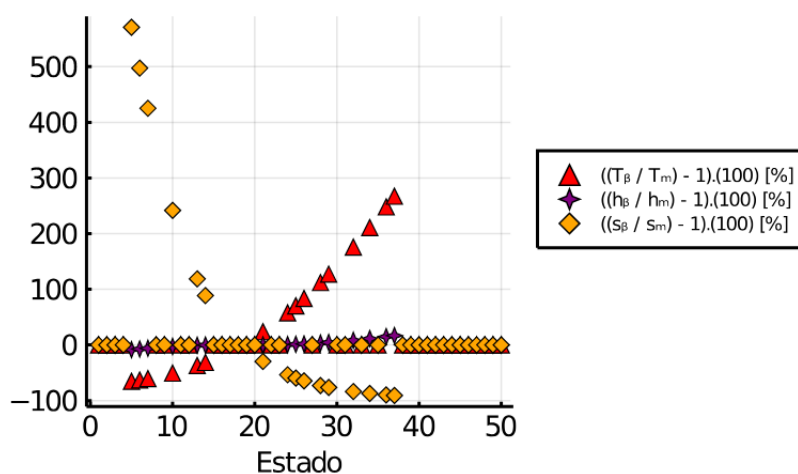
Fonte: Autoria Própria



Os testes para vapor saturado utilizando a pressão, temperatura ou volume, observados nas Figuras 5.14, 5.15 e 5.16 apresentaram desvios novamente abaixo de 0,3%, tendo apresentado portanto bons resultados.

**Figura 5.17 – Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando  $x = 1$  e um valor de  $u$  para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa a variação de uma determinada propriedade ( $T$ ,  $h$  ou  $s$ ) calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ )**

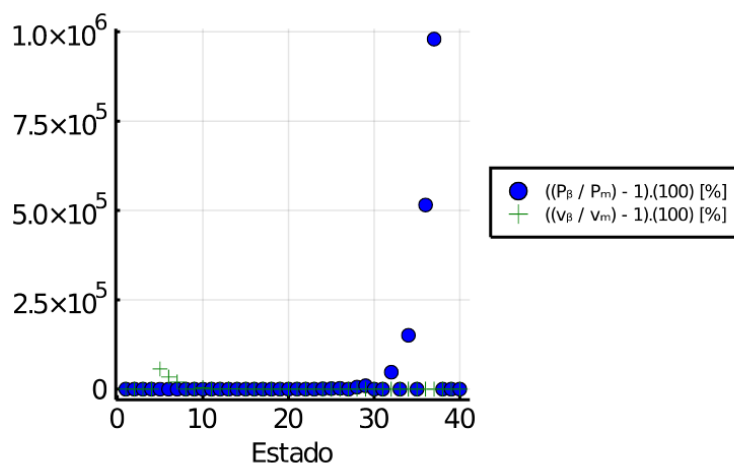
Teste das propriedades do Vapor Saturado com  $u$



Fonte: Autoria Própria

Figura 5.18 – Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando  $x = 1$  e um valor de  $u$  para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa a variação de uma determinada propriedade ( $P$  ou  $v$ ) calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ), considerando apenas os 40 estados iniciais

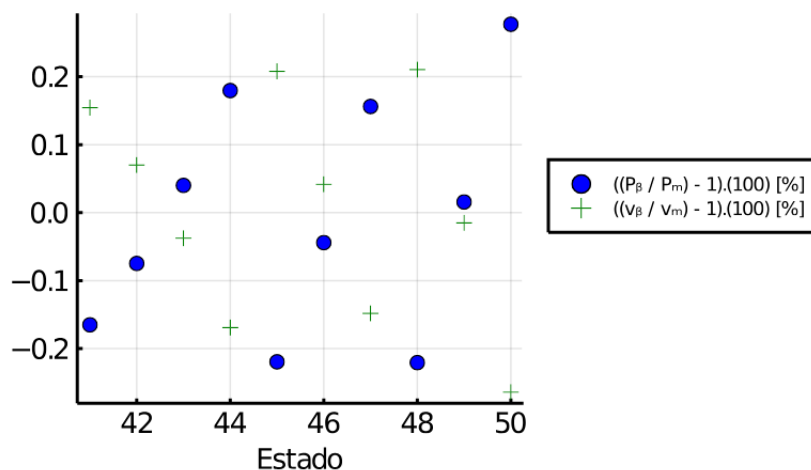
Teste das propriedades do Vapor Saturado com  $u$



Fonte: Autoria Própria

Figura 5.19 – Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando  $x = 1$  e um valor de  $u$  para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa a variação de uma determinada propriedade ( $P$  ou  $v$ ) calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ), considerando apenas os 10 estados finais

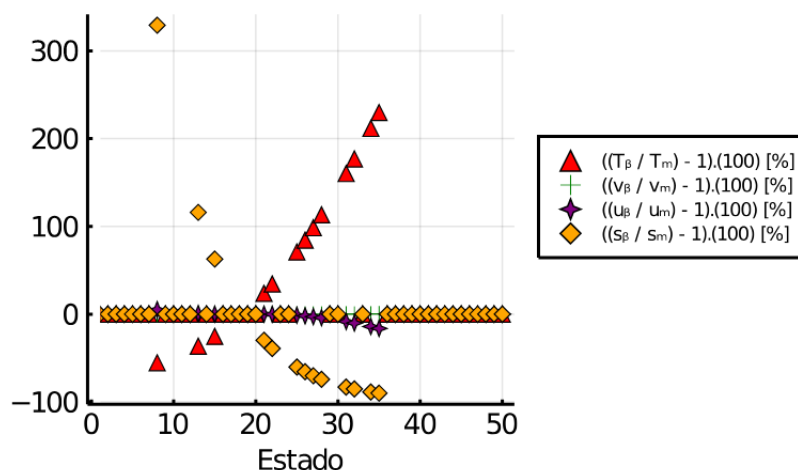
Teste das propriedades do Vapor Saturado com  $u$



Fonte: Autoria Própria

Figura 5.20 – Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando  $x = 1$  e um valor de  $h$  para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa a variação de uma determinada propriedade ( $T$ ,  $h$ ,  $s$ , ou  $v$ ) calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ )

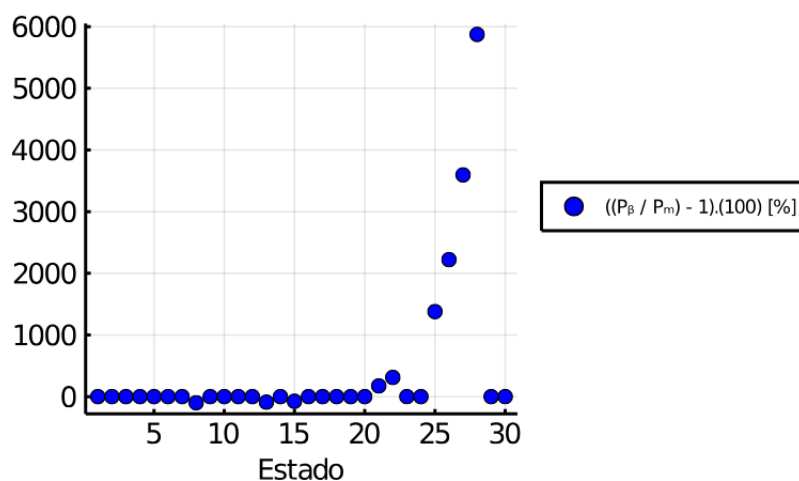
Teste das propriedades do Vapor Saturado com  $h$



Fonte: Autoria Própria

Figura 5.21 – Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando  $x = 1$  e um valor de  $h$  para a definição de cada estado, os pontos do gráfico representam o desvio da pressão calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ), considerando apenas os 30 estados iniciais

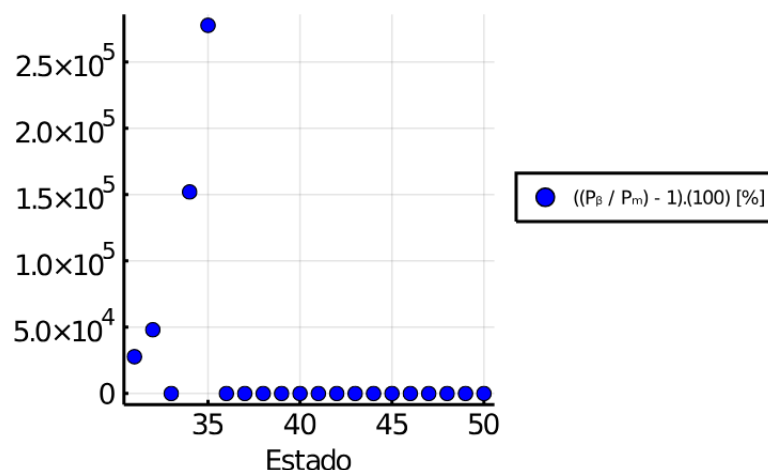
Teste das propriedades do Vapor Saturado com  $h$



Fonte: Autoria Própria

Figura 5.22 – Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando  $x = 1$  e um valor de  $h$  para a definição de cada estado, os pontos do gráfico representam o desvio da pressão calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ ), considerando apenas os 20 estados finais

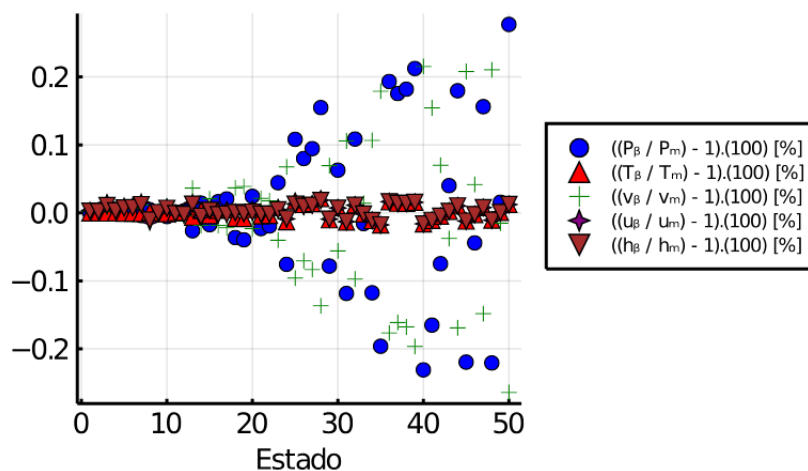
Teste das propriedades do Vapor Saturado com  $h$



Fonte: Autoria Própria

Figura 5.23 – Teste das Propriedades do Vapor Saturado utilizando  $x = 1$  e um valor de  $s$  para a definição de cada estado, cada série de dados do gráfico representa o desvio de uma determinada propriedade calculada pela biblioteca ( $\beta$ ) com relação ao seu valor calculado pela solução de Maxwell ( $m$ )

Teste das propriedades do Vapor Saturado com  $s$



Fonte: Autoria Própria

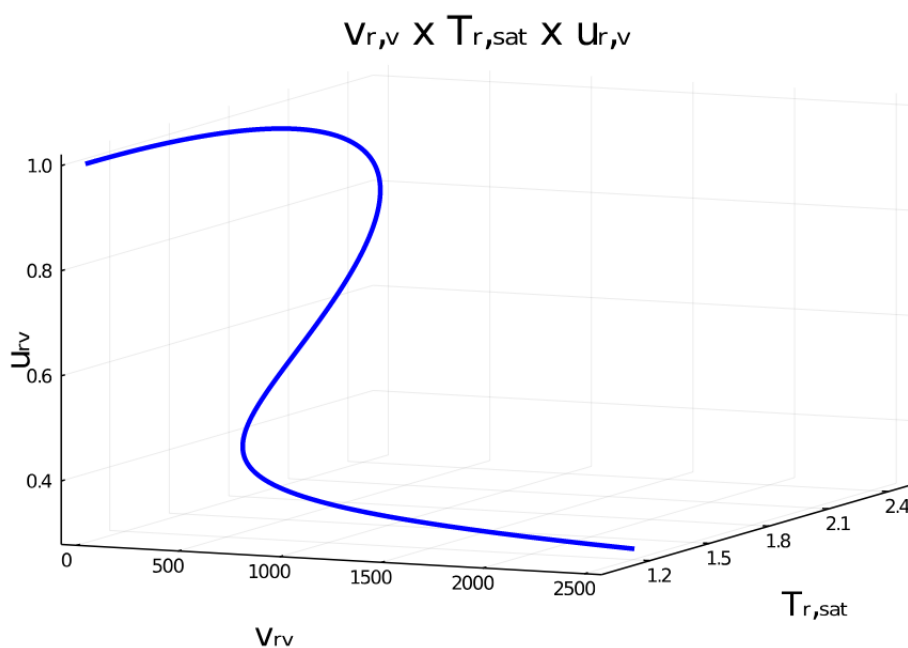
Os testes para as propriedades do vapor saturado utilizando  $s$  não apresentaram variações consideráveis. Já os testes de vapor saturado com  $u$  e  $h$  apresentaram grandes variações, e por isso seus gráficos foram divididos em partes para melhor visualização dessas variações.

Esse comportamento ocorreu pois teoricamente tem-se que os pares  $(u, x)$  ou  $(h, x)$  podem definir dois estados na região de vapor saturado do domo de saturação para substâncias de van-der-Waals, isso acontece devido ao comportamento das Eqs. (4.22) e (4.25), utilizadas no cálculo dessas propriedades quando  $x = 0$  e  $x = 1$  através dos valores já conhecidos de volume e temperatura.

Essas equações consistem em funções de duas variáveis dependentes de  $T_r$  e  $v_r$  e ao longo da curva de vapor saturado os valores de  $v_r$  são crescentes, enquanto os valores de  $T_r$  são decrescentes. Tomando primeiramente como exemplo a Eq. (4.22), verifica-se que a diminuição de  $T_r$  ocasiona redução do valor do termo  $\frac{8T_r\phi}{3}$  e conseqüentemente do valor da função, já o aumento de  $v_r$  ocasiona redução do termo  $\frac{3}{v_r}$  que possui sinal negativo na equação, ocasionando portanto no aumento de seu valor.

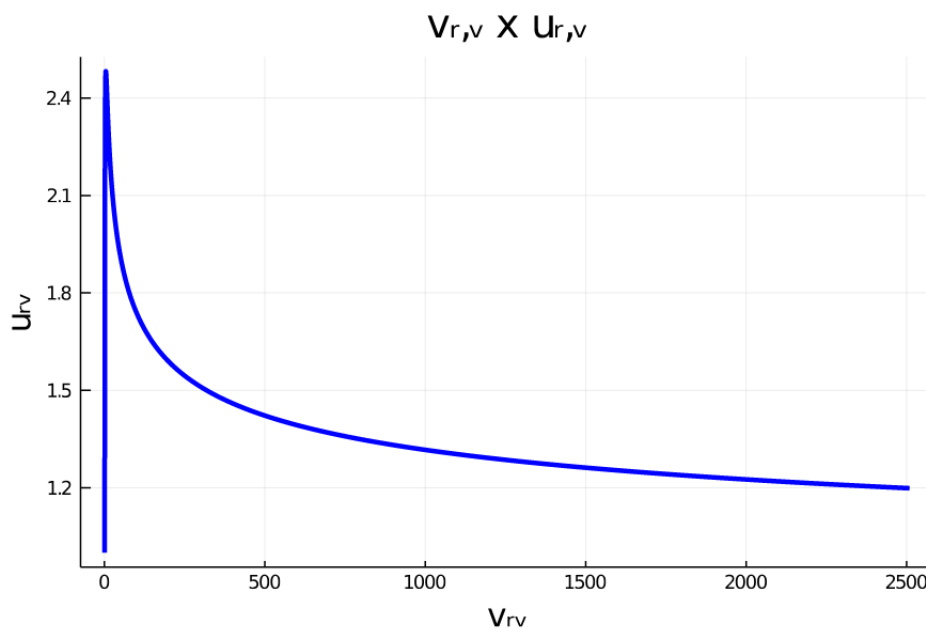
Como as variáveis da função influenciam de maneira contrária o seu valor no intervalo citado, tem-se que seu comportamento pode ser tanto crescente quanto decrescente dependendo de qual variável possuir maior influência, o que pode variar ao longo do intervalo, portanto cria-se uma plotagem tridimensional e uma projeção dela em um plano para observar esse comportamento, que são respectivamente as Figuras 5.24 e 5.25.

**Figura 5.24 – Diagrama  $v_{r,v} \times T_{r,sat} \times u_{r,v}$  de uma substância de van-der-Waals**



Fonte: Autoria Própria

**Figura 5.25 –** Projeção do Diagrama  $v_{r,v} \times T_{sat} \times u_{r,v}$  de uma substância de van-der-Waals no plano  $v_{r,v} \times u_{r,v}$

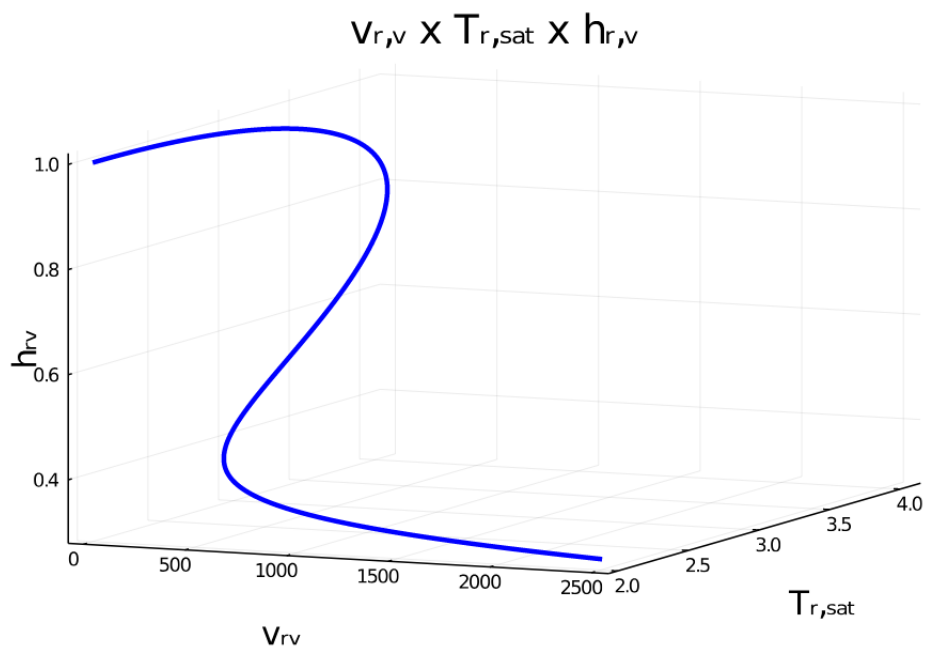


**Fonte: Autoria Própria**

Observa-se por meio desses diagramas que no intervalo de vapor saturado, inicialmente  $v_r$  possui uma influência maior no valor da função, fazendo com que ela se comporte de maneira crescente, mas a partir de certo ponto essa influência diminui fazendo com que  $T_r$  passe a influenciar mais o valor da função, tornando-a decrescente.

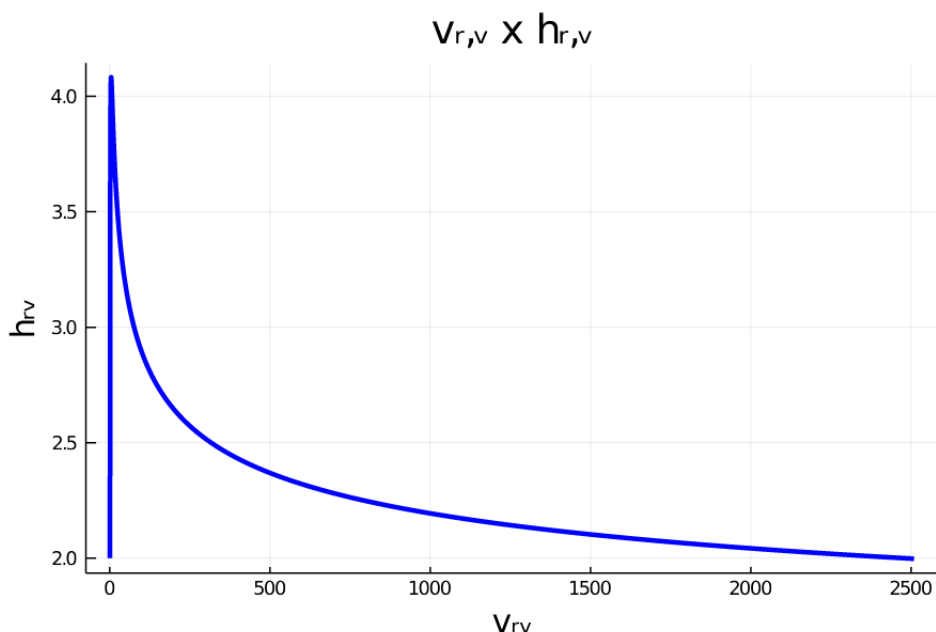
Essa mesma lógica é válida para a Eq. (4.25), com a diferença que  $\frac{3}{v_r}$  passa a ser  $\frac{6}{v_r}$ , e também que há a adição do termo  $\frac{8T_r v_r}{3v_r - 1}$  que é influenciado pelas duas variáveis. Assim observa-se o diagrama tridimensional da função e sua projeção nas Figuras 5.26 e 5.27.

Figura 5.26 – Diagrama  $v_{r,v} \times T_{sat} \times h_{r,v}$  de uma substância de van-der-Waals



Fonte: Autoria Própria

Figura 5.27 – Projeção do Diagrama  $v_{r,v} \times T_{sat} \times h_{r,v}$  de uma substância de van-der-Waals no plano  $v_{r,v} \times h_{r,v}$



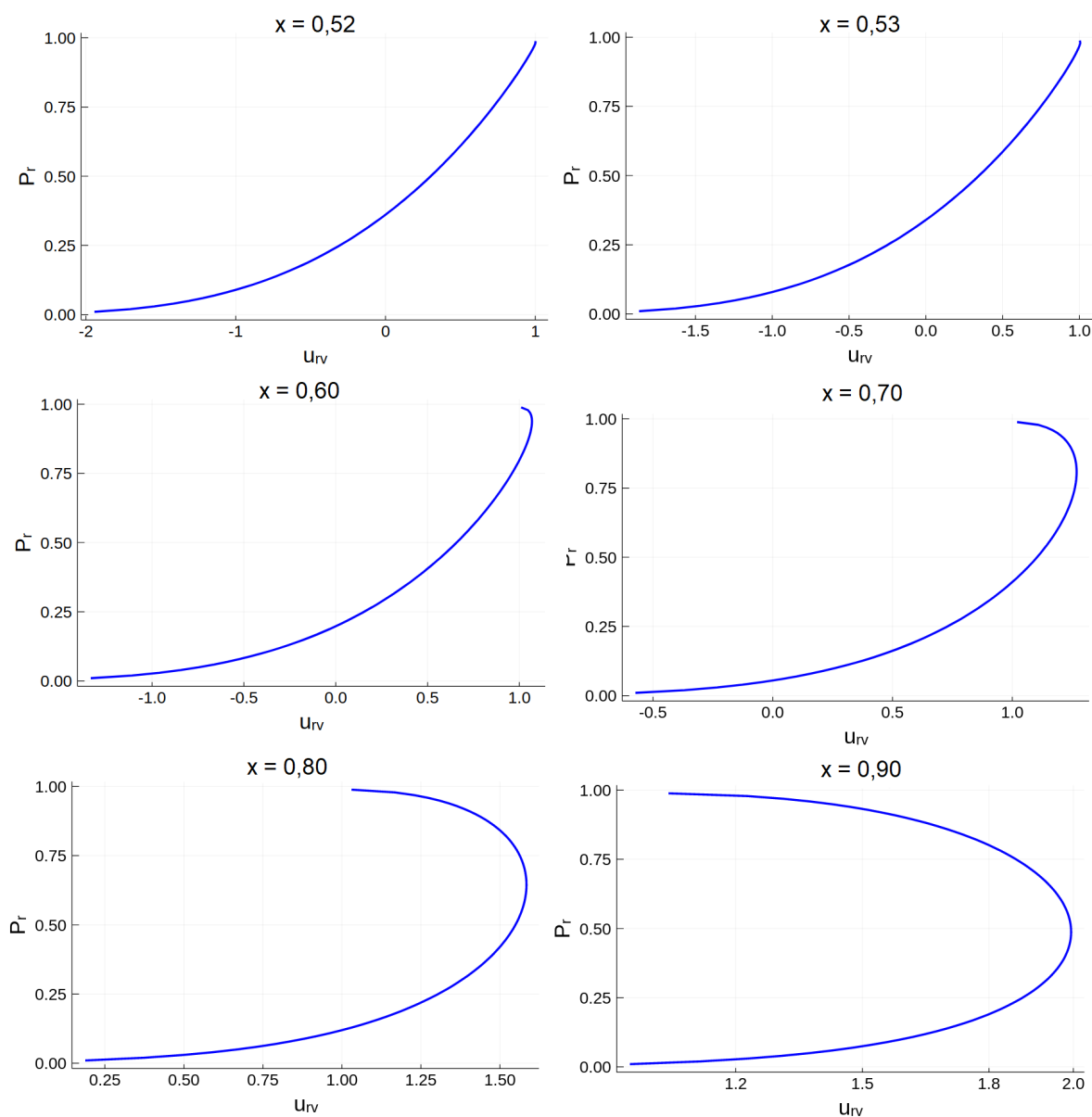
Fonte: Autoria Própria

Os diagramas e projeções confirmam que  $u_r$  e  $h_r$  possuem valores repetidos para a região de vapor saturado, e que isso ocorre devido a alteração de qual variável é mais influente no resultado de suas equações ao longo dessa região. A presença de valores

repetidos implica em dois estados com o mesmo título ( $x = 1$ ) e mesmo valor de  $u_r$  ou  $h_r$ , portanto as grandes variações observadas nos testes desses pares nesse intervalo são explicadas pela biblioteca estar calculando um dos possíveis estados e o resultado esperado estar levando em consideração o outro. Assim, não recomenda-se a utilização desses pares nessa região.

Realizaram-se gráficos para a determinação da região onde pode-se utilizar os pares  $(x, u)$  e  $(x, h)$  para calcular um estado único. Esses gráficos estão representados nas Figuras 5.28 e 5.29.

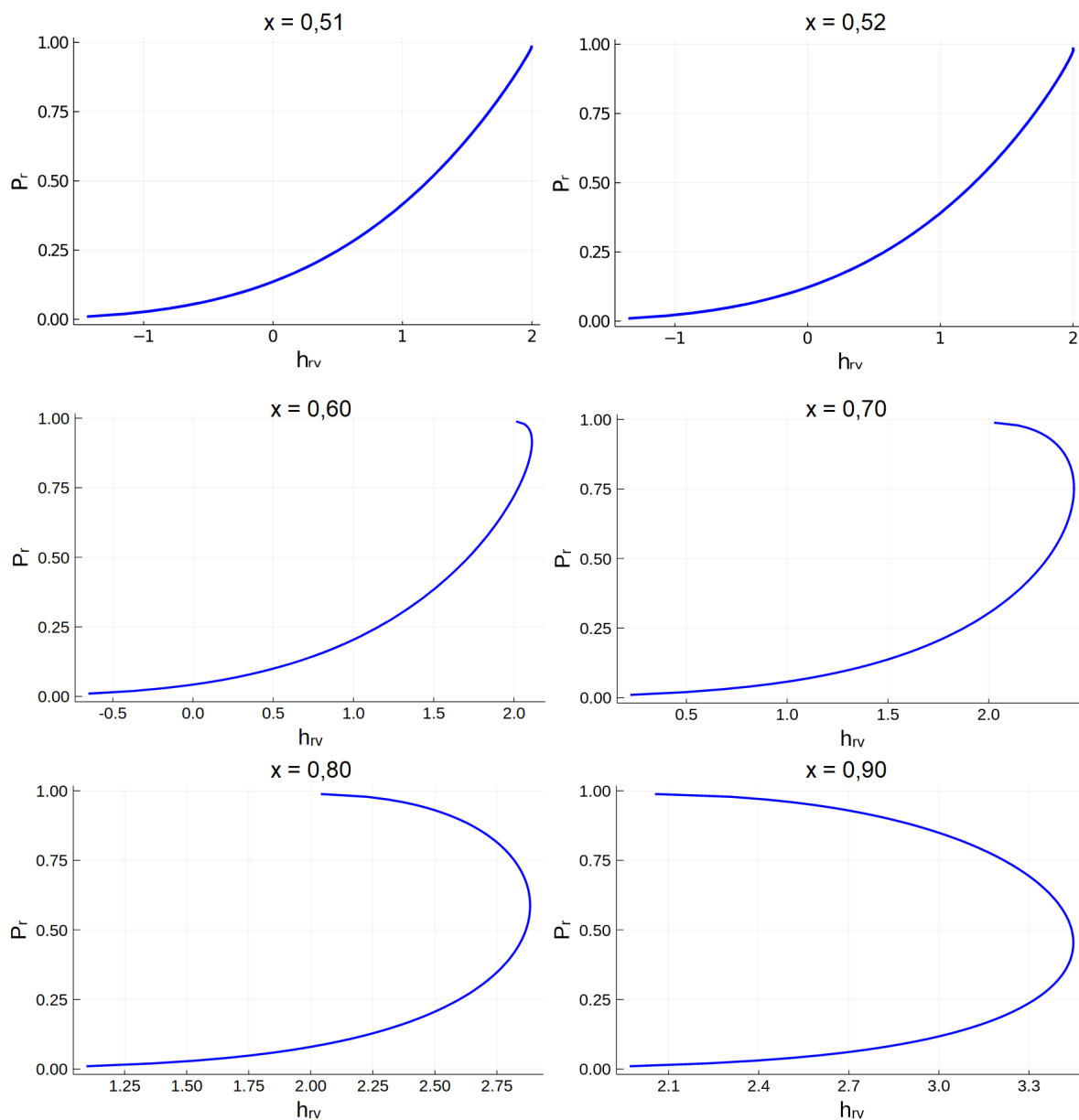
**Figura 5.28 – Influência de  $x$  no diagrama  $P_{sat} \times u_r$  de uma substância de van-der-Waals**



Fonte: Autoria Própria



**Figura 5.29 – Influência de  $x$  no diagrama  $P_{sat} \times h_r$  de uma substância de van-der-Waals**



**Fonte: Autoria Própria**

Observa-se pelas Figuras 5.28 e 5.29 que até  $x = 0,52$  há apenas um valor de  $u$  correspondente ao valor do título, já a partir de  $x = 0,53$  aparecem valores repetidos para essa propriedade, já para  $h$  essa transição ocorre entre  $x = 0,51$  e  $x = 0,52$ . Esse comportamento é difícil de perceber apenas observando a transição de um diagrama para o outro, mas pode ser percebido pela Tabela A.56 que possui esses valores para facilitar essa percepção.

Portanto, conclui-se que os pares em questão, dentro do domo de saturação, só podem definir um estado único no intervalo  $0 \leq x \leq 0,52$  no caso de  $u$  e  $0 \leq x \leq 0,51$  no caso de  $h$ . Observa-se também que a faixa de valores repetidos claramente aumenta nos

diagramas com títulos maiores.

### 5.1.3 Validação do domo de saturação através da Equação de Clapeyron

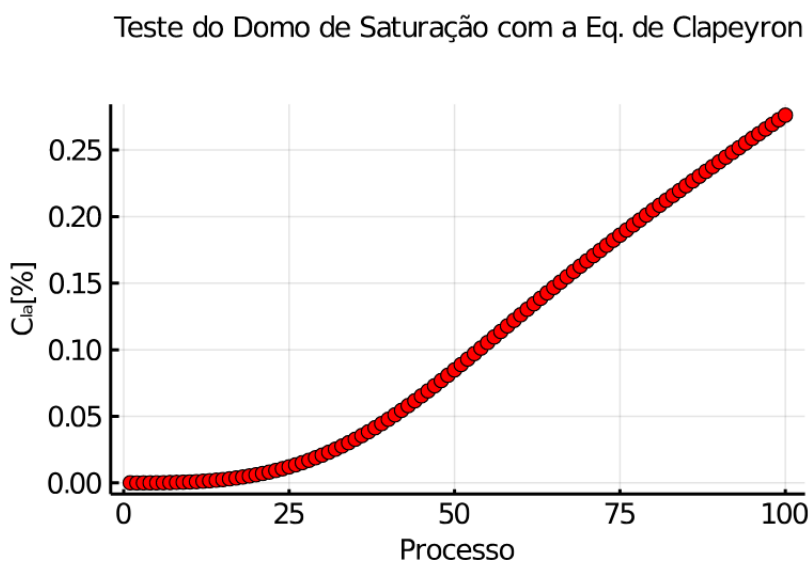
Como já mencionado, os cálculos dentro do domo de saturação utilizam um conjunto de dados pré determinados que consistem no domo de saturação. Sabe-se que o domo de saturação de uma substância deve satisfazer a Equação de Clapeyron para ser validado.

Para a realização do teste, as diferenças infinitesimais dessa equação foram aproximadas para diferenças finitas e foi criada uma variável  $C_{la}$  que consiste na divisão dos dois lados da equação subtraída por 1, para que assim ela represente a variação do resultado encontrado com relação ao que se espera, sendo expressa por

$$C_{la} = 100\left(\frac{\Delta P v_{lv} T_{r,2}}{\Delta T h_{lv}} - 1\right) = 0\%. \quad (5.1)$$

Os valores utilizados para  $h_{lv}$  e  $v_{lv}$  foram os do estado 2. Todos os valores das propriedades utilizadas de argumento nos testes, assim como os resultados, podem ser observados na Tabela A.47 que está no Apêndice A. A Figura 5.30 ilustra um gráfico que resume os resultados da tabela. Os principais alvos de validação deste teste consistem nas Eqs. (4.63), (4.64) e (4.25).

**Figura 5.30 – Teste do Domo de Saturação com a Equação de Clapeyron, onde a variável  $C_{la}$  criada para o teste, quanto mais próxima for de 0, mais próximo o processo está de satisfazer a equação de Clapeyron, tendo sido testados 100 processos, cada um com 2 pontos do domo de saturação, sendo esses processos distribuídos ao longo de todo o domo**



Fonte: Autoria Própria

Observa-se que o teste utilizando a equação de Clapeyron no Domo de Saturação obteve bons resultados, com desvios que cresceram ao longo do domo mas que se mantiveram abaixo de 0,3%, validando portanto os seus valores.

#### 5.1.4 Validação de resultados fora do domo de saturação

A validação de resultados fora do Domo de Saturação foi realizada utilizando as quatro relações de Maxwell, para isso, essas equações foram aproximadas para diferenças finitas e foram criadas quatro variáveis, uma para cada equação, através da divisão dos dois lados da equação subtraída de 1 (segundo a mesma lógica utilizada para a equação de Clapeyron), resultando em

$$M_1 = 100 \left( -\frac{\left(\frac{\Delta T}{\Delta v}\right)_s}{\left(\frac{\Delta P}{\Delta s}\right)_v} - 1 \right) = 0\%, \quad (5.2)$$

$$M_2 = 100 \left( \frac{\left(\frac{\Delta T}{\Delta P}\right)_s}{\left(\frac{\Delta v}{\Delta s}\right)_P} - 1 \right) = 0\%, \quad (5.3)$$

$$M_3 = 100 \left( \frac{\left(\frac{\Delta s}{\Delta v}\right)_T}{\left(\frac{\Delta P}{\Delta T}\right)_v} - 1 \right) = 0\% \quad \text{e} \quad (5.4)$$

$$M_4 = 100 \left( -\frac{\left(\frac{\Delta s}{\Delta P}\right)_T}{\left(\frac{\Delta v}{\Delta T}\right)_P} - 1 \right) = 0\%. \quad (5.5)$$

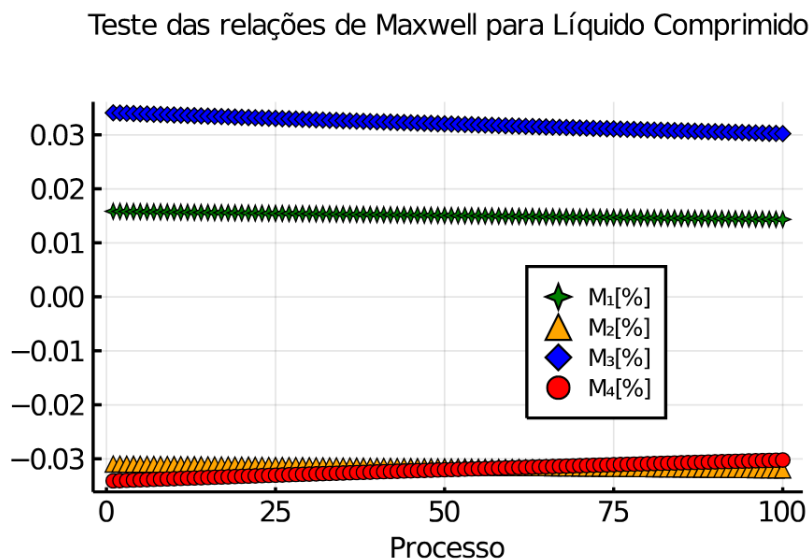
Após isso essas variáveis foram calculadas para diversos estados e utilizando diferentes pares de propriedades para definir esses estados, onde quanto mais próximos de 0 os resultados, mais próximos de satisfazer as relações de Maxwell eles estão.

Os cálculos foram realizados sempre calculando inicialmente a fração de cima da variável em questão, seguindo o processo especificado, e em seguida a fração de baixo utilizando um processo com o mesmo estado inicial do processo anterior mas definindo o estado final considerando que o termo de cima da fração de baixo deve ser igual nos dois processos.

Como por exemplo, no cálculo de  $M_1$ , após calcular a fração de cima, foi utilizado o mesmo estado inicial para a de baixo, considerando que a variação de pressão dos dois processos deve ser igual (termo de cima da fração de baixo), portanto o estado final foi definido pela pressão final do primeiro processo e pelo volume inicial dos dois processos (pois o segundo processo é isovolumétrico), seguindo então essa lógica para todas as relações de Maxwell.

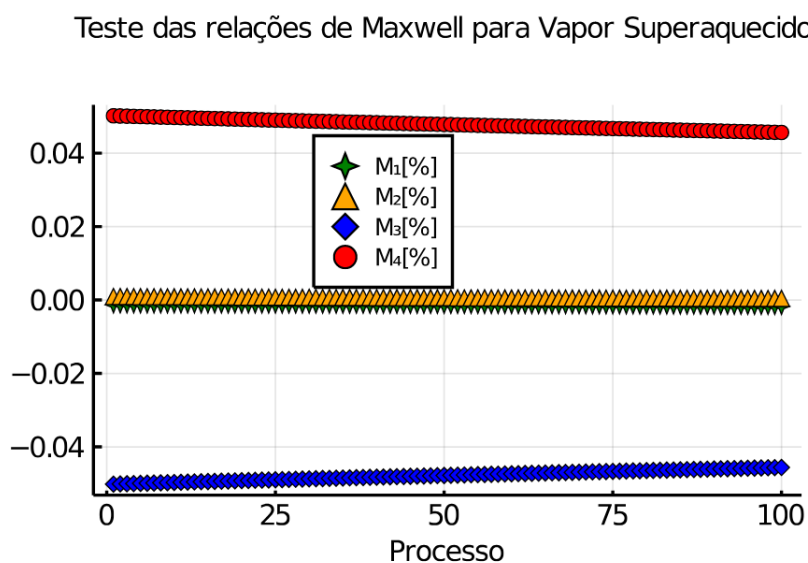
Os principais alvos de validação neste teste são as equações presentes na Tabela 4.1. Todos os valores das propriedades utilizadas como argumento em todos esses testes, assim como os resultados, podem ser observados nas Tabelas (A.48 - A.55) que se encontram no Apêndice A. As Figuras 5.31 e 5.32 ilustram respectivamente os resultados das tabelas para a região de líquido saturado e para a região de vapor saturado.

Figura 5.31 – Teste das relações de Maxwell para a região de Líquido Comprimido, onde cada série de dados do gráfico se refere a cada uma das relações de Maxwell, com  $M_1$  se referindo a primeira relação e assim por diante, onde quanto mais próximos os valores são de 0, mais próximos estão de satisfazerem as relações



Fonte: Autoria Própria

Figura 5.32 – Teste das relações de Maxwell para a região de Vapor Superaquecido, onde cada série de dados do gráfico se refere a cada uma das relações de Maxwell, com  $M_1$  se referindo a primeira relação e assim por diante, onde quanto mais próximos os valores são de 0, mais próximos estão de satisfazerem as relações



Fonte: Autoria Própria

Observa-se que para as duas regiões os resultados alcançados se mostraram suficientemente próximos do esperado para todas as relações de maxwell, o que valida os resultados da biblioteca para cálculos fora do domo de saturação.

### 5.1.5 Tempo de execução

Foi realizado um *Benchmark* do tempo de resposta da função de estado da biblioteca, realizando testes para todos os pares de propriedades, dentro e fora do domo, para verificar a velocidade de todos os métodos. Para isso foi utilizada a biblioteca `BenchmarkTools`, que é nativa em Julia e serve exatamente para realizar esse tipo de teste, executando a mesma medição diversas vezes, o que permite obter um tempo mínimo, máximo, mediano, e médio, também calculados por ela.

Foram realizadas 100 amostras para o cálculo dos tempos para cada par. Os resultados podem ser observados nas Tabelas 5.1 e 5.2 que são respectivamente para fora e dentro do domo de saturação. O processador utilizado no procedimento foi um AMD A12-9720p.

Como a função de processo consiste basicamente na aplicação da função de estado duas vezes, já é possível estimar seu tempo de funcionamento através destes resultados.

**Tabela 5.1 – Tempo de Resposta da Função `State` fora do Domo de Saturação**

Par	$t$ mínimo[ms]	$t$ mediano[ms]	$t$ médio[ms]	$t$ máximo[ms]
(T,P)	15.800	17.229	18.776	26.329
(T,v)	15.383	17.973	19.530	28.699
(T,u)	16.325	17.900	19.677	31.943
(T,h)	15.996	19.328	21.124	33.844
(T,s)	16.333	18.963	20.563	34.978
(P,v)	17.054	19.322	21.038	32.383
(P,u)	16.878	19.535	21.515	33.584
(P,h)	17.131	18.879	20.597	31.995
(P,s)	16.459	19.212	20.725	34.078
(v,u)	162.119	178.909	181.932	206.878
(v,h)	159.747	183.750	184.438	211.001
(v,s)	163.731	179.093	178.469	202.522
(u,h)	529.507	563.382	564.636	610.236
(u,s)	493.779	514.632	517.723	597.590
(h,s)	479.210	537.153	540.753	629.881

Fonte: Autoria Própria

Tabela 5.2 – Tempo de Resposta da Função **State** dentro do Domo de Saturação

Par	$t$ mínimo[ms]	$t$ mediano[ms]	$t$ médio[ms]	$t$ máximo[ms]
(T,P)	15.387	17.503	18.828	27.094
(T,v)	35.614	42.589	43.391	54.950
(T,u)	34.568	41.377	41.231	55.979
(T,h)	36.143	38.386	40.904	48.062
(T,s)	36.547	39.015	41.477	51.669
(P,v)	34.107	37.030	39.815	47.342
(P,u)	35.593	40.680	42.228	54.778
(P,h)	35.079	38.092	40.890	50.379
(P,s)	36.772	39.909	42.320	48.620
(v,u)	175.306	194.731	193.516	231.503
(v,h)	179.626	194.992	193.558	203.886
(v,s)	183.480	196.076	195.316	208.116
(u,h)	470.902	506.738	505.110	534.473
(u,s)	483.198	521.648	532.484	613.550
(h,s)	536.882	560.161	560.522	582.706
(x,P)	34.157	40.204	41.196	51.857
(x,T)	37.027	42.214	43.900	58.007
(x,v)	38.137	45.641	46.018	59.227
(x,u)	39.435	48.574	48.044	61.319
(x,h)	38.646	48.011	47.924	62.321
(x,s)	38.822	47.128	47.567	62.627

Fonte: Autoria Própria

Observa-se pelos resultados que como esperado, tanto dentro quanto fora do domo de saturação, os pares envolvendo apenas propriedades intensivas apresentaram um tempo maior, devido ao maior número de procedimentos numéricos envolvendo esses cálculos. De modo geral os tempos alcançados se mostraram razoáveis, sendo possível realizar procedimentos utilizando a função `State` diversas vezes sem consumir grandes quantias de tempo.

## 5.2 Exercícios de Validação

Com os testes realizados, coloca-se à prova a aplicabilidade da biblioteca através de exercícios de validação, que utilizam ciclos termodinâmicos, e então os resultados

obtidos com o seu uso serão comparados com os resultados obtidos resolvendo o exercício diretamente com as equações e métodos elaborados na Metodologia.

### 5.2.1 Ciclo Rankine

Exercício adaptado de Çengel (2013): Uma usina de potência a vapor opera no ciclo de Rankine com reaquecimento e regeneração com um aquecedor de água de alimentação fechado. Vapor entra na turbina a 8 MPa e 500 °C com uma vazão de 15 kg/s e é condensado no condensador a uma pressão de 100 kPa. O vapor é reaquecido a 3 MPa até 500 °C. Parte do vapor, extraído da turbina de baixa pressão a 1,0 MPa, é completamente condensado no aquecedor de água de alimentação e bombeado até 8 MPa antes de se misturar à água de alimentação à mesma pressão. Considerando uma eficiência isentrópica de 88% para a turbina e para a bomba, determine (a) a temperatura do vapor na entrada do aquecedor de água de alimentação, (b) o fluxo de massa do vapor extraído da turbina para o aquecedor de água de alimentação, (c) a potência líquida e (d) a eficiência térmica. Considere a água uma substância de van-der-Waals com  $c_v$  constante.

Pode-se observar o funcionamento do ciclo através da Figura 3.9, e para a resolução dos estados dentro do domo de saturação sem utilizar a biblioteca, será utilizada a Tabela 5.3.

**Tabela 5.3 – Dados de saturação de uma substância de van-der-Waals**

$\phi$	$\Upsilon_1$	$\Upsilon_2$	$v_{r,l}$	$v_{r,v}$	$T_{r,sat}$	$P_{r,sat}$
0.95	1.949	2.052	0.9832	1.017	0.9999	0.9997
0.4684	1.389	2.965	0.7962	1.322	0.9843	0.9383
0.2309	1.014	4.392	0.6714	1.797	0.944	0.7907
0.1139	0.7598	6.673	0.5866	2.558	0.8853	0.6027
0.05614	0.5837	10.4	0.5279	3.799	0.8161	0.4201
0.02768	0.4597	16.61	0.4866	5.87	0.7437	0.2712
0.01365	0.3708	27.17	0.4569	9.391	0.6736	0.1643
0.006728	0.3059	45.47	0.4353	15.49	0.609	0.09465
0.003317	0.2576	77.67	0.4192	26.22	0.5515	0.05244
0.001635	0.221	135.1	0.407	45.38	0.5011	0.02821
0.0008063	0.1927	239	0.3976	79.99	0.4575	0.01485
0.0003975	0.1703	428.5	0.3901	143.2	0.4199	0.007693
0.000196	0.1524	777.6	0.3841	259.5	0.3874	0.003941
9.664e-05	0.1378	1426	0.3793	475.5	0.3592	0.002003
4.765e-05	0.1256	2637	0.3752	879.2	0.3347	0.001011
2.349e-05	0.1154	4914	0.3718	1638	0.3131	0.0005087

Continua na página seguinte

Tabela 5.3 – continuando da página anterior

$\phi$	$\Upsilon_1$	$\Upsilon_2$	$v_{r,l}$	$v_{r,v}$	$T_{r,sat}$	$P_{r,sat}$
1.158e-05	0.1067	9216	0.3689	3072	0.2941	0.000255
5.71e-06	0.09926	1.738e+04	0.3664	5794	0.2772	0.0001275
2.815e-06	0.09275	3.294e+04	0.3643	1.098e+04	0.2622	6.363e-05
1.388e-06	0.08705	6.271e+04	0.3623	2.09e+04	0.2486	3.171e-05
6.844e-07	0.082	1.198e+05	0.3607	3.994e+04	0.2364	1.578e-05
3.374e-07	0.07751	2.297e+05	0.3592	7.657e+04	0.2253	7.846e-06
1.664e-07	0.07348	4.417e+05	0.3578	1.472e+05	0.2152	3.898e-06
8.202e-08	0.06985	8.516e+05	0.3566	2.839e+05	0.206	1.935e-06
4.044e-08	0.06656	1.646e+06	0.3555	5.486e+05	0.1975	9.598e-07
1.994e-08	0.06357	3.188e+06	0.3545	1.063e+06	0.1897	4.759e-07
9.83e-09	0.06084	6.188e+06	0.3536	2.063e+06	0.1824	2.359e-07
4.847e-09	0.05833	1.203e+07	0.3528	4.011e+06	0.1758	1.168e-07
2.39e-09	0.05602	2.344e+07	0.352	7.814e+06	0.1695	5.786e-08
1.178e-09	0.05388	4.573e+07	0.3513	1.524e+07	0.1637	2.864e-08
5.809e-10	0.0519	8.935e+07	0.3506	2.978e+07	0.1583	1.417e-08
2.864e-10	0.05007	1.748e+08	0.35	5.827e+07	0.1532	7.013e-09
1.412e-10	0.04835	3.424e+08	0.3495	1.141e+08	0.1485	3.469e-09
6.962e-11	0.04676	6.716e+08	0.3489	2.239e+08	0.144	1.716e-09
3.432e-11	0.04526	1.319e+09	0.3484	4.395e+08	0.1398	8.482e-10
1.692e-11	0.04386	2.591e+09	0.348	8.638e+08	0.1358	4.193e-10
8.344e-12	0.04254	5.098e+09	0.3475	1.699e+09	0.1321	2.073e-10
4.114e-12	0.04129	1.004e+10	0.3471	3.346e+09	0.1285	1.024e-10
2.028e-12	0.04012	1.978e+10	0.3467	6.594e+09	0.1252	5.066e-11
1e-12	0.03902	3.902e+10	0.3463	1.301e+10	0.122	2.505e-11

Fonte: Adaptado de Naaktgeboren (2018c)

Os valores críticos da água, de acordo com Lide (2005), são:  $P_c = 22060.0 \text{ kPa}$  e  $T_c = 647.14 \text{ K}$ , além disso sabe-se que para a água  $\phi = 7/2$ . Assim, calcula-se os estados e valores de interesse do exercício tanto manualmente quanto através da biblioteca e obtém-se a Tabela 5.4, que mostra e compara esses resultados.



Tabela 5.4 – Resultados do Exercício de Ciclo Rankine

	Resultados Manuais	Resultados da Biblioteca	Dif. %
$P_1 [Pa]$	100	100	0
$T_1 [K]$	254.8478844	254.0205253	-0.32464822
$v_1 [m^3/kg]$	0.001197645	0.001196906	-0.061745708
$u_1 [kJ/kg]$	-281.8977716	-283.0459071	0.407287895
$h_1 [kJ/kg]$	-281.777917	-282.871101	0.387959455
$s_1 [kJ/(kg.K)]$	-1.446880139	-1.451393005	0.311903207
$P_2 [Pa]$	8000	8000	0
$T_2 [K]$	257.0498385	256.2480472	-0.311920538
$v_2 [m^3/kg]$	0.001195693	0.001195019	-0.05633819
$u_2 [kJ/kg]$	-280.5918726	-281.6863062	0.390044677
$h_2 [kJ/kg]$	-271.0263296	-272.1261523	0.405799214
$s_2 [kJ/(kg.K)]$	-1.441808622	-1.446093944	0.297218542
$P_3 [Pa]$	1000	1000	0
$T_3 [K]$	348.608211	347.3265094	-0.367662491
$v_3 [m^3/kg]$	0.001293035	0.001291942	-0.084555789
$u_3 [kJ/kg]$	-149.7801919	-151.466302	1.125722986
$h_3 [kJ/kg]$	-148.4887687	-150.7242874	1.505513679
$s_3 [kJ/(kg.K)]$	-1.005889454	-1.010737529	0.481968997
$P_4 [Pa]$	8000	8000	0
$T_4 [K]$	351.4812673	349.9303894	-0.441240576
$v_4 [m^3/kg]$	0.001288928	0.001287122	-0.140085215
$u_4 [kJ/kg]$	-148.5146851	-150.744456	1.501380779
$h_4 [kJ/kg]$	-138.2032615	-140.4474772	1.623851486
$s_4 [kJ/(kg.K)]$	-1.002326605	-1.008725753	0.638429411
$P_5 [Pa]$	8000	8000	0
$T_5 [K]$	773.15	773.15	0
$v_5 [m^3/kg]$	0.025316398	0.025316398	0
$u_5 [kJ/kg]$	739.3761714	739.3761714	0
$h_5 [kJ/kg]$	941.9073518	941.9073518	0
$s_5 [kJ/(kg.K)]$	1.067210576	1.067210576	0
$P_6 [Pa]$	3000	3000	0
$T_6 [K]$	631.3433663	631.3433663	0
$v_6 [m^3/kg]$	0.056818805	0.056818805	0
$u_6 [kJ/kg]$	613.1358217	613.1358217	-1.66877E-13
$h_6 [kJ/kg]$	783.5922368	783.5922368	-1.30576E-13

Continua na página seguinte

Tabela 5.4 – continuando da página anterior

	Resultados Manuais	Resultados da Biblioteca	Dif. %
$s_6 [kJ/(kg.K)]$	1.101858676	1.101858676	0
$P_7 [Pa]$	3000	3000	0
$T_7 [K]$	773.15	773.15	0
$v_7 [m^3/kg]$	0.070895893	0.070895893	0
$u_7 [kJ/kg]$	755.6154356	755.6154356	0
$h_7 [kJ/kg]$	968.303114	968.303114	0
$s_7 [kJ/(kg.K)]$	1.365835633	1.365835633	0
$P_8 [Pa]$	1000	1000	0
$T_8 [K]$	622.5479668	622.5479668	0
$v_8 [m^3/kg]$	0.173279787	0.173279787	0
$u_8 [kJ/kg]$	612.0014386	612.0014386	0
$h_8 [kJ/kg]$	785.2812254	785.2812254	0
$s_8 [kJ/(kg.K)]$	1.406564113	1.406564113	0
$P_9 [Pa]$	100	100	0
$T_9 [K]$	408.3941161	408.3941161	0
$v_9 [m^3/kg]$	1.149467874	1.149467874	0
$u_9 [kJ/kg]$	403.3401404	403.3401404	0
$h_9 [kJ/kg]$	518.2869278	518.2869278	0
$s_9 [kJ/(kg.K)]$	1.525718572	1.525718572	0
$P_{10} [Pa]$	8000	8000	0
$T_{10} [K]$	351.4812673	349.9303894	-0.441240576
$v_{10} [m^3/kg]$	0.001288928	0.001287122	-0.140085215
$u_{10} [kJ/kg]$	-148.5146851	-150.744456	1.501380779
$h_{10} [kJ/kg]$	-138.2032615	-140.4474772	1.623851486
$s_{10} [kJ/(kg.K)]$	-1.002326605	-1.008725753	0.638429411
$P_{11} [Pa]$	8000	8000	0
$T_{11} [K]$	351.4812673	349.9303894	-0.441240576
$v_{11} [m^3/kg]$	0.001288928	0.001287122	-0.140085215
$u_{11} [kJ/kg]$	-148.5146851	-150.744456	1.501380779
$h_{11} [kJ/kg]$	-138.2032615	-140.4474772	1.623851486
$s_{11} [kJ/(kg.K)]$	-1.002326605	-1.008725753	0.638429411
$W_{liq} [W]$	8465.833447	8470.730785	0.057848274
$\eta_t$	0.446220198	0.445687531	-0.119373313

Fonte: Autoria Própria

Observa-se que os resultados utilizando ambos os métodos foram bem próximos, com os estados apresentando pequenas diferenças entre os métodos, levando a pequenas diferenças nos resultados finais, mas que não possuem grande relevância devido a sua pequena magnitude. Isso prova a funcionalidade da biblioteca nesse tipo de exercício.

O Código 5.1 consiste na resolução deste exercício através da biblioteca, que é bem sucinta e objetiva. Observa-se nas linhas 14, 18, 19, 20, 24, 25, 29, 33 e 37 a utilização da função `State` para definição dos estados, e nas linhas 22, 27 e 31 a utilização da função `IsoProp` para o cálculo dos processos.

### Código 5.1 – Resolução do exercício de ciclo Rankine

```

1  # Bibliotecas
2  using vdWProp
3  using EngThermBase
4  using Unitful
5
6  #Dados
7  water = vdWProp.H2O # substância
8  nst = 0.88 # coeficiente isentrópico da turbina
9  m5 = 15.0u"kg/s" # fluxo de massa no estado 5
10 hrt(h1,h2s) = h1 - nst*(h1 - h2s) # h real da turbina
11 hrb(h1,h2s) = ((h2s - h1)/nst) + h1 # h real da bomba
12
13 #Estados
14 St1 = State(water, P(100), AMT(0)) # Estado 1
15 P2 = P(8.0*1000)
16 wb1 = St1[3]*(P2 - St1[1])/nst # Trabalho da bomba 1
17 h2 = h(amt(St1[5] + wb1).val)
18 St2 = State(water, h2, P2) # Estado 2
19 St3 = State(water, P(1000), AMT(0)) # Estado 3
20 St5 = State(water, P(8000), T(500 + 273.15)) # Estado 5
21 #Estado 6 iso-s
22 St6s = IsoProp(water, P(8000), T(500 + 273.15), P(3000), "s")
23 h6 = h(amt(hrt(St5[5], St6s[5,2])).val)
24 St6 = State(water, P(3000), h6) # Estado 6
25 St7 = State(water, P(3000), T(500 + 273.15)) # Estado 7
26 # Estado 8 iso-s
27 St8s = IsoProp(water, P(3000), T(500 + 273.15), P(1000), "s")
28 h8 = h(amt(hrt(St7[5], St8s[5,2])).val)
29 St8 = State(water, P(1000), h8) # Estado 8
30 # Estado 9 iso-s
31 St9s = IsoProp(water, P(3000), T(500 + 273.15), P(100), "s")
32 h9 = h(amt(hrt(St7[5], St9s[5,2])).val)
33 St9 = State(water, P(100), h9) # Estado 9
34 P11 = P(8000)
35 wb2 = St3[3]*(P11 - St3[1])/nst # Trabalho da bomba 2
36 h11 = h(amt(St3[5] + wb2).val)
37 St11 = State(water, P11, h11) # Estado 11

```

```

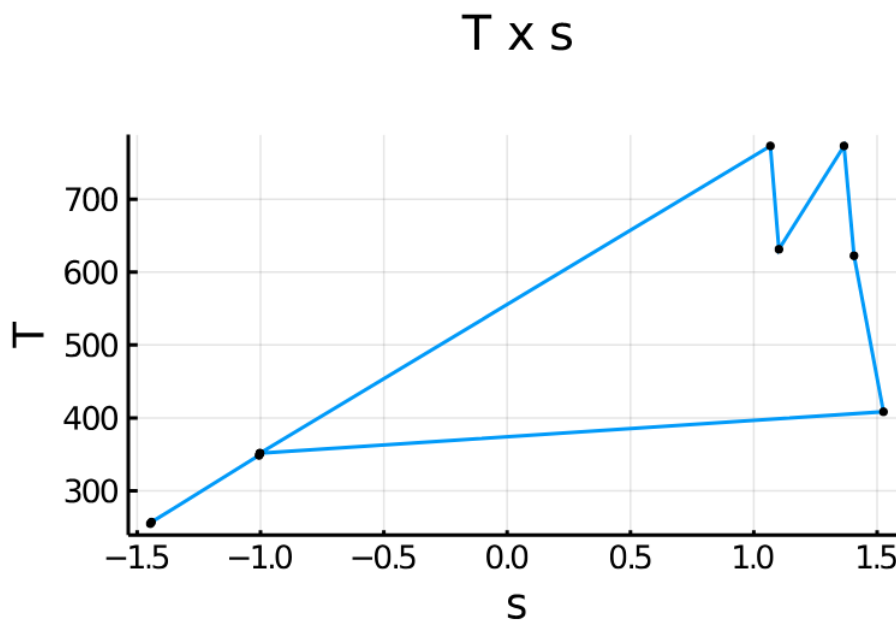
38 St10 = St11 # Estado 10
39 St4 = St11 # Estado 4
40
41 # Balanço de massa
42 y = amt((St10[5] - St2[5])/((St10[5] - St2[5]) +
43 (St8[5] - St3[5])).val
44
45 # Fluxo indo para o AAA
46 m8 = m5*y
47
48 # Potência Líquida
49 qent = amt((St5[5] - St4[5]) + (St7[5] - St6[5]))
50 qsai = amt((St9[5] - St1[5]))*(1 - y)
51 Wliq = m5*(qent - qsai)
52
53 # Eficiência Térmica
54 nt = 1 - (qsai/qent)

```

Fonte: Autoria Própria

Com as comparações já realizadas, observa-se agora um diagrama  $T \times s$  do exercício realizado, apresentado na Figura 5.33.

Figura 5.33 – Diagrama  $T \times s$  do Exercício de Ciclo Rankine

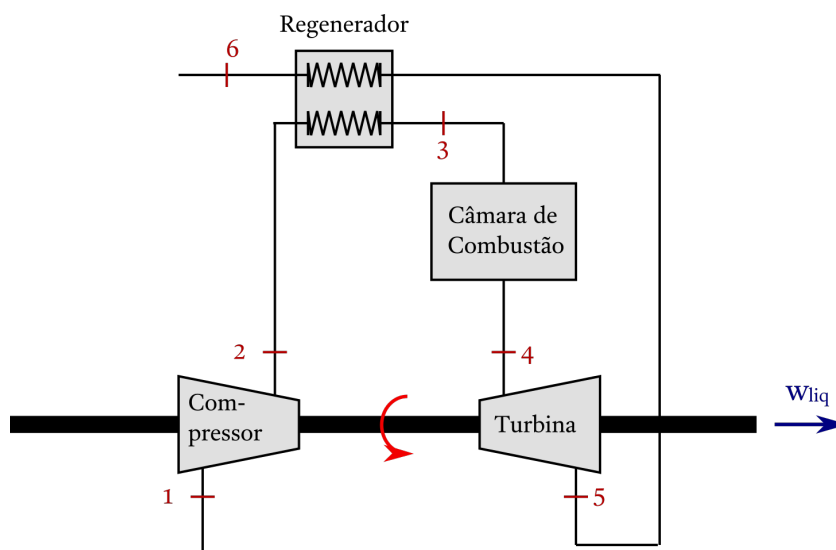


Fonte: Autoria Própria

## 5.2.2 Ciclo Brayton

Exercício adaptado de Çengel (2013): Um ciclo Brayton com regeneração que usa ar como fluido de trabalho tem uma razão de pressão de 7. Na entrada do compressor, o ar possui pressão 100 kPa e temperatura 310 K, já na entrada da turbina, o ar possui pressão 760 kPa e temperatura 1100 K. Considerando uma eficiência isentrópica de 75% para o compressor e de 82% para a turbina, e uma efetividade de 65% para o regenerador, determine (a) a temperatura do ar na saída da turbina, (b) o trabalho líquido produzido e (c) a eficiência térmica. Considere o ar uma substância de van-der-Waals com  $c_v$  constante. O funcionamento do ciclo está ilustrado na Figura 5.34.

**Figura 5.34 – Ciclo Brayton Regenerativo**



Fonte: Autoria Própria

Os valores críticos do ar são:  $P_c = 3770.0 \text{ kPa}$  e  $T_c = 132.5 \text{ K}$ , de acordo com Lide (2005), além disso sabe-se que para o ar  $\phi = 7/2$ . Assim, calcula-se os estados e valores de interesse do exercício manualmente e através da biblioteca e obtém-se a Tabela 5.5, que mostra e compara esses resultados.

**Tabela 5.5 – Resultados do Exercício de Ciclo Brayton**

	Resultados Manuais	Resultados da Biblioteca	Dif. %
$P_1$ [Pa]	100	100	0
$T_1$ [K]	310	310	0
$v_1$ [ $m^3/kg$ ]	0.716467269	0.716467269	0
$u_1$ [kJ/kg]	250.7738508	250.7738508	0
$h_1$ [kJ/kg]	322.4205778	322.4205778	0

Continua na página seguinte

Tabela 5.5 – continuando da página anterior

	Resultados Manuais	Resultados da Biblioteca	Dif. %
$s_1 [kJ/(kg.K)]$	2.204402599	2.204402599	0
$P_2 [Pa]$	700	700	0
$T_2 [K]$	533.899138	533.899138	0
$v_2 [m^3/kg]$	0.176558138	0.176558138	0
$u_2 [kJ/kg]$	431.5540506	431.5540506	0
$h_2 [kJ/kg]$	555.1447474	555.1447474	0
$s_2 [kJ/(kg.K)]$	2.319499235	2.319499235	0
$P_3 [Pa]$	760	760	0
$T_3 [K]$	1100	1100	0
$v_3 [m^3/kg]$	0.335327913	0.335327913	0
$u_3 [kJ/kg]$	890.0497368	890.0497368	0
$h_3 [kJ/kg]$	1144.898951	1144.898951	0
$s_3 [kJ/(kg.K)]$	3.053574709	3.053574709	0
$P_4 [Pa]$	108.5714286	108.5714286	0
$T_4 [K]$	783.2513069	783.2513069	0
$v_4 [m^3/kg]$	1.668804957	1.668804957	0
$u_4 [kJ/kg]$	633.9170779	633.9170779	0
$h_4 [kJ/kg]$	815.101616	815.101616	0
$s_4 [kJ/(kg.K)]$	3.150367141	3.150367141	0
$P_5 [Pa]$	700	700	0
$T_5 [K]$	695.9998112	695.9998112	0
$v_5 [m^3/kg]$	0.230308693	0.230308693	0
$u_5 [kJ/kg]$	562.9006267	562.9006267	0
$h_5 [kJ/kg]$	724.116712	724.116712	0
$s_5 [kJ/(kg.K)]$	2.59588615	2.59588615	0
$P_6 [Pa]$	108.5714286	108.5714286	0
$T_6 [K]$	620.9166897	620.9166897	0
$v_6 [m^3/kg]$	1.322871819	1.322871819	0
$u_6 [kJ/kg]$	502.5035682	502.5035682	0
$h_6 [kJ/kg]$	646.1296514	646.1296514	0
$s_6 [kJ/(kg.K)]$	2.908613798	2.908613798	0
$w_{liq} [W/kg]$	97.0731653	97.0731653	5.12376E-13
$\eta_t$	0.230696917	0.230696917	4.33123E-13

Fonte: Autoria Própria

O Código 5.2 mostra a resolução do exercício com a utilização da biblioteca de propriedades desenvolvida. Observa-se nas linhas 16, 20, 21, 25, 28 e 31 a função `State` sendo utilizada para definir os estados, e nas linhas 18 e 23 a função `IsoProp` sendo utilizada para calcular os processos.

### Código 5.2 – Resolução do exercício de ciclo Brayton

```

1  # Bibliotecas
2  using vdWProp
3  using EngThermBase
4  using Unitful
5
6  # Dados
7  Air = vdWProp.Air # substância
8  hrt(h1,h2s) = h1 - nst*(h1 - h2s) # h real da turbina
9  hrc(h1,h2s) = ((h2s - h1)/nsc) + h1 # h real do compressor
10 rp = 7 # razão de pressão
11 nsc = 0.75 # coeficiente isentrópico do compressor
12 nst = 0.82 # coeficiente isentrópico da turbina
13 er = 0.65 # efetividade do regenerador
14
15 # Estados
16 St1 = State(Air, P(100), T(310)) # Estado 1
17 P2 = rp*St1[1]
18 St2s = IsoProp(Air, P(100), T(310), P2, "s") # Estado 2 iso-s
19 h2 = h(amt(hrc(St1[5], St2s[5,2])).val)
20 St2 = State(Air, P2, h2) # Estado 2
21 St3 = State(Air, P(760), T(1100)) # Estado 3
22 P4 = St3[1]/rp
23 St4s = IsoProp(Air, P(760), T(1100), P4, "s") # Estado 4 iso-s
24 h4 = h(amt(hrt(St3[5], St4s[5,2])).val)
25 St4 = State(Air, P4, h4) # Estado 4
26 P5 = P2
27 h5 = St2[5] + er*(St4[5] - St2[5])
28 St5 = State(Air, P5, h5) # Estado 5
29 P6 = P4
30 h6 = St4[5] - (St5[5] - St2[5])
31 St6 = State(Air, P6, h6) # Estado 6
32
33 # Trabalho Líquido
34 wliq = (St3[5] - St4[5]) - (St2[5] - St1[5])
35
36 # Eficiência Térmica
37 qent = St3[5] - St5[5]
38 nt = wliq/qent

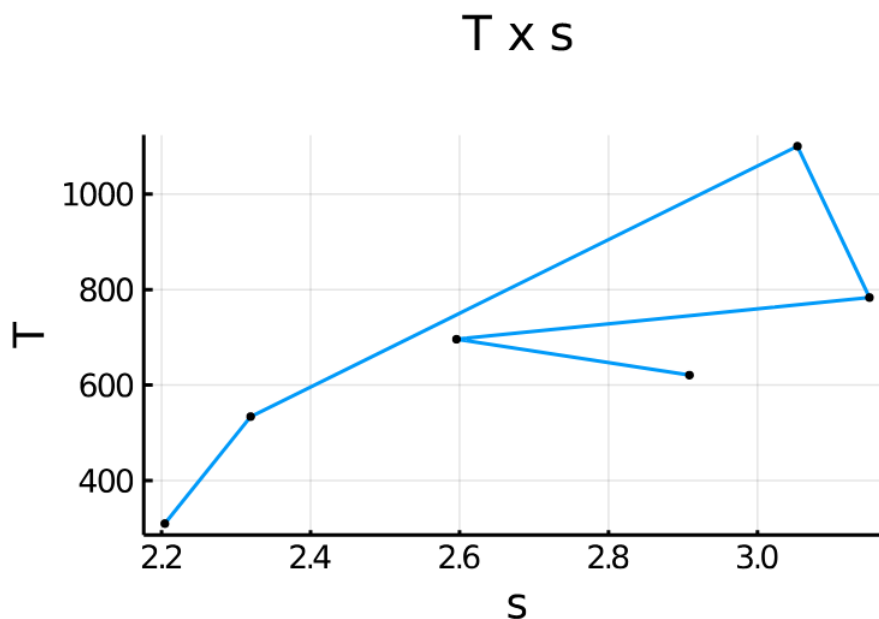
```

**Fonte: Autoria Própria**

Após realizar as comparações, agora observa-se o diagrama  $T \times s$  do exercício de

ciclo Brayton na Figura 5.35.

**Figura 5.35 – Diagrama  $T \times s$  do Exercício de Ciclo Brayton**



Fonte: Autoria Própria

Neste exercício novamente houveram pequenas variações entre os estados calculados com cada método e elas foram ainda menores do que as no exercício de ciclo Rankine, possivelmente por não haverem estados saturados neste exercício, pois provavelmente as diferenças entre os valores das interpolações da tabela de valores saturados e os valores achados pela função da biblioteca adicionam uma diferença considerável a mais. Isso prova que a biblioteca também é funcional neste tipo de exercício.

### 5.2.3 Ciclo Linde-Hampson

Exercício: Considere a existência de um ciclo de Linde-Hampson ideal utilizando gás Hidrogênio onde é retirada uma fração mássica de líquido igual a 0.2, com a entrada de gás no ciclo a 350 kPa e 300 K, com a variação de entalpia do vapor saturado ao passar pelo regenerador igual a 50 kJ/kg, com a temperatura na saída do trocador de calor igual a 15 K, e com o vapor reutilizado e o gás na entrada na mesma pressão. Encontre a que pressão é necessário elevar o gás no processo de compressão em múltiplos estágios para obter esse ciclo e qual o valor da temperatura mais baixa ao longo do ciclo. Para fins de cálculo, considere o gás Hidrogênio uma substância de van-der-Waals com  $c_v$  constante.

Pode-se observar o funcionamento do ciclo através da Figura 3.13, e será utilizada a Tabela 5.3 novamente para os estados saturados.



Os valores críticos do gás hidrogênio são:  $P_c = 1293.0\text{kPa}$  e  $T_c = 32.97\text{K}$ , de acordo com Lide (2005) e além disso sabe-se que para esse gás  $\phi = 5/2$ . Assim calcula-se os estados e valores de interesse do ciclo, que podem ser observados na Tabela 5.6 juntamente com a diferença percentual entre eles.

Tabela 5.6 – Resultados do Exercício de Ciclo Linde-Hampson

	Resultados Manuais	Resultados da Biblioteca	Dif. %
$P_1$ [Pa]	350	350	0
$T_1$ [K]	300	300	0
$v_1$ [ $m^3/kg$ ]	2.897105215	2.897105215	0
$u_1$ [kJ/kg]	2527.637775	2527.637775	0
$h_1$ [kJ/kg]	3541.6246	3541.6246	0
$s_1$ [kJ/(kg.K)]	37.47517138	37.47517138	0
$P_2$ [Pa]	350	350	0
$T_2$ [K]	81.02253572	81.04095294	0.022730993
$v_2$ [ $m^3/kg$ ]	0.776722048	0.776902844	0.023276742
$u_2$ [kJ/kg]	677.8359238	677.9923911	0.023083362
$h_2$ [kJ/kg]	949.6886407	949.9083865	0.023138718
$s_2$ [kJ/(kg.K)]	21.96635155	21.9690634	0.012345464
$P_3$ [Pa]	39922.34765	39943.8923	0.053966373
$T_3$ [K]	81.02253572	81.04095294	0.022730993
$v_3$ [ $m^3/kg$ ]	0.015580461	0.015579553	-0.00582995
$u_3$ [kJ/kg]	424.1899195	424.3300876	0.033043699
$h_3$ [kJ/kg]	1046.198518	1046.638079	0.042015081
$s_3$ [kJ/(kg.K)]	4.884376492	4.88565865	0.026250179
$P_4$ [Pa]	39922.34765	39943.8923	0.053966373
$T_4$ [K]	15	15	0
$v_4$ [ $m^3/kg$ ]	0.011464259	0.011464028	-0.002015535
$u_4$ [kJ/kg]	-225.3215368	-225.3286271	0.003146726
$h_4$ [kJ/kg]	232.3585955	232.5892689	0.099274759
$s_4$ [kJ/(kg.K)]	-15.77148662	-15.77257445	0.006897445
$P_5$ [Pa]	39922.34765	39943.8923	0.053966373
$T_5$ [K]	11.65964486	11.65961524	-0.000254066
$v_5$ [ $m^3/kg$ ]	0.011297631	0.011297456	-0.001544132
$u_5$ [kJ/kg]	-258.6693465	-258.6751083	0.002227463
$h_5$ [kJ/kg]	192.3585955	192.5892689	0.119918445
$s_5$ [kJ/(kg.K)]	-18.78790689	-18.78899853	0.005810328
$P_6$ [Pa]	350	350	0

Continua na página seguinte

Tabela 5.6 – continuando da página anterior

	Resultados Manuais	Resultados da Biblioteca	Dif. %
$T_6$ [K]	24.5101088	24.50872638	-0.0056402
$v_6$ [ $m^3/kg$ ]	0.154843239	0.15498818	0.093605066
$u_6$ [kJ/kg]	138.1823941	138.1920722	0.007003832
$h_6$ [kJ/kg]	192.3585955	192.5892689	0.119918445
$s_6$ [kJ/(kg.K)]	4.561376764	4.563839862	0.053998994
$P_7$ [Pa]	350	350	0
$T_7$ [K]	24.5101088	24.51326195	0.012864701
$v_7$ [ $m^3/kg$ ]	0.015683619	0.01568518	0.009954069
$u_7$ [kJ/kg]	-50.51297514	-50.46080084	-0.103288897
$h_7$ [kJ/kg]	-45.02562624	-44.97098795	-0.121349312
$s_7$ [kJ/(kg.K)]	-5.123779009	-5.121628173	-0.041977524
$P_8$ [Pa]	350	350	0
$T_8$ [K]	24.5101088	24.53003343	0.08129148
$v_8$ [ $m^3/kg$ ]	0.189633144	0.189813929	0.095334274
$u_8$ [kJ/kg]	185.3562364	185.5444579	0.101545805
$h_8$ [kJ/kg]	251.7046509	251.9793331	0.109128783
$s_8$ [kJ/(kg.K)]	6.982665708	6.992922013	0.146882376
$P_9$ [Pa]	350	350	0
$T_9$ [K]	28.09212176	28.11252139	0.072616899
$v_9$ [ $m^3/kg$ ]	0.234518399	0.234761073	0.103477244
$u_9$ [kJ/kg]	219.6232112	219.8129578	0.086396429
$h_9$ [kJ/kg]	301.7046509	301.9793331	0.091043417
$s_9$ [kJ/(kg.K)]	8.887481351	8.897255712	0.109978978

Fonte: Autoria Própria

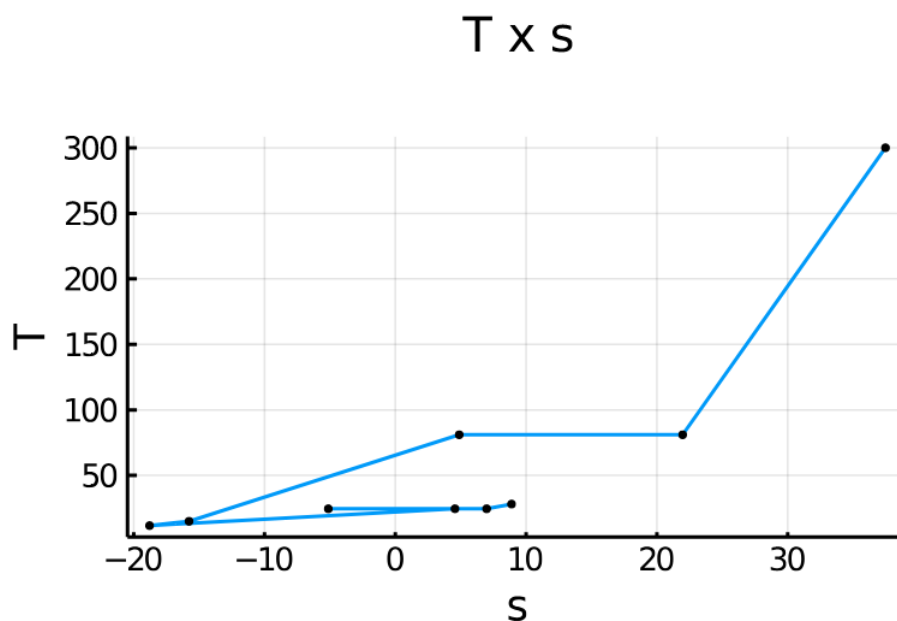
A resolução utilizando a biblioteca de propriedades desenvolvida pode ser observada no Código 5.3. Nas linhas 12, 13, 14, 15, 17, 19, 21, 22 e 23 utiliza-se a função `State` para definição dos estados.

**Código 5.3 – Resolução do Exercício de Ciclo Linde-Hampson**

```
1  # Bibliotecas
2  using vdWProp
3  using EngThermBase
4
5  # Dados
6  H2 = vdWProp.H2 # substância
7  m7 = 0.2 # parcela do fluxo de massa do estado 7
8  m8 = 1 - m7 # parcela do fluxo de massa do estado 8
9  Δh89 = 50 #kJ/kg # variação de h do estado 8 até o 9
10
11 # Estados
12 St1 = State(H2, P(350), T(300)) # Estado 1
13 St8 = State(H2, AMT(1), P(350)) # Estado 8
14 St6 = State(H2, AMT(m8), P(350)) # Estado 6
15 St7 = State(H2, AMT(0), P(350)) # Estado 7
16 h9 = St8[5] + h(Δh89)
17 St9 = State(H2, P(350), h9) # Estado 9
18 h2 = m7*St1[5] + m8*St9[5]
19 St2 = State(H2, h2, P(350)) # Estado 2
20 h4 = St6[5] + h(m8*(Δh89))
21 St4 = State(H2, h4, T(15)) # Estado 4
22 St5 = State(H2, St4[1], St6[5]) # Estado 5
23 St3 = State(H2, St4[1], St2[2]) # Estado 3
```

**Fonte: Autoria Própria**

Novamente foi construído um diagrama  $T \times s$  para o exercício, ele pode ser observado na Figura 5.36.

Figura 5.36 – Diagrama  $T \times s$  do Exercício de Ciclo Linde-Hampson

Fonte: Autoria Própria

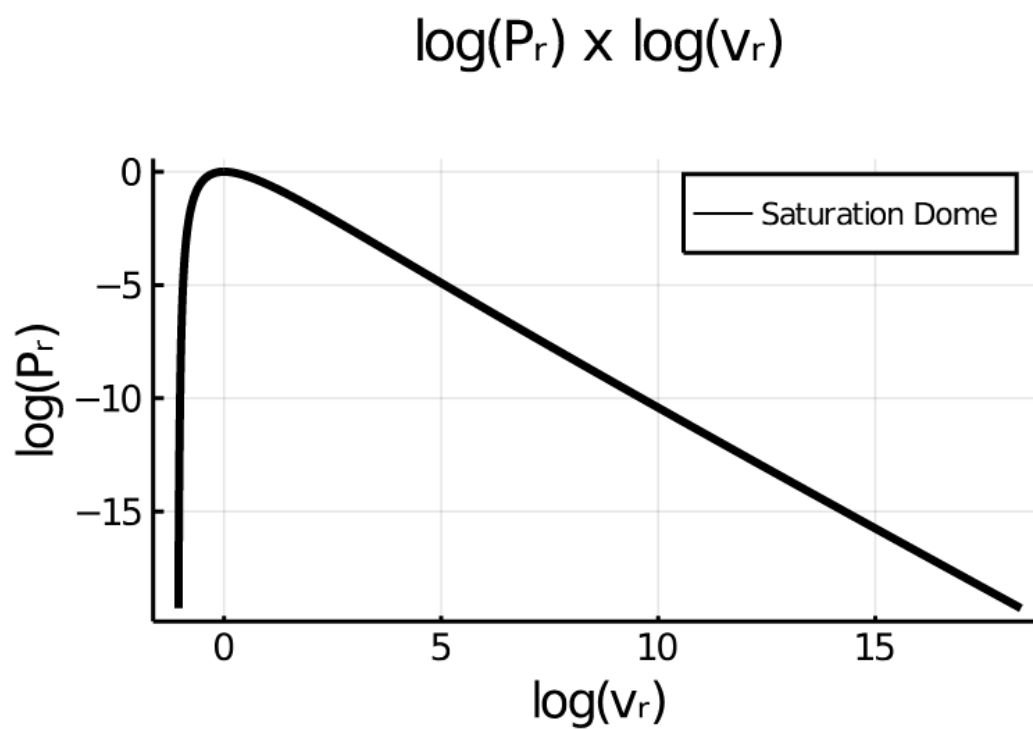
Com isso, está verificada a funcionalidade da biblioteca em todos os tipos de exercícios realizados, o que mostra que além dela ser útil em estimativas em geral com substâncias de van-der-Waals, ela pode ser muito útil e prática para realização de exercícios acadêmicos que utilizam essas substâncias, principalmente quando o cálculo de vários estados está envolvido, como em situações com ciclos termodinâmicos, que foi o caso dos exercícios trabalhados.

### 5.3 Resultados da Função de Plotagem

A função de plotagem apresentou os resultados esperados baseados na metodologia utilizada. Os Códigos 5.4 - 5.9 apresentam esses resultados.

Código 5.4 – Plotagem do Domo de Saturação no diagrama  $\log(P_r) \times \log(v_r)$

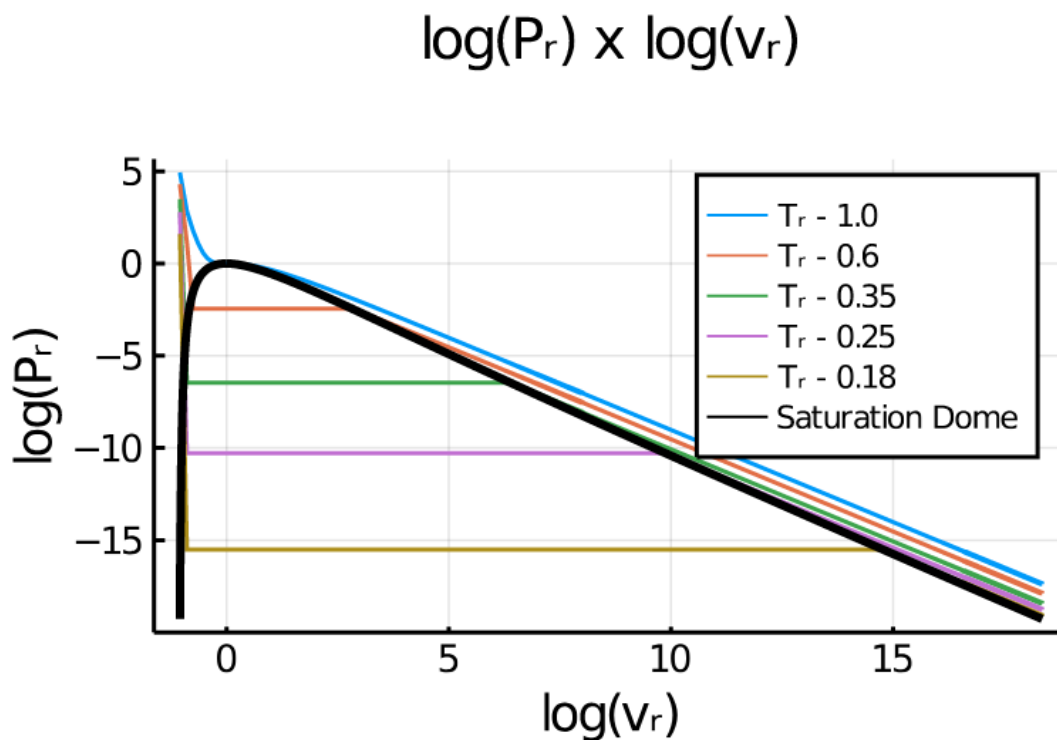
```
PlotDome()
```



Fonte: Autoria Própria

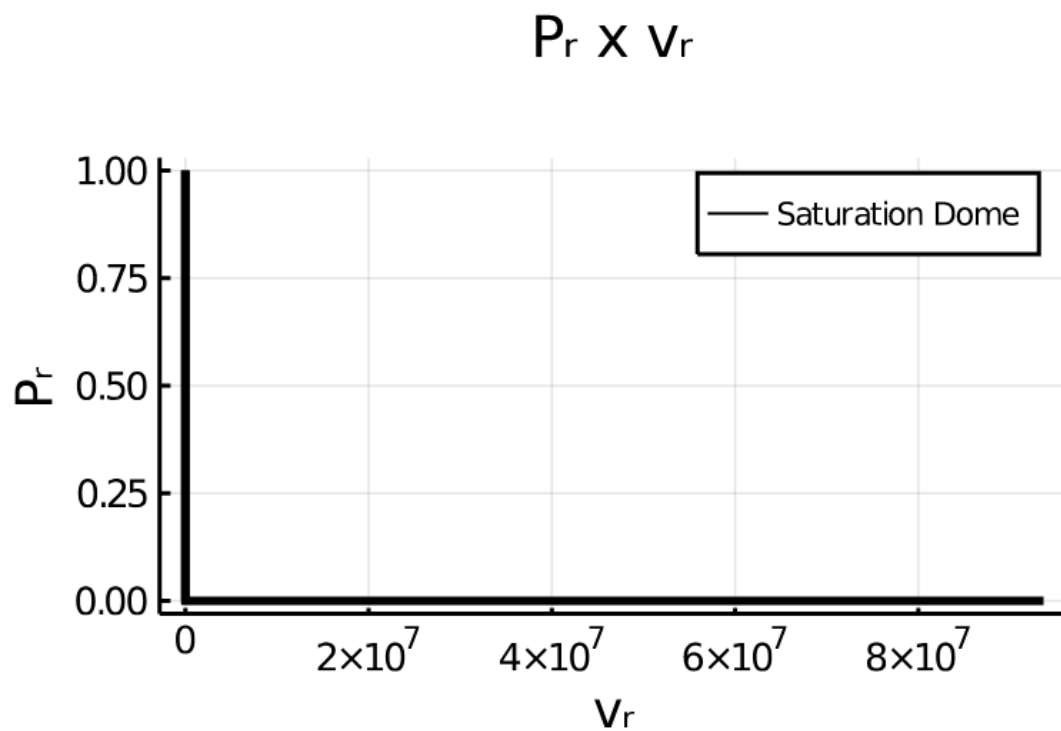
Código 5.5 – Plotagem do Domo de Saturação no diagrama  $\log(P_r) \times \log(v_r)$  com linhas de  $T_r$  constante

```
PlotDome([1, 0.6, 0.35, 0.25, 0.18])
```



Código 5.6 – Plotagem do Domo de Saturação no diagrama  $P_r \times v_r$ 

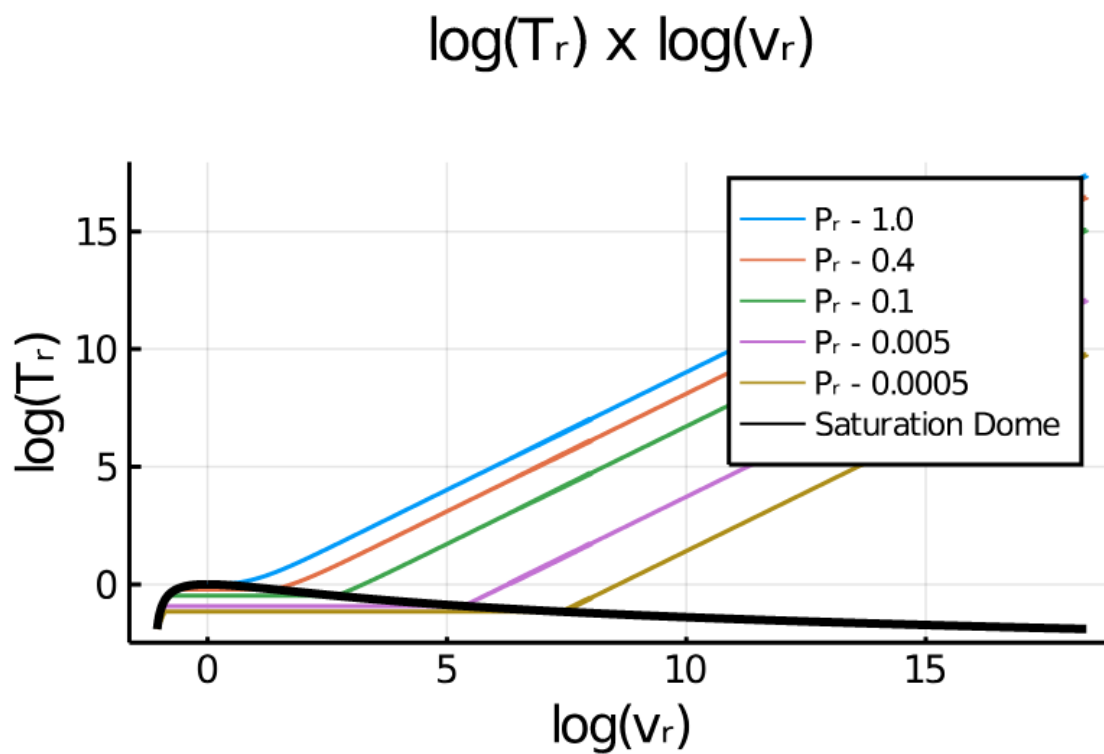
```
PlotDome([], false, 1000, "original")
```



Fonte: Autoria Própria

Código 5.7 – Plotagem do Domo de Saturação no diagrama  $\log(T_r) \times \log(v_r)$  com linhas de  $P_r$  constante

```
PlotDome([1, 0.4, 0.1, 0.005, 0.0005], true)
```

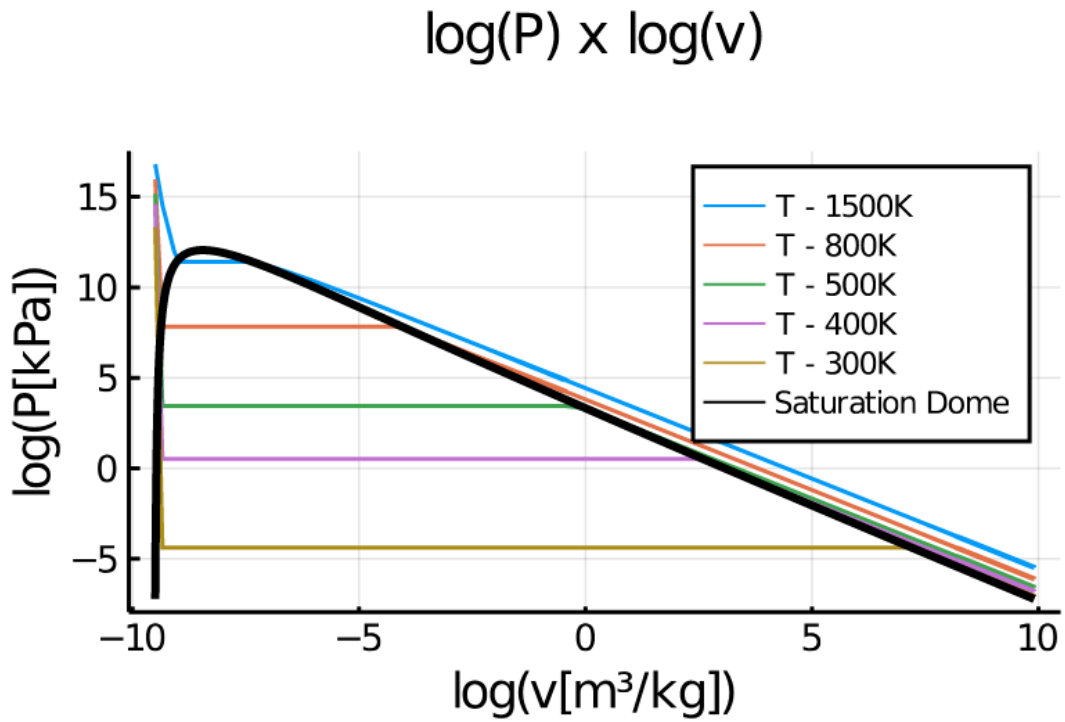


Fonte: Autorial Própria



Código 5.8 – Plotagem do Domo de Saturação do Mercúrio no diagrama  $\log(P) \times \log(v)$  com linhas de  $T$  constante

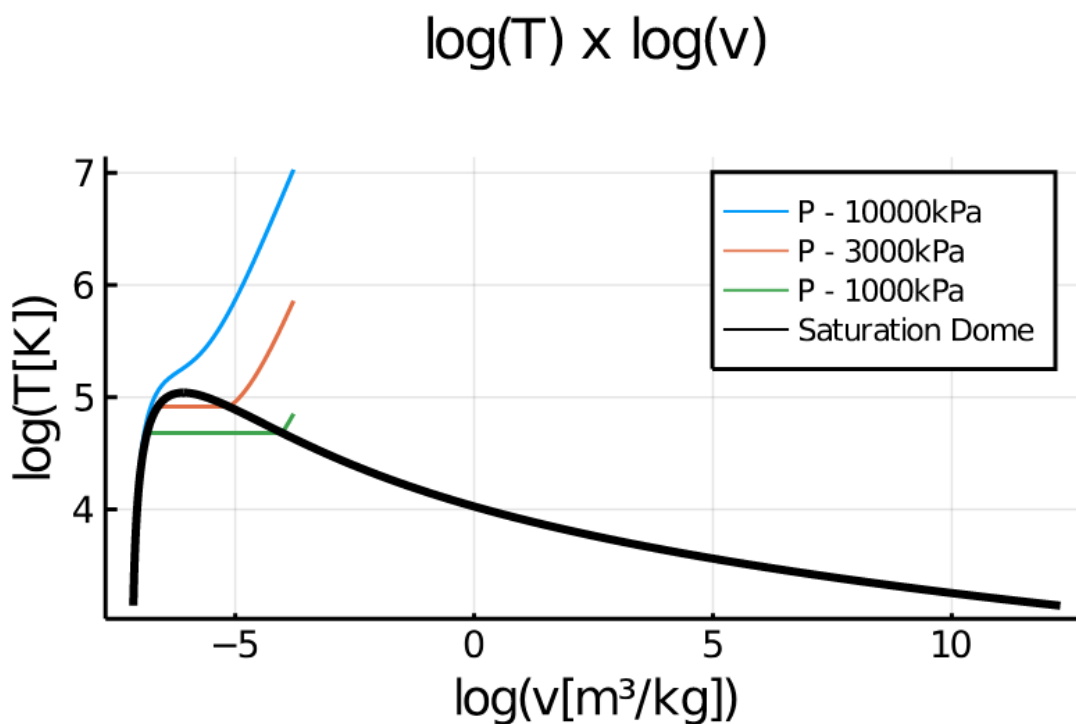
```
PlotDome(vdWProp.Hg, [1500, 800, 500, 400, 300])
```



Fonte: Autoria Própria

**Código 5.9** – Plotagem do Domo de Saturação do Gás Oxigênio no diagrama  $\log(T) \times \log(v)$  com linhas de  $P$  constante e com volume reduzido delas somente até 5

```
PlotDome(vdWProp.O2, [10000, 3000, 1000], true, 10)
```



Fonte: Autoria Própria

## 5.4 Conclusão

Tendo em vista os resultados e as discussões apresentadas, conclui-se que a biblioteca desenvolvida apresenta resultados condizentes com a teoria estudada, e que possui aplicabilidade termodinâmica, principalmente em estudos de propriedades e ciclos. O último objetivo deste trabalho consiste na disponibilização online da biblioteca para uso livre, ela pode ser encontrada em “<https://github.com/GiovanniMS/vdWProp.jl>”. Portanto, todos os objetivos definidos para este trabalho foram alcançados.

## APÊNDICE A - TABELAS

**Tabela A.1 – Variação de  $P$  em Processos Isobáricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $h$**

Processo	$T_1$ [K]	$v_1$ [ $m^3/kg$ ]	$h_2$ [kJ/kg]	$P_2$ [kPa]	$P_2 - P_1$ [kPa]
1	1500.0	0.0002247	-17.656	90037.0	0.0
2	1500.0	0.00022784	-16.407	90037.0	0.0
3	1500.0	0.00023098	-15.159	90037.0	0.0
4	1500.0	0.00023413	-13.91	90037.0	0.0
5	1500.0	0.00023727	-12.662	90037.0	0.0
6	1500.0	0.00024041	-11.414	90037.0	0.0
7	1500.0	0.00024356	-10.165	90037.0	0.0
8	1500.0	0.0002467	-8.9169	90037.0	0.0
9	1500.0	0.00024984	-7.6685	90037.0	0.0
10	1500.0	0.00025299	-6.4201	90037.0	0.0
11	1500.0	0.00025613	-5.1717	90037.0	0.0
12	1500.0	0.00025927	-3.9234	90037.0	0.0
13	1500.0	0.00026242	-2.675	90037.0	0.0
14	1500.0	0.00026556	-1.4266	90037.0	0.0
15	1500.0	0.0002687	-0.1782	90037.0	0.0
16	1500.0	0.00027185	1.0702	90037.0	0.0
17	1500.0	0.00027499	2.3186	90037.0	0.0
18	1500.0	0.00027813	3.567	90037.0	0.0
19	1500.0	0.00028128	4.8153	90037.0	0.0
20	1500.0	0.00028442	6.0637	90037.0	0.0
21	1500.0	0.00028756	7.3121	90037.0	0.0
22	1500.0	0.00029071	8.5605	90037.0	0.0
23	1500.0	0.00029385	9.8089	90037.0	0.0
24	1500.0	0.00029699	11.057	90037.0	0.0
25	1500.0	0.00030014	12.306	90037.0	0.0
26	1500.0	0.00030328	13.554	90037.0	0.0
27	1500.0	0.00030642	14.802	90037.0	0.0
28	1500.0	0.00030957	16.051	90037.0	0.0
29	1500.0	0.00031271	17.299	90037.0	0.0
30	1500.0	0.00031585	18.548	90037.0	0.0
31	1500.0	0.000319	19.796	90037.0	0.0
32	1500.0	0.00032214	21.044	90037.0	0.0
33	1500.0	0.00032528	22.293	90037.0	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.1 – continuando da página anterior

Processo	$T_1$ [K]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$h_2$ [kJ/kg]	$P_2$ [kPa]	$P_2 - P_1$ [kPa]
34	1500.0	0.00032843	23.541	90037.0	0.0
35	1500.0	0.00033157	24.79	90037.0	0.0
36	1500.0	0.00033471	26.038	90037.0	0.0
37	1500.0	0.00033786	27.286	90037.0	0.0
38	1500.0	0.000341	28.535	90037.0	0.0
39	1500.0	0.00034414	29.783	90037.0	0.0
40	1500.0	0.00034729	31.031	90037.0	0.0
41	1500.0	0.00035043	32.28	90037.0	0.0
42	1500.0	0.00035357	33.528	90037.0	0.0
43	1500.0	0.00035672	34.777	90037.0	0.0
44	1500.0	0.00035986	36.025	90037.0	0.0
45	1500.0	0.000363	37.273	90037.0	0.0
46	1500.0	0.00036615	38.522	90037.0	0.0
47	1500.0	0.00036929	39.77	90037.0	0.0
48	1500.0	0.00037243	41.019	90037.0	0.0
49	1500.0	0.00037558	42.267	90037.0	0.0
50	1500.0	0.00037872	43.515	90037.0	0.0
51	1500.0	0.00038186	44.764	90037.0	0.0
52	1500.0	0.00038501	46.012	90037.0	0.0
53	1500.0	0.00038815	47.26	90037.0	0.0
54	1500.0	0.00039129	48.509	90037.0	0.0
55	1500.0	0.00039443	49.757	90037.0	0.0
56	1500.0	0.00039758	51.006	90037.0	0.0
57	1500.0	0.00040072	52.254	90037.0	0.0
58	1500.0	0.00040386	53.502	90037.0	0.0
59	1500.0	0.00040701	54.751	90037.0	0.0
60	1500.0	0.00041015	55.999	90037.0	0.0
61	1500.0	0.00041329	57.248	90037.0	0.0
62	1500.0	0.00041644	58.496	90037.0	0.0
63	1500.0	0.00041958	59.744	90037.0	0.0
64	1500.0	0.00042272	60.993	90037.0	0.0
65	1500.0	0.00042587	62.241	90037.0	0.0
66	1500.0	0.00042901	63.49	90037.0	0.0
67	1500.0	0.00043215	64.738	90037.0	0.0
68	1500.0	0.0004353	65.986	90037.0	0.0
69	1500.0	0.00043844	67.235	90037.0	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.1 – continuando da página anterior

Processo	$T_1$ [K]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$h_2$ [kJ/kg]	$P_2$ [kPa]	$P_2 - P_1$ [kPa]
70	1500.0	0.00044158	68.483	90037.0	0.0
71	1500.0	0.00044473	69.731	90037.0	0.0
72	1500.0	0.00044787	70.98	90037.0	0.0
73	1500.0	0.00045101	72.228	90037.0	0.0
74	1500.0	0.00045416	73.477	90037.0	0.0
75	1500.0	0.0004573	74.725	90037.0	0.0
76	1500.0	0.00046044	75.973	90037.0	0.0
77	1500.0	0.00046359	77.222	90037.0	0.0
78	1500.0	0.00046673	78.47	90037.0	0.0
79	1500.0	0.00046987	79.719	90037.0	0.0
80	1500.0	0.00047302	80.967	90037.0	0.0
81	1500.0	0.00047616	82.215	90037.0	0.0
82	1500.0	0.0004793	83.464	90037.0	0.0
83	1500.0	0.00048245	84.712	90037.0	0.0
84	1500.0	0.00048559	85.96	90037.0	0.0
85	1500.0	0.00048873	87.209	90037.0	0.0
86	1500.0	0.00049188	88.457	90037.0	0.0
87	1500.0	0.00049502	89.706	90037.0	0.0
88	1500.0	0.00049816	90.954	90037.0	0.0
89	1500.0	0.00050131	92.202	90037.0	0.0
90	1500.0	0.00050445	93.451	90037.0	0.0
91	1500.0	0.00050759	94.699	90037.0	0.0
92	1500.0	0.00051074	95.948	90037.0	0.0
93	1500.0	0.00051388	97.196	90037.0	0.0
94	1500.0	0.00051702	98.444	90037.0	0.0
95	1500.0	0.00052017	99.693	90037.0	0.0
96	1500.0	0.00052331	100.94	90037.0	0.0
97	1500.0	0.00052645	102.19	90037.0	0.0
98	1500.0	0.0005296	103.44	90037.0	0.0
99	1500.0	0.00053274	104.69	90037.0	0.0
100	1500.0	0.00053588	105.93	90037.0	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.2 – Variação de  $P$  em Processos Isobáricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $s$ 

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$P_2[kPa]$	$P_2 - P_1[kPa]$
1	1500.0	0.0002247	-0.0062293	90037.0	0.0
2	1500.0	0.00022784	-0.005397	90037.0	0.0
3	1500.0	0.00023098	-0.0045648	90037.0	0.0
4	1500.0	0.00023413	-0.0037325	90037.0	0.0
5	1500.0	0.00023727	-0.0029002	90037.0	0.0
6	1500.0	0.00024041	-0.0020679	90037.0	0.0
7	1500.0	0.00024356	-0.0012357	90037.0	0.0
8	1500.0	0.0002467	-0.0004034	90037.0	0.0
9	1500.0	0.00024984	0.00042887	90037.0	0.0
10	1500.0	0.00025299	0.0012611	90037.0	0.0
11	1500.0	0.00025613	0.0020934	90037.0	0.0
12	1500.0	0.00025927	0.0029257	90037.0	0.0
13	1500.0	0.00026242	0.003758	90037.0	0.0
14	1500.0	0.00026556	0.0045902	90037.0	0.0
15	1500.0	0.0002687	0.0054225	90037.0	0.0
16	1500.0	0.00027185	0.0062548	90037.0	0.0
17	1500.0	0.00027499	0.0070871	90037.0	0.0
18	1500.0	0.00027813	0.0079193	90037.0	0.0
19	1500.0	0.00028128	0.0087516	90037.0	0.0
20	1500.0	0.00028442	0.0095839	90037.0	0.0
21	1500.0	0.00028756	0.010416	90037.0	0.0
22	1500.0	0.00029071	0.011248	90037.0	0.0
23	1500.0	0.00029385	0.012081	90037.0	0.0
24	1500.0	0.00029699	0.012913	90037.0	0.0
25	1500.0	0.00030014	0.013745	90037.0	0.0
26	1500.0	0.00030328	0.014578	90037.0	0.0
27	1500.0	0.00030642	0.01541	90037.0	0.0
28	1500.0	0.00030957	0.016242	90037.0	0.0
29	1500.0	0.00031271	0.017074	90037.0	0.0
30	1500.0	0.00031585	0.017907	90037.0	0.0
31	1500.0	0.000319	0.018739	90037.0	0.0
32	1500.0	0.00032214	0.019571	90037.0	0.0
33	1500.0	0.00032528	0.020403	90037.0	0.0
34	1500.0	0.00032843	0.021236	90037.0	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.2 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$P_2[kPa]$	$P_2 - P_1[kPa]$
35	1500.0	0.00033157	0.022068	90037.0	0.0
36	1500.0	0.00033471	0.0229	90037.0	0.0
37	1500.0	0.00033786	0.023733	90037.0	0.0
38	1500.0	0.000341	0.024565	90037.0	0.0
39	1500.0	0.00034414	0.025397	90037.0	0.0
40	1500.0	0.00034729	0.026229	90037.0	0.0
41	1500.0	0.00035043	0.027062	90037.0	0.0
42	1500.0	0.00035357	0.027894	90037.0	0.0
43	1500.0	0.00035672	0.028726	90037.0	0.0
44	1500.0	0.00035986	0.029558	90037.0	0.0
45	1500.0	0.000363	0.030391	90037.0	0.0
46	1500.0	0.00036615	0.031223	90037.0	0.0
47	1500.0	0.00036929	0.032055	90037.0	0.0
48	1500.0	0.00037243	0.032888	90037.0	0.0
49	1500.0	0.00037558	0.03372	90037.0	0.0
50	1500.0	0.00037872	0.034552	90037.0	0.0
51	1500.0	0.00038186	0.035384	90037.0	0.0
52	1500.0	0.00038501	0.036217	90037.0	0.0
53	1500.0	0.00038815	0.037049	90037.0	0.0
54	1500.0	0.00039129	0.037881	90037.0	0.0
55	1500.0	0.00039443	0.038714	90037.0	0.0
56	1500.0	0.00039758	0.039546	90037.0	0.0
57	1500.0	0.00040072	0.040378	90037.0	0.0
58	1500.0	0.00040386	0.04121	90037.0	0.0
59	1500.0	0.00040701	0.042043	90037.0	0.0
60	1500.0	0.00041015	0.042875	90037.0	0.0
61	1500.0	0.00041329	0.043707	90037.0	0.0
62	1500.0	0.00041644	0.044539	90037.0	0.0
63	1500.0	0.00041958	0.045372	90037.0	0.0
64	1500.0	0.00042272	0.046204	90037.0	0.0
65	1500.0	0.00042587	0.047036	90037.0	0.0
66	1500.0	0.00042901	0.047869	90037.0	0.0
67	1500.0	0.00043215	0.048701	90037.0	0.0
68	1500.0	0.0004353	0.049533	90037.0	0.0
69	1500.0	0.00043844	0.050365	90037.0	0.0
70	1500.0	0.00044158	0.051198	90037.0	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.2 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$P_2[kPa]$	$P_2 - P_1[kPa]$
71	1500.0	0.00044473	0.05203	90037.0	0.0
72	1500.0	0.00044787	0.052862	90037.0	0.0
73	1500.0	0.00045101	0.053694	90037.0	0.0
74	1500.0	0.00045416	0.054527	90037.0	0.0
75	1500.0	0.0004573	0.055359	90037.0	0.0
76	1500.0	0.00046044	0.056191	90037.0	0.0
77	1500.0	0.00046359	0.057024	90037.0	0.0
78	1500.0	0.00046673	0.057856	90037.0	0.0
79	1500.0	0.00046987	0.058688	90037.0	0.0
80	1500.0	0.00047302	0.05952	90037.0	0.0
81	1500.0	0.00047616	0.060353	90037.0	0.0
82	1500.0	0.0004793	0.061185	90037.0	0.0
83	1500.0	0.00048245	0.062017	90037.0	0.0
84	1500.0	0.00048559	0.062849	90037.0	0.0
85	1500.0	0.00048873	0.063682	90037.0	0.0
86	1500.0	0.00049188	0.064514	90037.0	0.0
87	1500.0	0.00049502	0.065346	90037.0	0.0
88	1500.0	0.00049816	0.066179	90037.0	0.0
89	1500.0	0.00050131	0.067011	90037.0	0.0
90	1500.0	0.00050445	0.067843	90037.0	0.0
91	1500.0	0.00050759	0.068675	90037.0	0.0
92	1500.0	0.00051074	0.069508	90037.0	0.0
93	1500.0	0.00051388	0.07034	90037.0	0.0
94	1500.0	0.00051702	0.071172	90037.0	0.0
95	1500.0	0.00052017	0.072004	90037.0	0.0
96	1500.0	0.00052331	0.072837	90037.0	0.0
97	1500.0	0.00052645	0.073669	90037.0	0.0
98	1500.0	0.0005296	0.074501	90037.0	0.0
99	1500.0	0.00053274	0.075334	90037.0	0.0
100	1500.0	0.00053588	0.076166	90037.0	0.0

Fonte: Autoria Própria



Tabela A.3 – Variação de  $P$  em Processos Isobáricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $u$ 

Processo	$T_1$ [K]	$v_1$ [ $m^3/kg$ ]	$u_2$ [kJ/kg]	$P_2$ [kPa]	$P_2 - P_1$ [kPa]
1	1500.0	0.0002247	-38.17	90037.0	0.0
2	1500.0	0.00022784	-37.204	90037.0	0.0
3	1500.0	0.00023098	-36.239	90037.0	0.0
4	1500.0	0.00023413	-35.274	90037.0	0.0
5	1500.0	0.00023727	-34.308	90037.0	0.0
6	1500.0	0.00024041	-33.343	90037.0	0.0
7	1500.0	0.00024356	-32.377	90037.0	0.0
8	1500.0	0.0002467	-31.412	90037.0	0.0
9	1500.0	0.00024984	-30.447	90037.0	0.0
10	1500.0	0.00025299	-29.481	90037.0	0.0
11	1500.0	0.00025613	-28.516	90037.0	0.0
12	1500.0	0.00025927	-27.551	90037.0	0.0
13	1500.0	0.00026242	-26.585	90037.0	0.0
14	1500.0	0.00026556	-25.62	90037.0	0.0
15	1500.0	0.0002687	-24.654	90037.0	0.0
16	1500.0	0.00027185	-23.689	90037.0	0.0
17	1500.0	0.00027499	-22.724	90037.0	0.0
18	1500.0	0.00027813	-21.758	90037.0	0.0
19	1500.0	0.00028128	-20.793	90037.0	0.0
20	1500.0	0.00028442	-19.828	90037.0	0.0
21	1500.0	0.00028756	-18.862	90037.0	0.0
22	1500.0	0.00029071	-17.897	90037.0	0.0
23	1500.0	0.00029385	-16.931	90037.0	0.0
24	1500.0	0.00029699	-15.966	90037.0	0.0
25	1500.0	0.00030014	-15.001	90037.0	0.0
26	1500.0	0.00030328	-14.035	90037.0	0.0
27	1500.0	0.00030642	-13.07	90037.0	0.0
28	1500.0	0.00030957	-12.105	90037.0	0.0
29	1500.0	0.00031271	-11.139	90037.0	0.0
30	1500.0	0.00031585	-10.174	90037.0	0.0
31	1500.0	0.000319	-9.2084	90037.0	0.0
32	1500.0	0.00032214	-8.243	90037.0	0.0
33	1500.0	0.00032528	-7.2777	90037.0	0.0
34	1500.0	0.00032843	-6.3123	90037.0	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.3 – continuando da página anterior

Processo	$T_1$ [K]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$u_2$ [kJ/kg]	$P_2$ [kPa]	$P_2 - P_1$ [kPa]
35	1500.0	0.00033157	-5.3469	90037.0	0.0
36	1500.0	0.00033471	-4.3815	90037.0	0.0
37	1500.0	0.00033786	-3.4161	90037.0	0.0
38	1500.0	0.000341	-2.4508	90037.0	0.0
39	1500.0	0.00034414	-1.4854	90037.0	0.0
40	1500.0	0.00034729	-0.52002	90037.0	0.0
41	1500.0	0.00035043	0.44536	90037.0	0.0
42	1500.0	0.00035357	1.4107	90037.0	0.0
43	1500.0	0.00035672	2.3761	90037.0	0.0
44	1500.0	0.00035986	3.3415	90037.0	0.0
45	1500.0	0.000363	4.3069	90037.0	0.0
46	1500.0	0.00036615	5.2722	90037.0	0.0
47	1500.0	0.00036929	6.2376	90037.0	0.0
48	1500.0	0.00037243	7.203	90037.0	0.0
49	1500.0	0.00037558	8.1684	90037.0	0.0
50	1500.0	0.00037872	9.1338	90037.0	0.0
51	1500.0	0.00038186	10.099	90037.0	0.0
52	1500.0	0.00038501	11.065	90037.0	0.0
53	1500.0	0.00038815	12.03	90037.0	0.0
54	1500.0	0.00039129	12.995	90037.0	0.0
55	1500.0	0.00039443	13.961	90037.0	0.0
56	1500.0	0.00039758	14.926	90037.0	0.0
57	1500.0	0.00040072	15.891	90037.0	0.0
58	1500.0	0.00040386	16.857	90037.0	0.0
59	1500.0	0.00040701	17.822	90037.0	0.0
60	1500.0	0.00041015	18.788	90037.0	0.0
61	1500.0	0.00041329	19.753	90037.0	0.0
62	1500.0	0.00041644	20.718	90037.0	0.0
63	1500.0	0.00041958	21.684	90037.0	0.0
64	1500.0	0.00042272	22.649	90037.0	0.0
65	1500.0	0.00042587	23.614	90037.0	0.0
66	1500.0	0.00042901	24.58	90037.0	0.0
67	1500.0	0.00043215	25.545	90037.0	0.0
68	1500.0	0.0004353	26.511	90037.0	0.0
69	1500.0	0.00043844	27.476	90037.0	0.0
70	1500.0	0.00044158	28.441	90037.0	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.3 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$u_2[kJ/kg]$	$P_2[kPa]$	$P_2 - P_1[kPa]$
71	1500.0	0.00044473	29.407	90037.0	0.0
72	1500.0	0.00044787	30.372	90037.0	0.0
73	1500.0	0.00045101	31.337	90037.0	0.0
74	1500.0	0.00045416	32.303	90037.0	0.0
75	1500.0	0.0004573	33.268	90037.0	0.0
76	1500.0	0.00046044	34.234	90037.0	0.0
77	1500.0	0.00046359	35.199	90037.0	0.0
78	1500.0	0.00046673	36.164	90037.0	0.0
79	1500.0	0.00046987	37.13	90037.0	0.0
80	1500.0	0.00047302	38.095	90037.0	0.0
81	1500.0	0.00047616	39.06	90037.0	0.0
82	1500.0	0.0004793	40.026	90037.0	0.0
83	1500.0	0.00048245	40.991	90037.0	0.0
84	1500.0	0.00048559	41.957	90037.0	0.0
85	1500.0	0.00048873	42.922	90037.0	0.0
86	1500.0	0.00049188	43.887	90037.0	0.0
87	1500.0	0.00049502	44.853	90037.0	0.0
88	1500.0	0.00049816	45.818	90037.0	0.0
89	1500.0	0.00050131	46.783	90037.0	0.0
90	1500.0	0.00050445	47.749	90037.0	0.0
91	1500.0	0.00050759	48.714	90037.0	0.0
92	1500.0	0.00051074	49.68	90037.0	0.0
93	1500.0	0.00051388	50.645	90037.0	0.0
94	1500.0	0.00051702	51.61	90037.0	0.0
95	1500.0	0.00052017	52.576	90037.0	0.0
96	1500.0	0.00052331	53.541	90037.0	0.0
97	1500.0	0.00052645	54.506	90037.0	0.0
98	1500.0	0.0005296	55.472	90037.0	0.0
99	1500.0	0.00053274	56.437	90037.0	0.0
100	1500.0	0.00053588	57.403	90037.0	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.4 – Variação de  $P$  em Processos Isobáricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $v$ 

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2[m^3/kg]$	$P_2[kPa]$	$P_2 - P_1[kPa]$
1	1500.0	0.0002247	0.00022784	90037.0	0.0
2	1500.0	0.00022784	0.00023098	90037.0	0.0
3	1500.0	0.00023098	0.00023413	90037.0	0.0
4	1500.0	0.00023413	0.00023727	90037.0	0.0
5	1500.0	0.00023727	0.00024041	90037.0	0.0
6	1500.0	0.00024041	0.00024356	90037.0	0.0
7	1500.0	0.00024356	0.0002467	90037.0	0.0
8	1500.0	0.0002467	0.00024984	90037.0	0.0
9	1500.0	0.00024984	0.00025299	90037.0	0.0
10	1500.0	0.00025299	0.00025613	90037.0	0.0
11	1500.0	0.00025613	0.00025927	90037.0	0.0
12	1500.0	0.00025927	0.00026242	90037.0	0.0
13	1500.0	0.00026242	0.00026556	90037.0	0.0
14	1500.0	0.00026556	0.0002687	90037.0	0.0
15	1500.0	0.0002687	0.00027185	90037.0	0.0
16	1500.0	0.00027185	0.00027499	90037.0	0.0
17	1500.0	0.00027499	0.00027813	90037.0	0.0
18	1500.0	0.00027813	0.00028128	90037.0	0.0
19	1500.0	0.00028128	0.00028442	90037.0	0.0
20	1500.0	0.00028442	0.00028756	90037.0	0.0
21	1500.0	0.00028756	0.00029071	90037.0	0.0
22	1500.0	0.00029071	0.00029385	90037.0	0.0
23	1500.0	0.00029385	0.00029699	90037.0	0.0
24	1500.0	0.00029699	0.00030014	90037.0	0.0
25	1500.0	0.00030014	0.00030328	90037.0	0.0
26	1500.0	0.00030328	0.00030642	90037.0	0.0
27	1500.0	0.00030642	0.00030957	90037.0	0.0
28	1500.0	0.00030957	0.00031271	90037.0	0.0
29	1500.0	0.00031271	0.00031585	90037.0	0.0
30	1500.0	0.00031585	0.000319	90037.0	0.0
31	1500.0	0.000319	0.00032214	90037.0	0.0
32	1500.0	0.00032214	0.00032528	90037.0	0.0
33	1500.0	0.00032528	0.00032843	90037.0	0.0
34	1500.0	0.00032843	0.00033157	90037.0	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.4 – continuando da página anterior

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$v_2 [m^3/kg]$	$P_2 [kPa]$	$P_2 - P_1 [kPa]$
35	1500.0	0.00033157	0.00033471	90037.0	0.0
36	1500.0	0.00033471	0.00033786	90037.0	0.0
37	1500.0	0.00033786	0.000341	90037.0	0.0
38	1500.0	0.000341	0.00034414	90037.0	0.0
39	1500.0	0.00034414	0.00034729	90037.0	0.0
40	1500.0	0.00034729	0.00035043	90037.0	0.0
41	1500.0	0.00035043	0.00035357	90037.0	0.0
42	1500.0	0.00035357	0.00035672	90037.0	0.0
43	1500.0	0.00035672	0.00035986	90037.0	0.0
44	1500.0	0.00035986	0.000363	90037.0	0.0
45	1500.0	0.000363	0.00036615	90037.0	0.0
46	1500.0	0.00036615	0.00036929	90037.0	0.0
47	1500.0	0.00036929	0.00037243	90037.0	0.0
48	1500.0	0.00037243	0.00037558	90037.0	0.0
49	1500.0	0.00037558	0.00037872	90037.0	0.0
50	1500.0	0.00037872	0.00038186	90037.0	0.0
51	1500.0	0.00038186	0.00038501	90037.0	0.0
52	1500.0	0.00038501	0.00038815	90037.0	0.0
53	1500.0	0.00038815	0.00039129	90037.0	0.0
54	1500.0	0.00039129	0.00039443	90037.0	0.0
55	1500.0	0.00039443	0.00039758	90037.0	0.0
56	1500.0	0.00039758	0.00040072	90037.0	0.0
57	1500.0	0.00040072	0.00040386	90037.0	0.0
58	1500.0	0.00040386	0.00040701	90037.0	0.0
59	1500.0	0.00040701	0.00041015	90037.0	0.0
60	1500.0	0.00041015	0.00041329	90037.0	0.0
61	1500.0	0.00041329	0.00041644	90037.0	0.0
62	1500.0	0.00041644	0.00041958	90037.0	0.0
63	1500.0	0.00041958	0.00042272	90037.0	0.0
64	1500.0	0.00042272	0.00042587	90037.0	0.0
65	1500.0	0.00042587	0.00042901	90037.0	0.0
66	1500.0	0.00042901	0.00043215	90037.0	0.0
67	1500.0	0.00043215	0.0004353	90037.0	0.0
68	1500.0	0.0004353	0.00043844	90037.0	0.0
69	1500.0	0.00043844	0.00044158	90037.0	0.0
70	1500.0	0.00044158	0.00044473	90037.0	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.4 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2[m^3/kg]$	$P_2[kPa]$	$P_2 - P_1[kPa]$
71	1500.0	0.00044473	0.00044787	90037.0	0.0
72	1500.0	0.00044787	0.00045101	90037.0	0.0
73	1500.0	0.00045101	0.00045416	90037.0	0.0
74	1500.0	0.00045416	0.0004573	90037.0	0.0
75	1500.0	0.0004573	0.00046044	90037.0	0.0
76	1500.0	0.00046044	0.00046359	90037.0	0.0
77	1500.0	0.00046359	0.00046673	90037.0	0.0
78	1500.0	0.00046673	0.00046987	90037.0	0.0
79	1500.0	0.00046987	0.00047302	90037.0	0.0
80	1500.0	0.00047302	0.00047616	90037.0	0.0
81	1500.0	0.00047616	0.0004793	90037.0	0.0
82	1500.0	0.0004793	0.00048245	90037.0	0.0
83	1500.0	0.00048245	0.00048559	90037.0	0.0
84	1500.0	0.00048559	0.00048873	90037.0	0.0
85	1500.0	0.00048873	0.00049188	90037.0	0.0
86	1500.0	0.00049188	0.00049502	90037.0	0.0
87	1500.0	0.00049502	0.00049816	90037.0	0.0
88	1500.0	0.00049816	0.00050131	90037.0	0.0
89	1500.0	0.00050131	0.00050445	90037.0	0.0
90	1500.0	0.00050445	0.00050759	90037.0	0.0
91	1500.0	0.00050759	0.00051074	90037.0	0.0
92	1500.0	0.00051074	0.00051388	90037.0	0.0
93	1500.0	0.00051388	0.00051702	90037.0	0.0
94	1500.0	0.00051702	0.00052017	90037.0	0.0
95	1500.0	0.00052017	0.00052331	90037.0	0.0
96	1500.0	0.00052331	0.00052645	90037.0	0.0
97	1500.0	0.00052645	0.0005296	90037.0	0.0
98	1500.0	0.0005296	0.00053274	90037.0	0.0
99	1500.0	0.00053274	0.00053588	90037.0	0.0
100	1500.0	0.00053588	0.00053903	90037.0	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.5 – Variação de  $P$  em Processos Isobáricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $x$ 

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$x_2$	$P_2 [kPa]$	$P_2 - P_1 [kPa]$
1	1500.0	0.0002247	0.206	90037.0	0.0
2	1500.0	0.00022784	0.212	90037.0	0.0
3	1500.0	0.00023098	0.218	90037.0	0.0
4	1500.0	0.00023413	0.224	90037.0	0.0
5	1500.0	0.00023727	0.23	90037.0	0.0
6	1500.0	0.00024041	0.236	90037.0	0.0
7	1500.0	0.00024356	0.242	90037.0	0.0
8	1500.0	0.0002467	0.248	90037.0	0.0
9	1500.0	0.00024984	0.254	90037.0	0.0
10	1500.0	0.00025299	0.26	90037.0	0.0
11	1500.0	0.00025613	0.266	90037.0	0.0
12	1500.0	0.00025927	0.272	90037.0	0.0
13	1500.0	0.00026242	0.278	90037.0	0.0
14	1500.0	0.00026556	0.284	90037.0	0.0
15	1500.0	0.0002687	0.29	90037.0	0.0
16	1500.0	0.00027185	0.296	90037.0	0.0
17	1500.0	0.00027499	0.302	90037.0	0.0
18	1500.0	0.00027813	0.308	90037.0	0.0
19	1500.0	0.00028128	0.314	90037.0	0.0
20	1500.0	0.00028442	0.32	90037.0	0.0
21	1500.0	0.00028756	0.326	90037.0	0.0
22	1500.0	0.00029071	0.332	90037.0	0.0
23	1500.0	0.00029385	0.338	90037.0	0.0
24	1500.0	0.00029699	0.344	90037.0	0.0
25	1500.0	0.00030014	0.35	90037.0	0.0
26	1500.0	0.00030328	0.356	90037.0	0.0
27	1500.0	0.00030642	0.362	90037.0	0.0
28	1500.0	0.00030957	0.368	90037.0	0.0
29	1500.0	0.00031271	0.374	90037.0	0.0
30	1500.0	0.00031585	0.38	90037.0	0.0
31	1500.0	0.000319	0.386	90037.0	0.0
32	1500.0	0.00032214	0.392	90037.0	0.0
33	1500.0	0.00032528	0.398	90037.0	0.0
34	1500.0	0.00032843	0.404	90037.0	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.5 – continuando da página anterior

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$x_2$	$P_2 [kPa]$	$P_2 - P_1 [kPa]$
35	1500.0	0.00033157	0.41	90037.0	0.0
36	1500.0	0.00033471	0.416	90037.0	0.0
37	1500.0	0.00033786	0.422	90037.0	0.0
38	1500.0	0.000341	0.428	90037.0	0.0
39	1500.0	0.00034414	0.434	90037.0	0.0
40	1500.0	0.00034729	0.44	90037.0	0.0
41	1500.0	0.00035043	0.446	90037.0	0.0
42	1500.0	0.00035357	0.452	90037.0	0.0
43	1500.0	0.00035672	0.458	90037.0	0.0
44	1500.0	0.00035986	0.464	90037.0	0.0
45	1500.0	0.000363	0.47	90037.0	0.0
46	1500.0	0.00036615	0.476	90037.0	0.0
47	1500.0	0.00036929	0.482	90037.0	0.0
48	1500.0	0.00037243	0.488	90037.0	0.0
49	1500.0	0.00037558	0.494	90037.0	0.0
50	1500.0	0.00037872	0.5	90037.0	0.0
51	1500.0	0.00038186	0.506	90037.0	0.0
52	1500.0	0.00038501	0.512	90037.0	0.0
53	1500.0	0.00038815	0.518	90037.0	0.0
54	1500.0	0.00039129	0.524	90037.0	0.0
55	1500.0	0.00039443	0.53	90037.0	0.0
56	1500.0	0.00039758	0.536	90037.0	0.0
57	1500.0	0.00040072	0.542	90037.0	0.0
58	1500.0	0.00040386	0.548	90037.0	0.0
59	1500.0	0.00040701	0.554	90037.0	0.0
60	1500.0	0.00041015	0.56	90037.0	0.0
61	1500.0	0.00041329	0.566	90037.0	0.0
62	1500.0	0.00041644	0.572	90037.0	0.0
63	1500.0	0.00041958	0.578	90037.0	0.0
64	1500.0	0.00042272	0.584	90037.0	0.0
65	1500.0	0.00042587	0.59	90037.0	0.0
66	1500.0	0.00042901	0.596	90037.0	0.0
67	1500.0	0.00043215	0.602	90037.0	0.0
68	1500.0	0.0004353	0.608	90037.0	0.0
69	1500.0	0.00043844	0.614	90037.0	0.0
70	1500.0	0.00044158	0.62	90037.0	0.0

Continua na página seguinte



Tabela A.5 – continuando da página anterior

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$x_2$	$P_2 [kPa]$	$P_2 - P_1 [kPa]$
71	1500.0	0.00044473	0.626	90037.0	0.0
72	1500.0	0.00044787	0.632	90037.0	0.0
73	1500.0	0.00045101	0.638	90037.0	0.0
74	1500.0	0.00045416	0.644	90037.0	0.0
75	1500.0	0.0004573	0.65	90037.0	0.0
76	1500.0	0.00046044	0.656	90037.0	0.0
77	1500.0	0.00046359	0.662	90037.0	0.0
78	1500.0	0.00046673	0.668	90037.0	0.0
79	1500.0	0.00046987	0.674	90037.0	0.0
80	1500.0	0.00047302	0.68	90037.0	0.0
81	1500.0	0.00047616	0.686	90037.0	0.0
82	1500.0	0.0004793	0.692	90037.0	0.0
83	1500.0	0.00048245	0.698	90037.0	0.0
84	1500.0	0.00048559	0.704	90037.0	0.0
85	1500.0	0.00048873	0.71	90037.0	0.0
86	1500.0	0.00049188	0.716	90037.0	0.0
87	1500.0	0.00049502	0.722	90037.0	0.0
88	1500.0	0.00049816	0.728	90037.0	0.0
89	1500.0	0.00050131	0.734	90037.0	0.0
90	1500.0	0.00050445	0.74	90037.0	0.0
91	1500.0	0.00050759	0.746	90037.0	0.0
92	1500.0	0.00051074	0.752	90037.0	0.0
93	1500.0	0.00051388	0.758	90037.0	0.0
94	1500.0	0.00051702	0.764	90037.0	0.0
95	1500.0	0.00052017	0.77	90037.0	0.0
96	1500.0	0.00052331	0.776	90037.0	0.0
97	1500.0	0.00052645	0.782	90037.0	0.0
98	1500.0	0.0005296	0.788	90037.0	0.0
99	1500.0	0.00053274	0.794	90037.0	0.0
100	1500.0	0.00053588	0.8	90037.0	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.6 – Variação de  $T$  em Processos Isotérmicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $h$ 

Processo	$P_1$ [kPa]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$h_2$ [kJ/kg]	$T_2$ [K]	$T_2 - T_1$ [K]
1	90000.0	0.0002247	-17.656	1500.0	0.0
2	90037.0	0.00022784	-16.407	1500.0	0.0
3	90037.0	0.00023098	-15.159	1500.0	0.0
4	90037.0	0.00023413	-13.91	1500.0	0.0
5	90037.0	0.00023727	-12.662	1500.0	0.0
6	90037.0	0.00024041	-11.414	1500.0	0.0
7	90037.0	0.00024356	-10.165	1500.0	0.0
8	90037.0	0.0002467	-8.9169	1500.0	0.0
9	90037.0	0.00024984	-7.6685	1500.0	0.0
10	90037.0	0.00025299	-6.4201	1500.0	0.0
11	90037.0	0.00025613	-5.1717	1500.0	0.0
12	90037.0	0.00025927	-3.9234	1500.0	0.0
13	90037.0	0.00026242	-2.675	1500.0	0.0
14	90037.0	0.00026556	-1.4266	1500.0	0.0
15	90037.0	0.0002687	-0.1782	1500.0	0.0
16	90037.0	0.00027185	1.0702	1500.0	0.0
17	90037.0	0.00027499	2.3186	1500.0	0.0
18	90037.0	0.00027813	3.567	1500.0	0.0
19	90037.0	0.00028128	4.8153	1500.0	0.0
20	90037.0	0.00028442	6.0637	1500.0	0.0
21	90037.0	0.00028756	7.3121	1500.0	0.0
22	90037.0	0.00029071	8.5605	1500.0	0.0
23	90037.0	0.00029385	9.8089	1500.0	0.0
24	90037.0	0.00029699	11.057	1500.0	0.0
25	90037.0	0.00030014	12.306	1500.0	0.0
26	90037.0	0.00030328	13.554	1500.0	0.0
27	90037.0	0.00030642	14.802	1500.0	0.0
28	90037.0	0.00030957	16.051	1500.0	0.0
29	90037.0	0.00031271	17.299	1500.0	0.0
30	90037.0	0.00031585	18.548	1500.0	0.0
31	90037.0	0.000319	19.796	1500.0	0.0
32	90037.0	0.00032214	21.044	1500.0	0.0
33	90037.0	0.00032528	22.293	1500.0	0.0
34	90037.0	0.00032843	23.541	1500.0	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.6 – continuando da página anterior

Processo	$P_1 [kPa]$	$v_1 [m^3/kg]$	$h_2 [kJ/kg]$	$T_2 [K]$	$T_2 - T_1 [K]$
35	90037.0	0.00033157	24.79	1500.0	0.0
36	90037.0	0.00033471	26.038	1500.0	0.0
37	90037.0	0.00033786	27.286	1500.0	0.0
38	90037.0	0.000341	28.535	1500.0	0.0
39	90037.0	0.00034414	29.783	1500.0	0.0
40	90037.0	0.00034729	31.031	1500.0	0.0
41	90037.0	0.00035043	32.28	1500.0	0.0
42	90037.0	0.00035357	33.528	1500.0	0.0
43	90037.0	0.00035672	34.777	1500.0	0.0
44	90037.0	0.00035986	36.025	1500.0	0.0
45	90037.0	0.000363	37.273	1500.0	0.0
46	90037.0	0.00036615	38.522	1500.0	0.0
47	90037.0	0.00036929	39.77	1500.0	0.0
48	90037.0	0.00037243	41.019	1500.0	0.0
49	90037.0	0.00037558	42.267	1500.0	0.0
50	90037.0	0.00037872	43.515	1500.0	0.0
51	90037.0	0.00038186	44.764	1500.0	0.0
52	90037.0	0.00038501	46.012	1500.0	0.0
53	90037.0	0.00038815	47.26	1500.0	0.0
54	90037.0	0.00039129	48.509	1500.0	0.0
55	90037.0	0.00039443	49.757	1500.0	0.0
56	90037.0	0.00039758	51.006	1500.0	0.0
57	90037.0	0.00040072	52.254	1500.0	0.0
58	90037.0	0.00040386	53.502	1500.0	0.0
59	90037.0	0.00040701	54.751	1500.0	0.0
60	90037.0	0.00041015	55.999	1500.0	0.0
61	90037.0	0.00041329	57.248	1500.0	0.0
62	90037.0	0.00041644	58.496	1500.0	0.0
63	90037.0	0.00041958	59.744	1500.0	0.0
64	90037.0	0.00042272	60.993	1500.0	0.0
65	90037.0	0.00042587	62.241	1500.0	0.0
66	90037.0	0.00042901	63.49	1500.0	0.0
67	90037.0	0.00043215	64.738	1500.0	0.0
68	90037.0	0.0004353	65.986	1500.0	0.0
69	90037.0	0.00043844	67.235	1500.0	0.0
70	90037.0	0.00044158	68.483	1500.0	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.6 – continuando da página anterior

Processo	$P_1 [kPa]$	$v_1 [m^3/kg]$	$h_2 [kJ/kg]$	$T_2 [K]$	$T_2 - T_1 [K]$
71	90037.0	0.00044473	69.731	1500.0	0.0
72	90037.0	0.00044787	70.98	1500.0	0.0
73	90037.0	0.00045101	72.228	1500.0	0.0
74	90037.0	0.00045416	73.477	1500.0	0.0
75	90037.0	0.0004573	74.725	1500.0	0.0
76	90037.0	0.00046044	75.973	1500.0	0.0
77	90037.0	0.00046359	77.222	1500.0	0.0
78	90037.0	0.00046673	78.47	1500.0	0.0
79	90037.0	0.00046987	79.719	1500.0	0.0
80	90037.0	0.00047302	80.967	1500.0	0.0
81	90037.0	0.00047616	82.215	1500.0	0.0
82	90037.0	0.0004793	83.464	1500.0	0.0
83	90037.0	0.00048245	84.712	1500.0	0.0
84	90037.0	0.00048559	85.96	1500.0	0.0
85	90037.0	0.00048873	87.209	1500.0	0.0
86	90037.0	0.00049188	88.457	1500.0	0.0
87	90037.0	0.00049502	89.706	1500.0	0.0
88	90037.0	0.00049816	90.954	1500.0	0.0
89	90037.0	0.00050131	92.202	1500.0	0.0
90	90037.0	0.00050445	93.451	1500.0	0.0
91	90037.0	0.00050759	94.699	1500.0	0.0
92	90037.0	0.00051074	95.948	1500.0	0.0
93	90037.0	0.00051388	97.196	1500.0	0.0
94	90037.0	0.00051702	98.444	1500.0	0.0
95	90037.0	0.00052017	99.693	1500.0	0.0
96	90037.0	0.00052331	100.94	1500.0	0.0
97	90037.0	0.00052645	102.19	1500.0	0.0
98	90037.0	0.0005296	103.44	1500.0	0.0
99	90037.0	0.00053274	104.69	1500.0	0.0
100	90037.0	0.00053588	105.93	1500.0	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.7 – Variação de  $T$  em Processos Isotérmicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $s$ 

Processo	$P_1$ [kPa]	$v_1$ [ $m^3/kg$ ]	$s_2$ [kJ/(kg.K)]	$T_2$ [K]	$T_2 - T_1$ [K]
1	90000.0	0.0002247	-0.0062293	1500.0	0.0
2	90037.0	0.00022784	-0.005397	1500.0	0.0
3	90037.0	0.00023098	-0.0045648	1500.0	0.0
4	90037.0	0.00023413	-0.0037325	1500.0	0.0
5	90037.0	0.00023727	-0.0029002	1500.0	0.0
6	90037.0	0.00024041	-0.0020679	1500.0	0.0
7	90037.0	0.00024356	-0.0012357	1500.0	0.0
8	90037.0	0.0002467	-0.0004034	1500.0	0.0
9	90037.0	0.00024984	0.00042887	1500.0	0.0
10	90037.0	0.00025299	0.0012611	1500.0	0.0
11	90037.0	0.00025613	0.0020934	1500.0	0.0
12	90037.0	0.00025927	0.0029257	1500.0	0.0
13	90037.0	0.00026242	0.003758	1500.0	0.0
14	90037.0	0.00026556	0.0045902	1500.0	0.0
15	90037.0	0.0002687	0.0054225	1500.0	0.0
16	90037.0	0.00027185	0.0062548	1500.0	0.0
17	90037.0	0.00027499	0.0070871	1500.0	0.0
18	90037.0	0.00027813	0.0079193	1500.0	0.0
19	90037.0	0.00028128	0.0087516	1500.0	0.0
20	90037.0	0.00028442	0.0095839	1500.0	0.0
21	90037.0	0.00028756	0.010416	1500.0	0.0
22	90037.0	0.00029071	0.011248	1500.0	0.0
23	90037.0	0.00029385	0.012081	1500.0	0.0
24	90037.0	0.00029699	0.012913	1500.0	0.0
25	90037.0	0.00030014	0.013745	1500.0	0.0
26	90037.0	0.00030328	0.014578	1500.0	0.0
27	90037.0	0.00030642	0.01541	1500.0	0.0
28	90037.0	0.00030957	0.016242	1500.0	0.0
29	90037.0	0.00031271	0.017074	1500.0	0.0
30	90037.0	0.00031585	0.017907	1500.0	0.0
31	90037.0	0.000319	0.018739	1500.0	0.0
32	90037.0	0.00032214	0.019571	1500.0	0.0
33	90037.0	0.00032528	0.020403	1500.0	0.0
34	90037.0	0.00032843	0.021236	1500.0	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.7 – continuando da página anterior

Processo	$P_1$ [kPa]	$v_1$ [ $m^3/kg$ ]	$s_2$ [kJ/(kg.K)]	$T_2$ [K]	$T_2 - T_1$ [K]
35	90037.0	0.00033157	0.022068	1500.0	0.0
36	90037.0	0.00033471	0.0229	1500.0	0.0
37	90037.0	0.00033786	0.023733	1500.0	0.0
38	90037.0	0.000341	0.024565	1500.0	0.0
39	90037.0	0.00034414	0.025397	1500.0	0.0
40	90037.0	0.00034729	0.026229	1500.0	0.0
41	90037.0	0.00035043	0.027062	1500.0	0.0
42	90037.0	0.00035357	0.027894	1500.0	0.0
43	90037.0	0.00035672	0.028726	1500.0	0.0
44	90037.0	0.00035986	0.029558	1500.0	0.0
45	90037.0	0.000363	0.030391	1500.0	0.0
46	90037.0	0.00036615	0.031223	1500.0	0.0
47	90037.0	0.00036929	0.032055	1500.0	0.0
48	90037.0	0.00037243	0.032888	1500.0	0.0
49	90037.0	0.00037558	0.03372	1500.0	0.0
50	90037.0	0.00037872	0.034552	1500.0	0.0
51	90037.0	0.00038186	0.035384	1500.0	0.0
52	90037.0	0.00038501	0.036217	1500.0	0.0
53	90037.0	0.00038815	0.037049	1500.0	0.0
54	90037.0	0.00039129	0.037881	1500.0	0.0
55	90037.0	0.00039443	0.038714	1500.0	0.0
56	90037.0	0.00039758	0.039546	1500.0	0.0
57	90037.0	0.00040072	0.040378	1500.0	0.0
58	90037.0	0.00040386	0.04121	1500.0	0.0
59	90037.0	0.00040701	0.042043	1500.0	0.0
60	90037.0	0.00041015	0.042875	1500.0	0.0
61	90037.0	0.00041329	0.043707	1500.0	0.0
62	90037.0	0.00041644	0.044539	1500.0	0.0
63	90037.0	0.00041958	0.045372	1500.0	0.0
64	90037.0	0.00042272	0.046204	1500.0	0.0
65	90037.0	0.00042587	0.047036	1500.0	0.0
66	90037.0	0.00042901	0.047869	1500.0	0.0
67	90037.0	0.00043215	0.048701	1500.0	0.0
68	90037.0	0.0004353	0.049533	1500.0	0.0
69	90037.0	0.00043844	0.050365	1500.0	0.0
70	90037.0	0.00044158	0.051198	1500.0	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.7 – continuando da página anterior

Processo	$P_1[kPa]$	$v_1[m^3/kg]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$T_2[K]$	$T_2 - T_1[K]$
71	90037.0	0.00044473	0.05203	1500.0	0.0
72	90037.0	0.00044787	0.052862	1500.0	0.0
73	90037.0	0.00045101	0.053694	1500.0	0.0
74	90037.0	0.00045416	0.054527	1500.0	0.0
75	90037.0	0.0004573	0.055359	1500.0	0.0
76	90037.0	0.00046044	0.056191	1500.0	0.0
77	90037.0	0.00046359	0.057024	1500.0	0.0
78	90037.0	0.00046673	0.057856	1500.0	0.0
79	90037.0	0.00046987	0.058688	1500.0	0.0
80	90037.0	0.00047302	0.05952	1500.0	0.0
81	90037.0	0.00047616	0.060353	1500.0	0.0
82	90037.0	0.0004793	0.061185	1500.0	0.0
83	90037.0	0.00048245	0.062017	1500.0	0.0
84	90037.0	0.00048559	0.062849	1500.0	0.0
85	90037.0	0.00048873	0.063682	1500.0	0.0
86	90037.0	0.00049188	0.064514	1500.0	0.0
87	90037.0	0.00049502	0.065346	1500.0	0.0
88	90037.0	0.00049816	0.066179	1500.0	0.0
89	90037.0	0.00050131	0.067011	1500.0	0.0
90	90037.0	0.00050445	0.067843	1500.0	0.0
91	90037.0	0.00050759	0.068675	1500.0	0.0
92	90037.0	0.00051074	0.069508	1500.0	0.0
93	90037.0	0.00051388	0.07034	1500.0	0.0
94	90037.0	0.00051702	0.071172	1500.0	0.0
95	90037.0	0.00052017	0.072004	1500.0	0.0
96	90037.0	0.00052331	0.072837	1500.0	0.0
97	90037.0	0.00052645	0.073669	1500.0	0.0
98	90037.0	0.0005296	0.074501	1500.0	0.0
99	90037.0	0.00053274	0.075334	1500.0	0.0
100	90037.0	0.00053588	0.076166	1500.0	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.8 – Variação de  $T$  em Processos Isotérmicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $u$ 

Processo	$P_1$ [kPa]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$u_2$ [kJ/kg]	$T_2$ [K]	$T_2 - T_1$ [K]
1	90000.0	0.0002247	-38.17	1500.0	0.0
2	90037.0	0.00022784	-37.204	1500.0	0.0
3	90037.0	0.00023098	-36.239	1500.0	0.0
4	90037.0	0.00023413	-35.274	1500.0	0.0
5	90037.0	0.00023727	-34.308	1500.0	0.0
6	90037.0	0.00024041	-33.343	1500.0	0.0
7	90037.0	0.00024356	-32.377	1500.0	0.0
8	90037.0	0.0002467	-31.412	1500.0	0.0
9	90037.0	0.00024984	-30.447	1500.0	0.0
10	90037.0	0.00025299	-29.481	1500.0	0.0
11	90037.0	0.00025613	-28.516	1500.0	0.0
12	90037.0	0.00025927	-27.551	1500.0	0.0
13	90037.0	0.00026242	-26.585	1500.0	0.0
14	90037.0	0.00026556	-25.62	1500.0	0.0
15	90037.0	0.0002687	-24.654	1500.0	0.0
16	90037.0	0.00027185	-23.689	1500.0	0.0
17	90037.0	0.00027499	-22.724	1500.0	0.0
18	90037.0	0.00027813	-21.758	1500.0	0.0
19	90037.0	0.00028128	-20.793	1500.0	0.0
20	90037.0	0.00028442	-19.828	1500.0	0.0
21	90037.0	0.00028756	-18.862	1500.0	0.0
22	90037.0	0.00029071	-17.897	1500.0	0.0
23	90037.0	0.00029385	-16.931	1500.0	0.0
24	90037.0	0.00029699	-15.966	1500.0	0.0
25	90037.0	0.00030014	-15.001	1500.0	0.0
26	90037.0	0.00030328	-14.035	1500.0	0.0
27	90037.0	0.00030642	-13.07	1500.0	0.0
28	90037.0	0.00030957	-12.105	1500.0	0.0
29	90037.0	0.00031271	-11.139	1500.0	0.0
30	90037.0	0.00031585	-10.174	1500.0	0.0
31	90037.0	0.000319	-9.2084	1500.0	0.0
32	90037.0	0.00032214	-8.243	1500.0	0.0
33	90037.0	0.00032528	-7.2777	1500.0	0.0
34	90037.0	0.00032843	-6.3123	1500.0	0.0

Continua na página seguinte



Tabela A.8 – continuando da página anterior

Processo	$P_1 [kPa]$	$v_1 [m^3/kg]$	$u_2 [kJ/kg]$	$T_2 [K]$	$T_2 - T_1 [K]$
35	90037.0	0.00033157	-5.3469	1500.0	0.0
36	90037.0	0.00033471	-4.3815	1500.0	0.0
37	90037.0	0.00033786	-3.4161	1500.0	0.0
38	90037.0	0.000341	-2.4508	1500.0	0.0
39	90037.0	0.00034414	-1.4854	1500.0	0.0
40	90037.0	0.00034729	-0.52002	1500.0	0.0
41	90037.0	0.00035043	0.44536	1500.0	0.0
42	90037.0	0.00035357	1.4107	1500.0	0.0
43	90037.0	0.00035672	2.3761	1500.0	0.0
44	90037.0	0.00035986	3.3415	1500.0	0.0
45	90037.0	0.000363	4.3069	1500.0	0.0
46	90037.0	0.00036615	5.2722	1500.0	0.0
47	90037.0	0.00036929	6.2376	1500.0	0.0
48	90037.0	0.00037243	7.203	1500.0	0.0
49	90037.0	0.00037558	8.1684	1500.0	0.0
50	90037.0	0.00037872	9.1338	1500.0	0.0
51	90037.0	0.00038186	10.099	1500.0	0.0
52	90037.0	0.00038501	11.065	1500.0	0.0
53	90037.0	0.00038815	12.03	1500.0	0.0
54	90037.0	0.00039129	12.995	1500.0	0.0
55	90037.0	0.00039443	13.961	1500.0	0.0
56	90037.0	0.00039758	14.926	1500.0	0.0
57	90037.0	0.00040072	15.891	1500.0	0.0
58	90037.0	0.00040386	16.857	1500.0	0.0
59	90037.0	0.00040701	17.822	1500.0	0.0
60	90037.0	0.00041015	18.788	1500.0	0.0
61	90037.0	0.00041329	19.753	1500.0	0.0
62	90037.0	0.00041644	20.718	1500.0	0.0
63	90037.0	0.00041958	21.684	1500.0	0.0
64	90037.0	0.00042272	22.649	1500.0	0.0
65	90037.0	0.00042587	23.614	1500.0	0.0
66	90037.0	0.00042901	24.58	1500.0	0.0
67	90037.0	0.00043215	25.545	1500.0	0.0
68	90037.0	0.0004353	26.511	1500.0	0.0
69	90037.0	0.00043844	27.476	1500.0	0.0
70	90037.0	0.00044158	28.441	1500.0	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.8 – continuando da página anterior

Processo	$P_1 [kPa]$	$v_1 [m^3/kg]$	$u_2 [kJ/kg]$	$T_2 [K]$	$T_2 - T_1 [K]$
71	90037.0	0.00044473	29.407	1500.0	0.0
72	90037.0	0.00044787	30.372	1500.0	0.0
73	90037.0	0.00045101	31.337	1500.0	0.0
74	90037.0	0.00045416	32.303	1500.0	0.0
75	90037.0	0.0004573	33.268	1500.0	0.0
76	90037.0	0.00046044	34.234	1500.0	0.0
77	90037.0	0.00046359	35.199	1500.0	0.0
78	90037.0	0.00046673	36.164	1500.0	0.0
79	90037.0	0.00046987	37.13	1500.0	0.0
80	90037.0	0.00047302	38.095	1500.0	0.0
81	90037.0	0.00047616	39.06	1500.0	0.0
82	90037.0	0.0004793	40.026	1500.0	0.0
83	90037.0	0.00048245	40.991	1500.0	0.0
84	90037.0	0.00048559	41.957	1500.0	0.0
85	90037.0	0.00048873	42.922	1500.0	0.0
86	90037.0	0.00049188	43.887	1500.0	0.0
87	90037.0	0.00049502	44.853	1500.0	0.0
88	90037.0	0.00049816	45.818	1500.0	0.0
89	90037.0	0.00050131	46.783	1500.0	0.0
90	90037.0	0.00050445	47.749	1500.0	0.0
91	90037.0	0.00050759	48.714	1500.0	0.0
92	90037.0	0.00051074	49.68	1500.0	0.0
93	90037.0	0.00051388	50.645	1500.0	0.0
94	90037.0	0.00051702	51.61	1500.0	0.0
95	90037.0	0.00052017	52.576	1500.0	0.0
96	90037.0	0.00052331	53.541	1500.0	0.0
97	90037.0	0.00052645	54.506	1500.0	0.0
98	90037.0	0.0005296	55.472	1500.0	0.0
99	90037.0	0.00053274	56.437	1500.0	0.0
100	90037.0	0.00053588	57.403	1500.0	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.9 – Variação de  $T$  em Processos Isotérmicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $v$ 

Processo	$P_1[kPa]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2[m^3/kg]$	$T_2[K]$	$T_2 - T_1[K]$
1	90000.0	0.0002247	0.00022784	1500.0	0.0
2	90037.0	0.00022784	0.00023098	1500.0	0.0
3	90037.0	0.00023098	0.00023413	1500.0	0.0
4	90037.0	0.00023413	0.00023727	1500.0	0.0
5	90037.0	0.00023727	0.00024041	1500.0	0.0
6	90037.0	0.00024041	0.00024356	1500.0	0.0
7	90037.0	0.00024356	0.0002467	1500.0	0.0
8	90037.0	0.0002467	0.00024984	1500.0	0.0
9	90037.0	0.00024984	0.00025299	1500.0	0.0
10	90037.0	0.00025299	0.00025613	1500.0	0.0
11	90037.0	0.00025613	0.00025927	1500.0	0.0
12	90037.0	0.00025927	0.00026242	1500.0	0.0
13	90037.0	0.00026242	0.00026556	1500.0	0.0
14	90037.0	0.00026556	0.0002687	1500.0	0.0
15	90037.0	0.0002687	0.00027185	1500.0	0.0
16	90037.0	0.00027185	0.00027499	1500.0	0.0
17	90037.0	0.00027499	0.00027813	1500.0	0.0
18	90037.0	0.00027813	0.00028128	1500.0	0.0
19	90037.0	0.00028128	0.00028442	1500.0	0.0
20	90037.0	0.00028442	0.00028756	1500.0	0.0
21	90037.0	0.00028756	0.00029071	1500.0	0.0
22	90037.0	0.00029071	0.00029385	1500.0	0.0
23	90037.0	0.00029385	0.00029699	1500.0	0.0
24	90037.0	0.00029699	0.00030014	1500.0	0.0
25	90037.0	0.00030014	0.00030328	1500.0	0.0
26	90037.0	0.00030328	0.00030642	1500.0	0.0
27	90037.0	0.00030642	0.00030957	1500.0	0.0
28	90037.0	0.00030957	0.00031271	1500.0	0.0
29	90037.0	0.00031271	0.00031585	1500.0	0.0
30	90037.0	0.00031585	0.000319	1500.0	0.0
31	90037.0	0.000319	0.00032214	1500.0	0.0
32	90037.0	0.00032214	0.00032528	1500.0	0.0
33	90037.0	0.00032528	0.00032843	1500.0	0.0
34	90037.0	0.00032843	0.00033157	1500.0	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.9 – continuando da página anterior

Processo	$P_1 [kPa]$	$v_1 [m^3/kg]$	$v_2 [m^3/kg]$	$T_2 [K]$	$T_2 - T_1 [K]$
35	90037.0	0.00033157	0.00033471	1500.0	0.0
36	90037.0	0.00033471	0.00033786	1500.0	0.0
37	90037.0	0.00033786	0.000341	1500.0	0.0
38	90037.0	0.000341	0.00034414	1500.0	0.0
39	90037.0	0.00034414	0.00034729	1500.0	0.0
40	90037.0	0.00034729	0.00035043	1500.0	0.0
41	90037.0	0.00035043	0.00035357	1500.0	0.0
42	90037.0	0.00035357	0.00035672	1500.0	0.0
43	90037.0	0.00035672	0.00035986	1500.0	0.0
44	90037.0	0.00035986	0.000363	1500.0	0.0
45	90037.0	0.000363	0.00036615	1500.0	0.0
46	90037.0	0.00036615	0.00036929	1500.0	0.0
47	90037.0	0.00036929	0.00037243	1500.0	0.0
48	90037.0	0.00037243	0.00037558	1500.0	0.0
49	90037.0	0.00037558	0.00037872	1500.0	0.0
50	90037.0	0.00037872	0.00038186	1500.0	0.0
51	90037.0	0.00038186	0.00038501	1500.0	0.0
52	90037.0	0.00038501	0.00038815	1500.0	0.0
53	90037.0	0.00038815	0.00039129	1500.0	0.0
54	90037.0	0.00039129	0.00039443	1500.0	0.0
55	90037.0	0.00039443	0.00039758	1500.0	0.0
56	90037.0	0.00039758	0.00040072	1500.0	0.0
57	90037.0	0.00040072	0.00040386	1500.0	0.0
58	90037.0	0.00040386	0.00040701	1500.0	0.0
59	90037.0	0.00040701	0.00041015	1500.0	0.0
60	90037.0	0.00041015	0.00041329	1500.0	0.0
61	90037.0	0.00041329	0.00041644	1500.0	0.0
62	90037.0	0.00041644	0.00041958	1500.0	0.0
63	90037.0	0.00041958	0.00042272	1500.0	0.0
64	90037.0	0.00042272	0.00042587	1500.0	0.0
65	90037.0	0.00042587	0.00042901	1500.0	0.0
66	90037.0	0.00042901	0.00043215	1500.0	0.0
67	90037.0	0.00043215	0.0004353	1500.0	0.0
68	90037.0	0.0004353	0.00043844	1500.0	0.0
69	90037.0	0.00043844	0.00044158	1500.0	0.0
70	90037.0	0.00044158	0.00044473	1500.0	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.9 – continuando da página anterior

Processo	$P_1$ [kPa]	$v_1$ [ $m^3/kg$ ]	$v_2$ [ $m^3/kg$ ]	$T_2$ [K]	$T_2 - T_1$ [K]
71	90037.0	0.00044473	0.00044787	1500.0	0.0
72	90037.0	0.00044787	0.00045101	1500.0	0.0
73	90037.0	0.00045101	0.00045416	1500.0	0.0
74	90037.0	0.00045416	0.0004573	1500.0	0.0
75	90037.0	0.0004573	0.00046044	1500.0	0.0
76	90037.0	0.00046044	0.00046359	1500.0	0.0
77	90037.0	0.00046359	0.00046673	1500.0	0.0
78	90037.0	0.00046673	0.00046987	1500.0	0.0
79	90037.0	0.00046987	0.00047302	1500.0	0.0
80	90037.0	0.00047302	0.00047616	1500.0	0.0
81	90037.0	0.00047616	0.0004793	1500.0	0.0
82	90037.0	0.0004793	0.00048245	1500.0	0.0
83	90037.0	0.00048245	0.00048559	1500.0	0.0
84	90037.0	0.00048559	0.00048873	1500.0	0.0
85	90037.0	0.00048873	0.00049188	1500.0	0.0
86	90037.0	0.00049188	0.00049502	1500.0	0.0
87	90037.0	0.00049502	0.00049816	1500.0	0.0
88	90037.0	0.00049816	0.00050131	1500.0	0.0
89	90037.0	0.00050131	0.00050445	1500.0	0.0
90	90037.0	0.00050445	0.00050759	1500.0	0.0
91	90037.0	0.00050759	0.00051074	1500.0	0.0
92	90037.0	0.00051074	0.00051388	1500.0	0.0
93	90037.0	0.00051388	0.00051702	1500.0	0.0
94	90037.0	0.00051702	0.00052017	1500.0	0.0
95	90037.0	0.00052017	0.00052331	1500.0	0.0
96	90037.0	0.00052331	0.00052645	1500.0	0.0
97	90037.0	0.00052645	0.0005296	1500.0	0.0
98	90037.0	0.0005296	0.00053274	1500.0	0.0
99	90037.0	0.00053274	0.00053588	1500.0	0.0
100	90037.0	0.00053588	0.00053903	1500.0	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.10 – Variação de  $T$  em Processos Isotérmicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $x$ 

Processo	$P_1$ [kPa]	$v_1$ [ $m^3/kg$ ]	$x_2$	$T_2$ [K]	$T_2 - T_1$ [K]
1	90000.0	0.0002247	0.206	1500.0	0.0
2	90037.0	0.00022784	0.212	1500.0	0.0
3	90037.0	0.00023098	0.218	1500.0	0.0
4	90037.0	0.00023413	0.224	1500.0	0.0
5	90037.0	0.00023727	0.23	1500.0	0.0
6	90037.0	0.00024041	0.236	1500.0	0.0
7	90037.0	0.00024356	0.242	1500.0	0.0
8	90037.0	0.0002467	0.248	1500.0	0.0
9	90037.0	0.00024984	0.254	1500.0	0.0
10	90037.0	0.00025299	0.26	1500.0	0.0
11	90037.0	0.00025613	0.266	1500.0	0.0
12	90037.0	0.00025927	0.272	1500.0	0.0
13	90037.0	0.00026242	0.278	1500.0	0.0
14	90037.0	0.00026556	0.284	1500.0	0.0
15	90037.0	0.0002687	0.29	1500.0	0.0
16	90037.0	0.00027185	0.296	1500.0	0.0
17	90037.0	0.00027499	0.302	1500.0	0.0
18	90037.0	0.00027813	0.308	1500.0	0.0
19	90037.0	0.00028128	0.314	1500.0	0.0
20	90037.0	0.00028442	0.32	1500.0	0.0
21	90037.0	0.00028756	0.326	1500.0	0.0
22	90037.0	0.00029071	0.332	1500.0	0.0
23	90037.0	0.00029385	0.338	1500.0	0.0
24	90037.0	0.00029699	0.344	1500.0	0.0
25	90037.0	0.00030014	0.35	1500.0	0.0
26	90037.0	0.00030328	0.356	1500.0	0.0
27	90037.0	0.00030642	0.362	1500.0	0.0
28	90037.0	0.00030957	0.368	1500.0	0.0
29	90037.0	0.00031271	0.374	1500.0	0.0
30	90037.0	0.00031585	0.38	1500.0	0.0
31	90037.0	0.000319	0.386	1500.0	0.0
32	90037.0	0.00032214	0.392	1500.0	0.0
33	90037.0	0.00032528	0.398	1500.0	0.0
34	90037.0	0.00032843	0.404	1500.0	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.10 – continuando da página anterior

Processo	$P_1$ [kPa]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$x_2$	$T_2$ [K]	$T_2 - T_1$ [K]
35	90037.0	0.00033157	0.41	1500.0	0.0
36	90037.0	0.00033471	0.416	1500.0	0.0
37	90037.0	0.00033786	0.422	1500.0	0.0
38	90037.0	0.000341	0.428	1500.0	0.0
39	90037.0	0.00034414	0.434	1500.0	0.0
40	90037.0	0.00034729	0.44	1500.0	0.0
41	90037.0	0.00035043	0.446	1500.0	0.0
42	90037.0	0.00035357	0.452	1500.0	0.0
43	90037.0	0.00035672	0.458	1500.0	0.0
44	90037.0	0.00035986	0.464	1500.0	0.0
45	90037.0	0.000363	0.47	1500.0	0.0
46	90037.0	0.00036615	0.476	1500.0	0.0
47	90037.0	0.00036929	0.482	1500.0	0.0
48	90037.0	0.00037243	0.488	1500.0	0.0
49	90037.0	0.00037558	0.494	1500.0	0.0
50	90037.0	0.00037872	0.5	1500.0	0.0
51	90037.0	0.00038186	0.506	1500.0	0.0
52	90037.0	0.00038501	0.512	1500.0	0.0
53	90037.0	0.00038815	0.518	1500.0	0.0
54	90037.0	0.00039129	0.524	1500.0	0.0
55	90037.0	0.00039443	0.53	1500.0	0.0
56	90037.0	0.00039758	0.536	1500.0	0.0
57	90037.0	0.00040072	0.542	1500.0	0.0
58	90037.0	0.00040386	0.548	1500.0	0.0
59	90037.0	0.00040701	0.554	1500.0	0.0
60	90037.0	0.00041015	0.56	1500.0	0.0
61	90037.0	0.00041329	0.566	1500.0	0.0
62	90037.0	0.00041644	0.572	1500.0	0.0
63	90037.0	0.00041958	0.578	1500.0	0.0
64	90037.0	0.00042272	0.584	1500.0	0.0
65	90037.0	0.00042587	0.59	1500.0	0.0
66	90037.0	0.00042901	0.596	1500.0	0.0
67	90037.0	0.00043215	0.602	1500.0	0.0
68	90037.0	0.0004353	0.608	1500.0	0.0
69	90037.0	0.00043844	0.614	1500.0	0.0
70	90037.0	0.00044158	0.62	1500.0	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.10 – continuando da página anterior

Processo	$P_1[kPa]$	$v_1[m^3/kg]$	$x_2$	$T_2[K]$	$T_2 - T_1[K]$
71	90037.0	0.00044473	0.626	1500.0	0.0
72	90037.0	0.00044787	0.632	1500.0	0.0
73	90037.0	0.00045101	0.638	1500.0	0.0
74	90037.0	0.00045416	0.644	1500.0	0.0
75	90037.0	0.0004573	0.65	1500.0	0.0
76	90037.0	0.00046044	0.656	1500.0	0.0
77	90037.0	0.00046359	0.662	1500.0	0.0
78	90037.0	0.00046673	0.668	1500.0	0.0
79	90037.0	0.00046987	0.674	1500.0	0.0
80	90037.0	0.00047302	0.68	1500.0	0.0
81	90037.0	0.00047616	0.686	1500.0	0.0
82	90037.0	0.0004793	0.692	1500.0	0.0
83	90037.0	0.00048245	0.698	1500.0	0.0
84	90037.0	0.00048559	0.704	1500.0	0.0
85	90037.0	0.00048873	0.71	1500.0	0.0
86	90037.0	0.00049188	0.716	1500.0	0.0
87	90037.0	0.00049502	0.722	1500.0	0.0
88	90037.0	0.00049816	0.728	1500.0	0.0
89	90037.0	0.00050131	0.734	1500.0	0.0
90	90037.0	0.00050445	0.74	1500.0	0.0
91	90037.0	0.00050759	0.746	1500.0	0.0
92	90037.0	0.00051074	0.752	1500.0	0.0
93	90037.0	0.00051388	0.758	1500.0	0.0
94	90037.0	0.00051702	0.764	1500.0	0.0
95	90037.0	0.00052017	0.77	1500.0	0.0
96	90037.0	0.00052331	0.776	1500.0	0.0
97	90037.0	0.00052645	0.782	1500.0	0.0
98	90037.0	0.0005296	0.788	1500.0	0.0
99	90037.0	0.00053274	0.794	1500.0	0.0
100	90037.0	0.00053588	0.8	1500.0	0.0

Fonte: Autoria Própria



Tabela A.11 – Variação de  $h$  em Processos Isentálpicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $P$ 

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$P_2 [kPa]$	$h_1 [kJ/kg]$	$h_2 - h_1$
1	1500.0	0.00017231	87883.0	-39.71	7.1054e-15
2	1491.8	0.00017885	85634.0	-39.71	0.0
3	1483.1	0.00018604	83478.0	-39.71	0.0
4	1474.6	0.00019331	81419.0	-39.71	0.0
5	1466.4	0.00020063	79363.0	-39.71	0.0
6	1458.1	0.00020833	77312.0	-39.71	0.0
7	1449.6	0.00021643	75270.0	-39.71	1.4211e-14
8	1441.1	0.00022496	73328.0	-39.71	0.0
9	1432.8	0.00023351	71397.0	-39.71	0.0
10	1424.4	0.0002425	69478.0	-39.71	1.4211e-14
11	1416.0	0.00025195	67572.0	-39.71	0.0
12	1407.4	0.00026187	65770.0	-39.71	0.0
13	1399.2	0.0002718	63983.0	-39.71	0.0
14	1390.9	0.00028221	62212.0	-39.71	0.0
15	1382.6	0.00029314	60457.0	-39.71	0.0
16	1374.1	0.0003046	58721.0	-39.71	1.4211e-14
17	1365.6	0.00031664	57004.0	-39.71	-1.4211e-14
18	1357.1	0.00032928	55392.0	-39.71	0.0
19	1348.9	0.00034188	53716.0	-39.71	0.0
20	1340.2	0.00035579	52145.0	-39.71	0.0
21	1331.9	0.00036967	50594.0	-39.71	0.0
22	1323.6	0.00038421	49065.0	-39.71	7.1054e-15
23	1315.2	0.00039947	47559.0	-39.71	0.0
24	1306.8	0.00041547	46076.0	-39.71	1.4211e-14
25	1298.3	0.00043226	44694.0	-39.71	0.0
26	1290.2	0.00044894	43258.0	-39.71	0.0
27	1281.7	0.00046739	41847.0	-39.71	0.0
28	1273.1	0.00048677	40534.0	-39.71	1.4211e-14
29	1265.0	0.00050602	39173.0	-39.71	-2.8422e-14
30	1256.3	0.00052735	37909.0	-39.71	0.0
31	1248.2	0.00054855	36600.0	-39.71	0.0
32	1239.5	0.00057204	35385.0	-39.71	0.0
33	1231.3	0.00059541	34195.0	-39.71	0.0
34	1223.0	0.00061991	32966.0	-39.71	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.11 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$P_2[kPa]$	$h_1[kJ/kg]$	$h_2 - h_1$
35	1214.3	0.00064709	31827.0	-39.71	0.0
36	1206.0	0.00067414	30714.0	-39.71	0.0
37	1197.8	0.00070253	29566.0	-39.71	0.0
38	1189.0	0.00073404	28505.0	-39.71	0.0
39	1180.8	0.00076542	27469.0	-39.71	0.0
40	1172.5	0.00079839	26458.0	-39.71	0.0
41	1164.2	0.00083302	25419.0	-39.71	1.4211e-14
42	1155.5	0.00087149	24461.0	-39.71	0.0
43	1147.2	0.00090985	23528.0	-39.71	0.0
44	1139.0	0.00095018	22571.0	-39.71	1.4211e-14
45	1130.3	0.00099502	21689.0	-39.71	0.0
46	1122.0	0.0010398	20833.0	-39.71	3.5527e-14
47	1113.8	0.0010868	19955.0	-39.71	0.0
48	1105.2	0.0011392	19149.0	-39.71	0.0
49	1097.0	0.0011915	18325.0	-39.71	0.0
50	1088.4	0.0012497	17527.0	-39.71	1.4211e-14
51	1079.8	0.0013112	16795.0	-39.71	0.0
52	1071.7	0.0013727	16047.0	-39.71	2.1316e-14
53	1063.1	0.0014412	15326.0	-39.71	0.0
54	1054.6	0.0015136	14665.0	-39.71	1.4211e-14
55	1046.6	0.001586	13992.0	-39.71	0.0
56	1038.2	0.0016667	13342.0	-39.71	0.0
57	1029.8	0.0017522	12717.0	-39.71	0.0
58	1021.4	0.0018426	12084.0	-39.71	1.4211e-14
59	1012.7	0.0019435	11506.0	-39.71	0.0
60	1004.4	0.0020451	10950.0	-39.71	0.0
61	996.14	0.0021528	10388.0	-39.71	0.0
62	987.52	0.0022731	9876.1	-39.71	0.0
63	979.37	0.0023944	9359.5	-39.71	0.0
64	970.85	0.00253	8865.1	-39.71	0.0
65	962.38	0.0026743	8392.3	-39.71	3.5527e-14
66	953.97	0.0028278	7940.5	-39.71	0.0
67	945.62	0.0029912	7509.0	-39.71	0.0
68	937.32	0.0031652	7077.1	-39.71	-1.4211e-14
69	928.67	0.0033601	6685.2	-39.71	0.0
70	920.5	0.0035582	6293.5	-39.71	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.11 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$P_2[kPa]$	$h_1[kJ/kg]$	$h_2 - h_1$
71	911.98	0.0037803	5921.3	-39.71	0.0
72	903.54	0.0040179	5568.0	-39.71	0.0
73	895.16	0.0042721	5232.7	-39.71	0.0
74	886.85	0.0045442	4900.1	-39.71	0.0
75	878.23	0.00485	4599.7	-39.71	0.0
76	870.07	0.0051632	4302.2	-39.71	0.0
77	861.6	0.0055153	4021.4	-39.71	0.0
78	853.21	0.0058942	3756.7	-39.71	0.0
79	844.91	0.0063018	3496.2	-39.71	0.0
80	836.31	0.0067613	3262.0	-39.71	0.0
81	828.18	0.0072354	3032.0	-39.71	0.0
82	819.76	0.0077703	2807.3	-39.71	0.0
83	811.07	0.008375	2605.9	-39.71	0.0
84	802.84	0.0090031	2409.5	-39.71	0.0
85	794.36	0.0097138	2226.3	-39.71	0.0
86	785.97	0.010486	2055.7	-39.71	0.0
87	777.68	0.011326	1890.5	-39.71	-3.5527e-14
88	769.15	0.012279	1737.2	-39.71	0.0
89	760.73	0.01332	1595.2	-39.71	0.0
90	752.42	0.014457	1458.7	-39.71	0.0
91	743.89	0.015753	1332.9	-39.71	0.0
92	735.47	0.017175	1217.0	-39.71	0.0
93	727.18	0.018737	1106.3	-39.71	0.0
94	718.68	0.020524	1004.9	-39.71	0.0
95	710.31	0.022496	912.07	-39.71	-3.5527e-14
96	702.05	0.024673	824.13	-39.71	-6.3949e-14
97	693.62	0.027174	744.02	-39.71	0.0
98	685.32	0.02995	668.64	-39.71	0.0
99	676.86	0.033149	600.35	-39.71	0.0
100	668.53	0.036718	536.52	-39.71	3.5527e-14

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.12 – Variação de  $h$  em Processos Isentálpicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $s$ 

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$h_1[kJ/kg]$	$h_2 - h_1$
1	1500.0	0.00017231	-0.02068	-39.71	7.1054e-15
2	1491.8	0.00017885	-0.020404	-39.71	0.0
3	1483.1	0.00018604	-0.020128	-39.71	0.0
4	1474.6	0.00019331	-0.019852	-39.71	0.0
5	1466.4	0.00020063	-0.019564	-39.71	0.0
6	1458.1	0.00020833	-0.019265	-39.71	0.0
7	1449.6	0.00021643	-0.018953	-39.71	1.4211e-14
8	1441.1	0.00022496	-0.018643	-39.71	0.0
9	1432.8	0.00023351	-0.018322	-39.71	0.0
10	1424.4	0.0002425	-0.017988	-39.71	1.4211e-14
11	1416.0	0.00025195	-0.017641	-39.71	0.0
12	1407.4	0.00026187	-0.017298	-39.71	0.0
13	1399.2	0.0002718	-0.016943	-39.71	0.0
14	1390.9	0.00028221	-0.016576	-39.71	0.0
15	1382.6	0.00029314	-0.016196	-39.71	0.0
16	1374.1	0.0003046	-0.015802	-39.71	1.4211e-14
17	1365.6	0.00031664	-0.015395	-39.71	-1.4211e-14
18	1357.1	0.00032928	-0.014995	-39.71	0.0
19	1348.9	0.00034188	-0.01456	-39.71	0.0
20	1340.2	0.00035579	-0.014134	-39.71	0.0
21	1331.9	0.00036967	-0.013694	-39.71	0.0
22	1323.6	0.00038421	-0.01324	-39.71	7.1054e-15
23	1315.2	0.00039947	-0.012772	-39.71	0.0
24	1306.8	0.00041547	-0.012289	-39.71	1.4211e-14
25	1298.3	0.00043226	-0.011819	-39.71	0.0
26	1290.2	0.00044894	-0.011307	-39.71	0.0
27	1281.7	0.00046739	-0.01078	-39.71	0.0
28	1273.1	0.00048677	-0.010267	-39.71	1.4211e-14
29	1265.0	0.00050602	-0.0097093	-39.71	-2.8422e-14
30	1256.3	0.00052735	-0.0091662	-39.71	0.0
31	1248.2	0.00054855	-0.0085768	-39.71	0.0
32	1239.5	0.00057204	-0.008003	-39.71	0.0
33	1231.3	0.00059541	-0.0074138	-39.71	0.0
34	1223.0	0.00061991	-0.006775	-39.71	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.12 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$h_1[kJ/kg]$	$h_2 - h_1$
35	1214.3	0.00064709	-0.0061535	-39.71	0.0
36	1206.0	0.00067414	-0.0055159	-39.71	0.0
37	1197.8	0.00070253	-0.0048252	-39.71	0.0
38	1189.0	0.00073404	-0.0041538	-39.71	0.0
39	1180.8	0.00076542	-0.0034656	-39.71	0.0
40	1172.5	0.00079839	-0.0027603	-39.71	0.0
41	1164.2	0.00083302	-0.0019971	-39.71	1.4211e-14
42	1155.5	0.00087149	-0.001256	-39.71	0.0
43	1147.2	0.00090985	-0.00049716	-39.71	0.0
44	1139.0	0.00095018	0.00032334	-39.71	1.4211e-14
45	1130.3	0.00099502	0.0011194	-39.71	0.0
46	1122.0	0.0010398	0.0019338	-39.71	3.5527e-14
47	1113.8	0.0010868	0.0028136	-39.71	0.0
48	1105.2	0.0011392	0.0036666	-39.71	0.0
49	1097.0	0.0011915	0.0045875	-39.71	0.0
50	1088.4	0.0012497	0.0055299	-39.71	1.4211e-14
51	1079.8	0.0013112	0.0064426	-39.71	0.0
52	1071.7	0.0013727	0.0074273	-39.71	2.1316e-14
53	1063.1	0.0014412	0.008434	-39.71	0.0
54	1054.6	0.0015136	0.0094082	-39.71	1.4211e-14
55	1046.6	0.001586	0.010458	-39.71	0.0
56	1038.2	0.0016667	0.011531	-39.71	0.0
57	1029.8	0.0017522	0.012627	-39.71	0.0
58	1021.4	0.0018426	0.013805	-39.71	1.4211e-14
59	1012.7	0.0019435	0.014948	-39.71	0.0
60	1004.4	0.0020451	0.016114	-39.71	0.0
61	996.14	0.0021528	0.017367	-39.71	0.0
62	987.52	0.0022731	0.018581	-39.71	0.0
63	979.37	0.0023944	0.019885	-39.71	0.0
64	970.85	0.00253	0.021215	-39.71	0.0
65	962.38	0.0026743	0.022572	-39.71	3.5527e-14
66	953.97	0.0028278	0.023955	-39.71	0.0
67	945.62	0.0029912	0.025366	-39.71	0.0
68	937.32	0.0031652	0.026875	-39.71	-1.4211e-14
69	928.67	0.0033601	0.028341	-39.71	0.0
70	920.5	0.0035582	0.029908	-39.71	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.12 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$h_1[kJ/kg]$	$h_2 - h_1$
71	911.98	0.0037803	0.031506	-39.71	0.0
72	903.54	0.0040179	0.033133	-39.71	0.0
73	895.16	0.0042721	0.034791	-39.71	0.0
74	886.85	0.0045442	0.03656	-39.71	0.0
75	878.23	0.00485	0.038279	-39.71	0.0
76	870.07	0.0051632	0.040113	-39.71	0.0
77	861.6	0.0055153	0.04198	-39.71	0.0
78	853.21	0.0058942	0.04388	-39.71	0.0
79	844.91	0.0063018	0.045902	-39.71	0.0
80	836.31	0.0067613	0.04787	-39.71	0.0
81	828.18	0.0072354	0.049962	-39.71	0.0
82	819.76	0.0077703	0.052185	-39.71	0.0
83	811.07	0.008375	0.054352	-39.71	0.0
84	802.84	0.0090031	0.056651	-39.71	0.0
85	794.36	0.0097138	0.05899	-39.71	0.0
86	785.97	0.010486	0.061368	-39.71	0.0
87	777.68	0.011326	0.063887	-39.71	-3.5527e-14
88	769.15	0.012279	0.066448	-39.71	0.0
89	760.73	0.01332	0.069052	-39.71	0.0
90	752.42	0.014457	0.071804	-39.71	0.0
91	743.89	0.015753	0.074602	-39.71	0.0
92	735.47	0.017175	0.077445	-39.71	0.0
93	727.18	0.018737	0.080445	-39.71	0.0
94	718.68	0.020524	0.083493	-39.71	0.0
95	710.31	0.022496	0.08659	-39.71	-3.5527e-14
96	702.05	0.024673	0.089852	-39.71	-6.3949e-14
97	693.62	0.027174	0.093165	-39.71	0.0
98	685.32	0.02995	0.096651	-39.71	0.0
99	676.86	0.033149	0.10019	-39.71	0.0
100	668.53	0.036718	0.10391	-39.71	3.5527e-14

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.13 – Variação de  $h$  em Processos Isentálpicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $T$ 

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$T_2[K]$	$h_1[kJ/kg]$	$h_2 - h_1$
1	1500.0	0.00017231	1491.6	-39.71	7.1054e-15
2	1491.6	0.00017885	1483.2	-39.71	0.0
3	1483.2	0.00018604	1474.8	-39.71	0.0
4	1474.8	0.00019331	1466.4	-39.71	0.0
5	1466.4	0.00020063	1458.0	-39.71	0.0
6	1458.0	0.00020833	1449.6	-39.71	0.0
7	1449.6	0.00021643	1441.2	-39.71	1.4211e-14
8	1441.2	0.00022496	1432.8	-39.71	0.0
9	1432.8	0.00023351	1424.4	-39.71	0.0
10	1424.4	0.0002425	1416.0	-39.71	1.4211e-14
11	1416.0	0.00025195	1407.6	-39.71	0.0
12	1407.6	0.00026187	1399.2	-39.71	0.0
13	1399.2	0.0002718	1390.8	-39.71	0.0
14	1390.8	0.00028221	1382.4	-39.71	0.0
15	1382.4	0.00029314	1374.0	-39.71	0.0
16	1374.0	0.0003046	1365.6	-39.71	1.4211e-14
17	1365.6	0.00031664	1357.2	-39.71	-1.4211e-14
18	1357.2	0.00032928	1348.8	-39.71	0.0
19	1348.8	0.00034188	1340.4	-39.71	0.0
20	1340.4	0.00035579	1332.0	-39.71	0.0
21	1332.0	0.00036967	1323.6	-39.71	0.0
22	1323.6	0.00038421	1315.2	-39.71	7.1054e-15
23	1315.2	0.00039947	1306.8	-39.71	0.0
24	1306.8	0.00041547	1298.4	-39.71	1.4211e-14
25	1298.4	0.00043226	1290.0	-39.71	0.0
26	1290.0	0.00044894	1281.6	-39.71	0.0
27	1281.6	0.00046739	1273.2	-39.71	0.0
28	1273.2	0.00048677	1264.8	-39.71	1.4211e-14
29	1264.8	0.00050602	1256.4	-39.71	-2.8422e-14
30	1256.4	0.00052735	1248.0	-39.71	0.0
31	1248.0	0.00054855	1239.6	-39.71	0.0
32	1239.6	0.00057204	1231.2	-39.71	0.0
33	1231.2	0.00059541	1222.8	-39.71	0.0
34	1222.8	0.00061991	1214.4	-39.71	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.13 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$T_2[K]$	$h_1[kJ/kg]$	$h_2 - h_1$
35	1214.4	0.00064709	1206.0	-39.71	0.0
36	1206.0	0.00067414	1197.6	-39.71	0.0
37	1197.6	0.00070253	1189.2	-39.71	0.0
38	1189.2	0.00073404	1180.8	-39.71	0.0
39	1180.8	0.00076542	1172.4	-39.71	0.0
40	1172.4	0.00079839	1164.0	-39.71	0.0
41	1164.0	0.00083302	1155.6	-39.71	1.4211e-14
42	1155.6	0.00087149	1147.2	-39.71	0.0
43	1147.2	0.00090985	1138.8	-39.71	0.0
44	1138.8	0.00095018	1130.4	-39.71	1.4211e-14
45	1130.4	0.00099502	1122.0	-39.71	0.0
46	1122.0	0.0010398	1113.6	-39.71	3.5527e-14
47	1113.6	0.0010868	1105.2	-39.71	0.0
48	1105.2	0.0011392	1096.8	-39.71	0.0
49	1096.8	0.0011915	1088.4	-39.71	0.0
50	1088.4	0.0012497	1080.0	-39.71	1.4211e-14
51	1080.0	0.0013112	1071.6	-39.71	0.0
52	1071.6	0.0013727	1063.2	-39.71	2.1316e-14
53	1063.2	0.0014412	1054.8	-39.71	0.0
54	1054.8	0.0015136	1046.4	-39.71	1.4211e-14
55	1046.4	0.001586	1038.0	-39.71	0.0
56	1038.0	0.0016667	1029.6	-39.71	0.0
57	1029.6	0.0017522	1021.2	-39.71	0.0
58	1021.2	0.0018426	1012.8	-39.71	1.4211e-14
59	1012.8	0.0019435	1004.4	-39.71	0.0
60	1004.4	0.0020451	996.0	-39.71	0.0
61	996.0	0.0021528	987.6	-39.71	0.0
62	987.6	0.0022731	979.2	-39.71	0.0
63	979.2	0.0023944	970.8	-39.71	0.0
64	970.8	0.00253	962.4	-39.71	0.0
65	962.4	0.0026743	954.0	-39.71	3.5527e-14
66	954.0	0.0028278	945.6	-39.71	0.0
67	945.6	0.0029912	937.2	-39.71	0.0
68	937.2	0.0031652	928.8	-39.71	-1.4211e-14
69	928.8	0.0033601	920.4	-39.71	0.0
70	920.4	0.0035582	912.0	-39.71	0.0

Continua na página seguinte



Tabela A.13 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$T_2[K]$	$h_1[kJ/kg]$	$h_2 - h_1$
71	912.0	0.0037803	903.6	-39.71	0.0
72	903.6	0.0040179	895.2	-39.71	0.0
73	895.2	0.0042721	886.8	-39.71	0.0
74	886.8	0.0045442	878.4	-39.71	0.0
75	878.4	0.00485	870.0	-39.71	0.0
76	870.0	0.0051632	861.6	-39.71	0.0
77	861.6	0.0055153	853.2	-39.71	0.0
78	853.2	0.0058942	844.8	-39.71	0.0
79	844.8	0.0063018	836.4	-39.71	0.0
80	836.4	0.0067613	828.0	-39.71	0.0
81	828.0	0.0072354	819.6	-39.71	0.0
82	819.6	0.0077703	811.2	-39.71	0.0
83	811.2	0.008375	802.8	-39.71	0.0
84	802.8	0.0090031	794.4	-39.71	0.0
85	794.4	0.0097138	786.0	-39.71	0.0
86	786.0	0.010486	777.6	-39.71	0.0
87	777.6	0.011326	769.2	-39.71	-3.5527e-14
88	769.2	0.012279	760.8	-39.71	0.0
89	760.8	0.01332	752.4	-39.71	0.0
90	752.4	0.014457	744.0	-39.71	0.0
91	744.0	0.015753	735.6	-39.71	0.0
92	735.6	0.017175	727.2	-39.71	0.0
93	727.2	0.018737	718.8	-39.71	0.0
94	718.8	0.020524	710.4	-39.71	0.0
95	710.4	0.022496	702.0	-39.71	-3.5527e-14
96	702.0	0.024673	693.6	-39.71	-6.3949e-14
97	693.6	0.027174	685.2	-39.71	0.0
98	685.2	0.02995	676.8	-39.71	0.0
99	676.8	0.033149	668.4	-39.71	0.0
100	668.4	0.036718	660.0	-39.71	3.5527e-14

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.14 – Variação de  $h$  em Processos Isentálpicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $u$ 

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$u_2 [kJ/kg]$	$h_1 [kJ/kg]$	$h_2 - h_1$
1	1500.0	0.00017231	-55.428	-39.71	7.1054e-15
2	1491.8	0.00017885	-55.641	-39.71	0.0
3	1483.1	0.00018604	-55.847	-39.71	-1.4211e-14
4	1474.6	0.00019331	-56.045	-39.71	-7.1054e-15
5	1466.4	0.00020063	-56.243	-39.71	2.1316e-14
6	1458.1	0.00020833	-56.443	-39.71	1.4211e-14
7	1449.6	0.00021643	-56.642	-39.71	-2.8422e-14
8	1441.1	0.00022496	-56.833	-39.71	1.4211e-14
9	1432.8	0.00023351	-57.024	-39.71	-1.4211e-14
10	1424.4	0.0002425	-57.215	-39.71	1.4211e-14
11	1416.0	0.00025195	-57.405	-39.71	0.0
12	1407.4	0.00026187	-57.586	-39.71	0.0
13	1399.2	0.0002718	-57.767	-39.71	0.0
14	1390.9	0.00028221	-57.947	-39.71	0.0
15	1382.6	0.00029314	-58.126	-39.71	-2.1316e-14
16	1374.1	0.0003046	-58.304	-39.71	1.4211e-14
17	1365.6	0.00031664	-58.481	-39.71	-1.4211e-14
18	1357.1	0.00032928	-58.648	-39.71	2.8422e-14
19	1348.9	0.00034188	-58.822	-39.71	-1.4211e-14
20	1340.2	0.00035579	-58.986	-39.71	7.1054e-15
21	1331.9	0.00036967	-59.149	-39.71	-1.4211e-14
22	1323.6	0.00038421	-59.31	-39.71	0.0
23	1315.2	0.00039947	-59.47	-39.71	0.0
24	1306.8	0.00041547	-59.627	-39.71	-1.4211e-14
25	1298.3	0.00043226	-59.775	-39.71	0.0
26	1290.2	0.00044894	-59.928	-39.71	2.8422e-14
27	1281.7	0.00046739	-60.08	-39.71	-2.8422e-14
28	1273.1	0.00048677	-60.221	-39.71	2.8422e-14
29	1265.0	0.00050602	-60.368	-39.71	-4.9738e-14
30	1256.3	0.00052735	-60.505	-39.71	2.1316e-14
31	1248.2	0.00054855	-60.647	-39.71	1.4211e-14
32	1239.5	0.00057204	-60.779	-39.71	0.0
33	1231.3	0.00059541	-60.908	-39.71	-1.4211e-14
34	1223.0	0.00061991	-61.042	-39.71	1.4211e-14

Continua na página seguinte

Tabela A.14 – continuando da página anterior

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$u_2 [kJ/kg]$	$h_1 [kJ/kg]$	$h_2 - h_1$
35	1214.3	0.00064709	-61.166	-39.71	0.0
36	1206.0	0.00067414	-61.287	-39.71	1.4211e-14
37	1197.8	0.00070253	-61.413	-39.71	0.0
38	1189.0	0.00073404	-61.528	-39.71	-1.4211e-14
39	1180.8	0.00076542	-61.641	-39.71	0.0
40	1172.5	0.00079839	-61.75	-39.71	0.0
41	1164.2	0.00083302	-61.863	-39.71	1.4211e-14
42	1155.5	0.00087149	-61.966	-39.71	-2.8422e-14
43	1147.2	0.00090985	-62.066	-39.71	1.4211e-14
44	1139.0	0.00095018	-62.168	-39.71	0.0
45	1130.3	0.00099502	-62.262	-39.71	-1.4211e-14
46	1122.0	0.0010398	-62.352	-39.71	4.2633e-14
47	1113.8	0.0010868	-62.444	-39.71	-2.8422e-14
48	1105.2	0.0011392	-62.527	-39.71	-3.5527e-14
49	1097.0	0.0011915	-62.611	-39.71	0.0
50	1088.4	0.0012497	-62.692	-39.71	3.5527e-14
51	1079.8	0.0013112	-62.765	-39.71	0.0
52	1071.7	0.0013727	-62.838	-39.71	1.4211e-14
53	1063.1	0.0014412	-62.907	-39.71	0.0
54	1054.6	0.0015136	-62.969	-39.71	-1.4211e-14
55	1046.6	0.001586	-63.03	-39.71	0.0
56	1038.2	0.0016667	-63.088	-39.71	-3.5527e-14
57	1029.8	0.0017522	-63.142	-39.71	2.1316e-14
58	1021.4	0.0018426	-63.195	-39.71	1.4211e-14
59	1012.7	0.0019435	-63.241	-39.71	-1.4211e-14
60	1004.4	0.0020451	-63.283	-39.71	1.4211e-14
61	996.14	0.0021528	-63.323	-39.71	0.0
62	987.52	0.0022731	-63.358	-39.71	-1.4211e-14
63	979.37	0.0023944	-63.39	-39.71	2.8422e-14
64	970.85	0.00253	-63.418	-39.71	-1.4211e-14
65	962.38	0.0026743	-63.442	-39.71	0.0
66	953.97	0.0028278	-63.461	-39.71	-1.4211e-14
67	945.62	0.0029912	-63.477	-39.71	1.4211e-14
68	937.32	0.0031652	-63.489	-39.71	0.0
69	928.67	0.0033601	-63.497	-39.71	0.0
70	920.5	0.0035582	-63.501	-39.71	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.14 – continuando da página anterior

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$u_2 [kJ/kg]$	$h_1 [kJ/kg]$	$h_2 - h_1$
71	911.98	0.0037803	-63.501	-39.71	0.0
72	903.54	0.0040179	-63.497	-39.71	-3.5527e-14
73	895.16	0.0042721	-63.488	-39.71	3.5527e-14
74	886.85	0.0045442	-63.475	-39.71	0.0
75	878.23	0.00485	-63.459	-39.71	0.0
76	870.07	0.0051632	-63.438	-39.71	0.0
77	861.6	0.0055153	-63.413	-39.71	0.0
78	853.21	0.0058942	-63.384	-39.71	-3.5527e-14
79	844.91	0.0063018	-63.349	-39.71	3.5527e-14
80	836.31	0.0067613	-63.312	-39.71	0.0
81	828.18	0.0072354	-63.27	-39.71	0.0
82	819.76	0.0077703	-63.221	-39.71	-3.5527e-14
83	811.07	0.008375	-63.171	-39.71	3.5527e-14
84	802.84	0.0090031	-63.115	-39.71	2.8422e-14
85	794.36	0.0097138	-63.056	-39.71	-2.8422e-14
86	785.97	0.010486	-62.992	-39.71	0.0
87	777.68	0.011326	-62.922	-39.71	0.0
88	769.15	0.012279	-62.849	-39.71	0.0
89	760.73	0.01332	-62.772	-39.71	0.0
90	752.42	0.014457	-62.689	-39.71	0.0
91	743.89	0.015753	-62.602	-39.71	0.0
92	735.47	0.017175	-62.512	-39.71	0.0
93	727.18	0.018737	-62.416	-39.71	0.0
94	718.68	0.020524	-62.316	-39.71	0.0
95	710.31	0.022496	-62.214	-39.71	0.0
96	702.05	0.024673	-62.105	-39.71	0.0
97	693.62	0.027174	-61.993	-39.71	0.0
98	685.32	0.02995	-61.875	-39.71	2.8422e-14
99	676.86	0.033149	-61.754	-39.71	-2.8422e-14
100	668.53	0.036718	-61.626	-39.71	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.15 – Variação de  $h$  em Processos Isentálpicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $v$ 

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2[m^3/kg]$	$h_1[kJ/kg]$	$h_2 - h_1$
1	1500.0	0.00017231	0.00017885	-39.71	7.1054e-15
2	1491.8	0.00017885	0.00018604	-39.71	-7.1054e-15
3	1483.1	0.00018604	0.00019331	-39.71	-7.1054e-15
4	1474.6	0.00019331	0.00020063	-39.71	-7.1054e-15
5	1466.4	0.00020063	0.00020833	-39.71	2.1316e-14
6	1458.1	0.00020833	0.00021643	-39.71	0.0
7	1449.6	0.00021643	0.00022496	-39.71	-1.4211e-14
8	1441.1	0.00022496	0.00023351	-39.71	1.4211e-14
9	1432.8	0.00023351	0.0002425	-39.71	-1.4211e-14
10	1424.4	0.0002425	0.00025195	-39.71	1.4211e-14
11	1416.0	0.00025195	0.00026187	-39.71	0.0
12	1407.4	0.00026187	0.0002718	-39.71	0.0
13	1399.2	0.0002718	0.00028221	-39.71	0.0
14	1390.9	0.00028221	0.00029314	-39.71	0.0
15	1382.6	0.00029314	0.0003046	-39.71	-2.1316e-14
16	1374.1	0.0003046	0.00031664	-39.71	1.4211e-14
17	1365.6	0.00031664	0.00032928	-39.71	-1.4211e-14
18	1357.1	0.00032928	0.00034188	-39.71	2.1316e-14
19	1348.9	0.00034188	0.00035579	-39.71	-7.1054e-15
20	1340.2	0.00035579	0.00036967	-39.71	7.1054e-15
21	1331.9	0.00036967	0.00038421	-39.71	-1.4211e-14
22	1323.6	0.00038421	0.00039947	-39.71	0.0
23	1315.2	0.00039947	0.00041547	-39.71	0.0
24	1306.8	0.00041547	0.00043226	-39.71	-1.4211e-14
25	1298.3	0.00043226	0.00044894	-39.71	0.0
26	1290.2	0.00044894	0.00046739	-39.71	2.8422e-14
27	1281.7	0.00046739	0.00048677	-39.71	-2.8422e-14
28	1273.1	0.00048677	0.00050602	-39.71	2.8422e-14
29	1265.0	0.00050602	0.00052735	-39.71	-2.8422e-14
30	1256.3	0.00052735	0.00054855	-39.71	0.0
31	1248.2	0.00054855	0.00057204	-39.71	1.4211e-14
32	1239.5	0.00057204	0.00059541	-39.71	0.0
33	1231.3	0.00059541	0.00061991	-39.71	-1.4211e-14
34	1223.0	0.00061991	0.00064709	-39.71	1.4211e-14

Continua na página seguinte

Tabela A.15 – continuando da página anterior

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$v_2 [m^3/kg]$	$h_1 [kJ/kg]$	$h_2 - h_1$
35	1214.3	0.00064709	0.00067414	-39.71	0.0
36	1206.0	0.00067414	0.00070253	-39.71	0.0
37	1197.8	0.00070253	0.00073404	-39.71	0.0
38	1189.0	0.00073404	0.00076542	-39.71	0.0
39	1180.8	0.00076542	0.00079839	-39.71	0.0
40	1172.5	0.00079839	0.00083302	-39.71	0.0
41	1164.2	0.00083302	0.00087149	-39.71	1.4211e-14
42	1155.5	0.00087149	0.00090985	-39.71	-2.8422e-14
43	1147.2	0.00090985	0.00095018	-39.71	1.4211e-14
44	1139.0	0.00095018	0.00099502	-39.71	0.0
45	1130.3	0.00099502	0.0010398	-39.71	-1.4211e-14
46	1122.0	0.0010398	0.0010868	-39.71	4.2633e-14
47	1113.8	0.0010868	0.0011392	-39.71	-2.8422e-14
48	1105.2	0.0011392	0.0011915	-39.71	0.0
49	1097.0	0.0011915	0.0012497	-39.71	-3.5527e-14
50	1088.4	0.0012497	0.0013112	-39.71	3.5527e-14
51	1079.8	0.0013112	0.0013727	-39.71	0.0
52	1071.7	0.0013727	0.0014412	-39.71	1.4211e-14
53	1063.1	0.0014412	0.0015136	-39.71	0.0
54	1054.6	0.0015136	0.001586	-39.71	-1.4211e-14
55	1046.6	0.001586	0.0016667	-39.71	0.0
56	1038.2	0.0016667	0.0017522	-39.71	-1.4211e-14
57	1029.8	0.0017522	0.0018426	-39.71	0.0
58	1021.4	0.0018426	0.0019435	-39.71	1.4211e-14
59	1012.7	0.0019435	0.0020451	-39.71	-1.4211e-14
60	1004.4	0.0020451	0.0021528	-39.71	1.4211e-14
61	996.14	0.0021528	0.0022731	-39.71	0.0
62	987.52	0.0022731	0.0023944	-39.71	0.0
63	979.37	0.0023944	0.00253	-39.71	1.4211e-14
64	970.85	0.00253	0.0026743	-39.71	-1.4211e-14
65	962.38	0.0026743	0.0028278	-39.71	0.0
66	953.97	0.0028278	0.0029912	-39.71	-1.4211e-14
67	945.62	0.0029912	0.0031652	-39.71	1.4211e-14
68	937.32	0.0031652	0.0033601	-39.71	0.0
69	928.67	0.0033601	0.0035582	-39.71	0.0
70	920.5	0.0035582	0.0037803	-39.71	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.15 – continuando da página anterior

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$v_2 [m^3/kg]$	$h_1 [kJ/kg]$	$h_2 - h_1$
71	911.98	0.0037803	0.0040179	-39.71	0.0
72	903.54	0.0040179	0.0042721	-39.71	-3.5527e-14
73	895.16	0.0042721	0.0045442	-39.71	3.5527e-14
74	886.85	0.0045442	0.00485	-39.71	0.0
75	878.23	0.00485	0.0051632	-39.71	0.0
76	870.07	0.0051632	0.0055153	-39.71	0.0
77	861.6	0.0055153	0.0058942	-39.71	0.0
78	853.21	0.0058942	0.0063018	-39.71	-3.5527e-14
79	844.91	0.0063018	0.0067613	-39.71	3.5527e-14
80	836.31	0.0067613	0.0072354	-39.71	0.0
81	828.18	0.0072354	0.0077703	-39.71	0.0
82	819.76	0.0077703	0.008375	-39.71	-3.5527e-14
83	811.07	0.008375	0.0090031	-39.71	3.5527e-14
84	802.84	0.0090031	0.0097138	-39.71	2.8422e-14
85	794.36	0.0097138	0.010486	-39.71	-2.8422e-14
86	785.97	0.010486	0.011326	-39.71	0.0
87	777.68	0.011326	0.012279	-39.71	0.0
88	769.15	0.012279	0.01332	-39.71	0.0
89	760.73	0.01332	0.014457	-39.71	0.0
90	752.42	0.014457	0.015753	-39.71	0.0
91	743.89	0.015753	0.017175	-39.71	0.0
92	735.47	0.017175	0.018737	-39.71	0.0
93	727.18	0.018737	0.020524	-39.71	0.0
94	718.68	0.020524	0.022496	-39.71	0.0
95	710.31	0.022496	0.024673	-39.71	0.0
96	702.05	0.024673	0.027174	-39.71	0.0
97	693.62	0.027174	0.02995	-39.71	0.0
98	685.32	0.02995	0.033149	-39.71	0.0
99	676.86	0.033149	0.036718	-39.71	0.0
100	668.53	0.036718	0.040849	-39.71	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.16 – Variação de  $h$  em Processos Isentálpicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $x$ 

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$x_2$	$h_1 [kJ/kg]$	$h_2 - h_1$
1	1500.0	0.00017231	0.11028	-39.71	7.1054e-15
2	1491.8	0.00017885	0.12075	-39.71	0.0
3	1483.1	0.00018604	0.13055	-39.71	0.0
4	1474.6	0.00019331	0.13973	-39.71	0.0
5	1466.4	0.00020063	0.14872	-39.71	0.0
6	1458.1	0.00020833	0.15753	-39.71	0.0
7	1449.6	0.00021643	0.16617	-39.71	1.4211e-14
8	1441.1	0.00022496	0.17425	-39.71	0.0
9	1432.8	0.00023351	0.18218	-39.71	0.0
10	1424.4	0.0002425	0.18997	-39.71	1.4211e-14
11	1416.0	0.00025195	0.19762	-39.71	0.0
12	1407.4	0.00026187	0.20479	-39.71	0.0
13	1399.2	0.0002718	0.21183	-39.71	0.0
14	1390.9	0.00028221	0.21876	-39.71	0.0
15	1382.6	0.00029314	0.22558	-39.71	0.0
16	1374.1	0.0003046	0.2323	-39.71	1.4211e-14
17	1365.6	0.00031664	0.2389	-39.71	-1.4211e-14
18	1357.1	0.00032928	0.24509	-39.71	0.0
19	1348.9	0.00034188	0.25151	-39.71	0.0
20	1340.2	0.00035579	0.25752	-39.71	0.0
21	1331.9	0.00036967	0.26344	-39.71	0.0
22	1323.6	0.00038421	0.26929	-39.71	7.1054e-15
23	1315.2	0.00039947	0.27505	-39.71	0.0
24	1306.8	0.00041547	0.28074	-39.71	1.4211e-14
25	1298.3	0.00043226	0.28606	-39.71	0.0
26	1290.2	0.00044894	0.29161	-39.71	0.0
27	1281.7	0.00046739	0.29709	-39.71	0.0
28	1273.1	0.00048677	0.30221	-39.71	1.4211e-14
29	1265.0	0.00050602	0.30756	-39.71	-2.8422e-14
30	1256.3	0.00052735	0.31256	-39.71	0.0
31	1248.2	0.00054855	0.31778	-39.71	0.0
32	1239.5	0.00057204	0.32267	-39.71	0.0
33	1231.3	0.00059541	0.3275	-39.71	0.0
34	1223.0	0.00061991	0.33255	-39.71	0.0

Continua na página seguinte



Tabela A.16 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$x_2$	$h_1[kJ/kg]$	$h_2 - h_1$
35	1214.3	0.00064709	0.33727	-39.71	0.0
36	1206.0	0.00067414	0.34195	-39.71	0.0
37	1197.8	0.00070253	0.34683	-39.71	0.0
38	1189.0	0.00073404	0.3514	-39.71	0.0
39	1180.8	0.00076542	0.35593	-39.71	0.0
40	1172.5	0.00079839	0.36041	-39.71	0.0
41	1164.2	0.00083302	0.36509	-39.71	1.4211e-14
42	1155.5	0.00087149	0.36948	-39.71	0.0
43	1147.2	0.00090985	0.37382	-39.71	0.0
44	1139.0	0.00095018	0.37836	-39.71	1.4211e-14
45	1130.3	0.00099502	0.38261	-39.71	0.0
46	1122.0	0.0010398	0.38683	-39.71	3.5527e-14
47	1113.8	0.0010868	0.39123	-39.71	0.0
48	1105.2	0.0011392	0.39536	-39.71	0.0
49	1097.0	0.0011915	0.39968	-39.71	0.0
50	1088.4	0.0012497	0.40396	-39.71	1.4211e-14
51	1079.8	0.0013112	0.40797	-39.71	0.0
52	1071.7	0.0013727	0.41216	-39.71	2.1316e-14
53	1063.1	0.0014412	0.41631	-39.71	0.0
54	1054.6	0.0015136	0.42021	-39.71	1.4211e-14
55	1046.6	0.001586	0.42428	-39.71	0.0
56	1038.2	0.0016667	0.42832	-39.71	0.0
57	1029.8	0.0017522	0.43231	-39.71	0.0
58	1021.4	0.0018426	0.43648	-39.71	1.4211e-14
59	1012.7	0.0019435	0.4404	-39.71	0.0
60	1004.4	0.0020451	0.44427	-39.71	0.0
61	996.14	0.0021528	0.44832	-39.71	0.0
62	987.52	0.0022731	0.45212	-39.71	0.0
63	979.37	0.0023944	0.45609	-39.71	0.0
64	970.85	0.00253	0.46001	-39.71	0.0
65	962.38	0.0026743	0.4639	-39.71	3.5527e-14
66	953.97	0.0028278	0.46775	-39.71	0.0
67	945.62	0.0029912	0.47156	-39.71	0.0
68	937.32	0.0031652	0.47552	-39.71	-1.4211e-14
69	928.67	0.0033601	0.47925	-39.71	0.0
70	920.5	0.0035582	0.48312	-39.71	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.16 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$x_2$	$h_1[kJ/kg]$	$h_2 - h_1$
71	911.98	0.0037803	0.48696	-39.71	0.0
72	903.54	0.0040179	0.49076	-39.71	0.0
73	895.16	0.0042721	0.49451	-39.71	0.0
74	886.85	0.0045442	0.49841	-39.71	0.0
75	878.23	0.00485	0.50208	-39.71	0.0
76	870.07	0.0051632	0.50589	-39.71	0.0
77	861.6	0.0055153	0.50965	-39.71	0.0
78	853.21	0.0058942	0.51338	-39.71	0.0
79	844.91	0.0063018	0.51722	-39.71	0.0
80	836.31	0.0067613	0.52086	-39.71	0.0
81	828.18	0.0072354	0.52462	-39.71	0.0
82	819.76	0.0077703	0.52849	-39.71	0.0
83	811.07	0.008375	0.53216	-39.71	0.0
84	802.84	0.0090031	0.53594	-39.71	0.0
85	794.36	0.0097138	0.53967	-39.71	0.0
86	785.97	0.010486	0.54335	-39.71	0.0
87	777.68	0.011326	0.54714	-39.71	-3.5527e-14
88	769.15	0.012279	0.55087	-39.71	0.0
89	760.73	0.01332	0.55456	-39.71	0.0
90	752.42	0.014457	0.55834	-39.71	0.0
91	743.89	0.015753	0.56207	-39.71	0.0
92	735.47	0.017175	0.56574	-39.71	0.0
93	727.18	0.018737	0.56951	-39.71	0.0
94	718.68	0.020524	0.57321	-39.71	0.0
95	710.31	0.022496	0.57686	-39.71	-3.5527e-14
96	702.05	0.024673	0.58059	-39.71	-6.3949e-14
97	693.62	0.027174	0.58426	-39.71	0.0
98	685.32	0.02995	0.588	-39.71	0.0
99	676.86	0.033149	0.59168	-39.71	0.0
100	668.53	0.036718	0.59542	-39.71	3.5527e-14

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.17 – Variação de  $s$  em Processos Isentrópicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $h$ 

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$h_2[kJ/kg]$	$s_1[kJ/(kg.K)]$	$s_2 - s_1$
1	1500.0	0.00061761	135.86	0.096973	0.0
2	1492.1	0.00062938	134.55	0.096973	1.3878e-17
3	1484.2	0.00064167	133.21	0.096973	0.0
4	1476.1	0.0006545	131.91	0.096973	-4.1633e-17
5	1468.3	0.00066727	130.59	0.096973	0.0
6	1460.3	0.00068058	129.24	0.096973	0.0
7	1452.3	0.00069446	127.87	0.096973	2.7756e-17
8	1444.2	0.00070893	126.55	0.096973	1.3878e-17
9	1436.4	0.00072328	125.2	0.096973	0.0
10	1428.4	0.00073821	123.83	0.096973	-4.1633e-17
11	1420.4	0.00075376	122.45	0.096973	6.9389e-17
12	1412.3	0.00076995	121.11	0.096973	-2.7756e-17
13	1404.6	0.00078594	119.68	0.096973	-1.3878e-17
14	1396.3	0.00080346	118.3	0.096973	0.0
15	1388.4	0.00082078	116.91	0.096973	-2.7756e-17
16	1380.5	0.00083879	115.5	0.096973	0.0
17	1372.5	0.00085751	114.15	0.096973	4.1633e-17
18	1364.8	0.00087594	112.71	0.096973	-4.1633e-17
19	1356.7	0.00089615	111.32	0.096973	4.1633e-17
20	1348.9	0.00091606	109.85	0.096973	0.0
21	1340.6	0.0009379	108.43	0.096973	-4.1633e-17
22	1332.8	0.00095941	107.0	0.096973	2.7756e-17
23	1324.9	0.00098175	105.56	0.096973	-2.7756e-17
24	1317.0	0.001005	104.11	0.096973	4.1633e-17
25	1309.0	0.0010291	102.64	0.096973	0.0
26	1301.0	0.0010542	101.15	0.096973	-5.5511e-17
27	1292.9	0.0010802	99.656	0.096973	4.1633e-17
28	1284.8	0.0011074	98.231	0.096973	1.3878e-17
29	1277.2	0.0011339	96.71	0.096973	-4.1633e-17
30	1269.0	0.0011632	95.177	0.096973	4.1633e-17
31	1260.9	0.0011936	93.718	0.096973	2.7756e-17
32	1253.2	0.0012235	92.162	0.096973	-6.9389e-17
33	1245.0	0.0012564	90.681	0.096973	2.7756e-17
34	1237.2	0.0012887	89.191	0.096973	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.17 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$h_2[kJ/kg]$	$s_1[kJ/(kg.K)]$	$s_2 - s_1$
35	1229.4	0.0013223	87.603	0.096973	0.0
36	1221.2	0.0013593	86.094	0.096973	1.3878e-17
37	1213.4	0.0013956	84.486	0.096973	-4.1633e-17
38	1205.1	0.0014356	82.959	0.096973	0.0
39	1197.3	0.001475	81.423	0.096973	2.7756e-17
40	1189.5	0.0015159	79.788	0.096973	-5.5511e-17
41	1181.2	0.001561	78.237	0.096973	1.3878e-17
42	1173.4	0.0016054	76.677	0.096973	1.3878e-17
43	1165.6	0.0016516	75.018	0.096973	2.7756e-17
44	1157.3	0.0017026	73.445	0.096973	0.0
45	1149.5	0.0017527	71.865	0.096973	-2.7756e-17
46	1141.7	0.001805	70.185	0.096973	0.0
47	1133.5	0.0018627	68.593	0.096973	0.0
48	1125.7	0.0019195	66.995	0.096973	2.7756e-17
49	1117.9	0.0019787	65.297	0.096973	0.0
50	1109.7	0.0020441	63.689	0.096973	-2.7756e-17
51	1102.0	0.0021085	61.981	0.096973	6.9389e-17
52	1093.8	0.0021798	60.268	0.096973	-2.7756e-17
53	1085.7	0.0022543	58.647	0.096973	0.0
54	1078.0	0.0023278	56.926	0.096973	4.1633e-17
55	1069.9	0.0024091	55.202	0.096973	-8.3267e-17
56	1061.8	0.0024941	53.57	0.096973	4.1633e-17
57	1054.2	0.0025781	51.84	0.096973	4.1633e-17
58	1046.2	0.002671	50.107	0.096973	-8.3267e-17
59	1038.2	0.0027684	48.372	0.096973	2.7756e-17
60	1030.2	0.0028703	46.635	0.096973	-2.7756e-17
61	1022.3	0.0029771	44.8	0.096973	4.1633e-17
62	1014.0	0.0030953	43.061	0.096973	0.0
63	1006.1	0.0032129	41.32	0.096973	0.0
64	998.3	0.0033362	39.483	0.096973	-4.1633e-17
65	990.1	0.0034729	37.742	0.096973	0.0
66	982.37	0.0036089	35.904	0.096973	0.0
67	974.25	0.0037598	34.068	0.096973	8.3267e-17
68	966.19	0.0039185	32.329	0.096973	-5.5511e-17
69	958.59	0.0040767	30.494	0.096973	-2.7756e-17
70	950.62	0.0042522	28.566	0.096973	2.7756e-17

Continua na página seguinte

Tabela A.17 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$h_2[kJ/kg]$	$s_1[kJ/(kg.K)]$	$s_2 - s_1$
71	942.29	0.0044472	26.735	0.096973	-2.7756e-17
72	934.43	0.0046426	24.907	0.096973	4.1633e-17
73	926.63	0.0048486	22.986	0.096973	0.0
74	918.47	0.0050775	21.165	0.096973	-6.9389e-17
75	910.77	0.0053073	19.251	0.096973	5.5511e-17
76	902.74	0.0055628	17.341	0.096973	0.0
77	894.76	0.0058332	15.436	0.096973	0.0
78	886.85	0.0061196	13.441	0.096973	0.0
79	878.62	0.0064386	11.547	0.096973	0.0
80	870.84	0.0067609	9.5633	0.096973	-2.7756e-17
81	862.75	0.0071202	7.5866	0.096973	4.1633e-17
82	854.73	0.0075022	5.6168	0.096973	-1.3878e-17
83	846.79	0.0079087	3.6541	0.096973	-8.3267e-17
84	838.92	0.0083414	1.6991	0.096973	9.7145e-17
85	831.13	0.008802	-0.3407	0.096973	-1.3878e-17
86	823.04	0.0093168	-2.3715	0.096973	0.0
87	815.04	0.009867	-4.393	0.096973	0.0
88	807.13	0.010455	-6.405	0.096973	1.3878e-17
89	799.3	0.011085	-8.4978	0.096973	-1.3878e-17
90	791.2	0.01179	-10.58	0.096973	4.1633e-17
91	783.19	0.012547	-12.65	0.096973	-4.1633e-17
92	775.28	0.013361	-14.798	0.096973	5.5511e-17
93	767.12	0.014276	-16.844	0.096973	-4.1633e-17
94	759.39	0.01522	-18.966	0.096973	0.0
95	751.43	0.016282	-21.162	0.096973	4.1633e-17
96	743.24	0.017479	-23.257	0.096973	2.7756e-17
97	735.47	0.018723	-25.423	0.096973	-6.9389e-17
98	727.49	0.020126	-27.574	0.096973	-4.1633e-17
99	719.62	0.021649	-29.795	0.096973	4.1633e-17
100	711.54	0.023372	-31.999	0.096973	-4.1633e-17

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.18 – Variação de  $s$  em Processos Isentrópicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $P$ 

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$P_2 [kPa]$	$s_1 [kJ/(kg.K)]$	$s_2 - s_1$
1	1500.0	0.00061761	87977.0	0.096973	0.0
2	1492.1	0.00062938	85915.0	0.096973	1.3878e-17
3	1484.2	0.00064167	83853.0	0.096973	0.0
4	1476.1	0.0006545	81886.0	0.096973	0.0
5	1468.3	0.00066727	79923.0	0.096973	0.0
6	1460.3	0.00068058	77964.0	0.096973	0.0
7	1452.3	0.00069446	76011.0	0.096973	0.0
8	1444.2	0.00070893	74159.0	0.096973	0.0
9	1436.4	0.00072328	72316.0	0.096973	0.0
10	1428.4	0.00073821	70482.0	0.096973	-4.1633e-17
11	1420.4	0.00075376	68660.0	0.096973	0.0
12	1412.3	0.00076995	66940.0	0.096973	0.0
13	1404.6	0.00078594	65143.0	0.096973	0.0
14	1396.3	0.00080346	63450.0	0.096973	-1.3878e-17
15	1388.4	0.00082078	61772.0	0.096973	1.3878e-17
16	1380.5	0.00083879	60109.0	0.096973	-2.7756e-17
17	1372.5	0.00085751	58549.0	0.096973	2.7756e-17
18	1364.8	0.00087594	56919.0	0.096973	-2.7756e-17
19	1356.7	0.00089615	55392.0	0.096973	-4.1633e-17
20	1348.9	0.00091606	53800.0	0.096973	0.0
21	1340.6	0.0009379	52309.0	0.096973	-4.1633e-17
22	1332.8	0.00095941	50838.0	0.096973	-4.1633e-17
23	1324.9	0.00098175	49385.0	0.096973	0.0
24	1317.0	0.001005	47953.0	0.096973	0.0
25	1309.0	0.0010291	46542.0	0.096973	0.0
26	1301.0	0.0010542	45152.0	0.096973	0.0
27	1292.9	0.0010802	43784.0	0.096973	2.7756e-17
28	1284.8	0.0011074	42512.0	0.096973	-2.7756e-17
29	1277.2	0.0011339	41188.0	0.096973	0.0
30	1269.0	0.0011632	39886.0	0.096973	0.0
31	1260.9	0.0011936	38679.0	0.096973	-1.3878e-17
32	1253.2	0.0012235	37424.0	0.096973	1.3878e-17
33	1245.0	0.0012564	36260.0	0.096973	-1.3878e-17
34	1237.2	0.0012887	35119.0	0.096973	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.18 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$P_2[kPa]$	$s_1[kJ/(kg.K)]$	$s_2 - s_1$
35	1229.4	0.0013223	33934.0	0.096973	0.0
36	1221.2	0.0013593	32838.0	0.096973	1.3878e-17
37	1213.4	0.0013956	31703.0	0.096973	0.0
38	1205.1	0.0014356	30653.0	0.096973	0.0
39	1197.3	0.001475	29626.0	0.096973	-1.3878e-17
40	1189.5	0.0015159	28563.0	0.096973	1.3878e-17
41	1181.2	0.001561	27583.0	0.096973	2.7756e-17
42	1173.4	0.0016054	26625.0	0.096973	-2.7756e-17
43	1165.6	0.0016516	25636.0	0.096973	-1.3878e-17
44	1157.3	0.0017026	24725.0	0.096973	-2.7756e-17
45	1149.5	0.0017527	23836.0	0.096973	-1.3878e-17
46	1141.7	0.001805	22920.0	0.096973	0.0
47	1133.5	0.0018627	22078.0	0.096973	-5.5511e-17
48	1125.7	0.0019195	21258.0	0.096973	-4.1633e-17
49	1117.9	0.0019787	20414.0	0.096973	0.0
50	1109.7	0.0020441	19639.0	0.096973	1.3878e-17
51	1102.0	0.0021085	18842.0	0.096973	-1.3878e-17
52	1093.8	0.0021798	18070.0	0.096973	-1.3878e-17
53	1085.7	0.0022543	17362.0	0.096973	0.0
54	1078.0	0.0023278	16635.0	0.096973	0.0
55	1069.9	0.0024091	15932.0	0.096973	0.0
56	1061.8	0.0024941	15288.0	0.096973	0.0
57	1054.2	0.0025781	14629.0	0.096973	0.0
58	1046.2	0.002671	13992.0	0.096973	0.0
59	1038.2	0.0027684	13376.0	0.096973	1.3878e-17
60	1030.2	0.0028703	12782.0	0.096973	1.3878e-17
61	1022.3	0.0029771	12177.0	0.096973	0.0
62	1014.0	0.0030953	11626.0	0.096973	0.0
63	1006.1	0.0032129	11094.0	0.096973	0.0
64	998.3	0.0033362	10554.0	0.096973	-2.7756e-17
65	990.1	0.0034729	10062.0	0.096973	0.0
66	982.37	0.0036089	9563.5	0.096973	0.0
67	974.25	0.0037598	9084.9	0.096973	0.0
68	966.19	0.0039185	8649.7	0.096973	1.3878e-17
69	958.59	0.0040767	8209.1	0.096973	1.3878e-17
70	950.62	0.0042522	7765.5	0.096973	-1.3878e-17

Continua na página seguinte

Tabela A.18 – continuando da página anterior

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$P_2 [kPa]$	$s_1 [kJ/(kg.K)]$	$s_2 - s_1$
71	942.29	0.0044472	7362.6	0.096973	1.3878e-17
72	934.43	0.0046426	6977.3	0.096973	0.0
73	926.63	0.0048486	6590.1	0.096973	0.0
74	918.47	0.0050775	6239.1	0.096973	0.0
75	910.77	0.0053073	5886.9	0.096973	-1.3878e-17
76	902.74	0.0055628	5551.6	0.096973	0.0
77	894.76	0.0058332	5232.7	0.096973	0.0
78	886.85	0.0061196	4914.8	0.096973	0.0
79	878.62	0.0064386	4627.6	0.096973	0.0
80	870.84	0.0067609	4341.7	0.096973	-6.9389e-17
81	862.75	0.0071202	4071.2	0.096973	0.0
82	854.73	0.0075022	3815.5	0.096973	-1.3878e-17
83	846.79	0.0079087	3573.8	0.096973	0.0
84	838.92	0.0083414	3345.6	0.096973	-1.3878e-17
85	831.13	0.008802	3120.3	0.096973	-1.3878e-17
86	823.04	0.0093168	2908.4	0.096973	0.0
87	815.04	0.009867	2709.4	0.096973	0.0
88	807.13	0.010455	2522.4	0.096973	1.3878e-17
89	799.3	0.011085	2339.3	0.096973	1.3878e-17
90	791.2	0.01179	2168.1	0.096973	8.3267e-17
91	783.19	0.012547	2008.2	0.096973	-5.5511e-17
92	775.28	0.013361	1852.6	0.096973	-1.3878e-17
93	767.12	0.014276	1713.8	0.096973	0.0
94	759.39	0.01522	1578.9	0.096973	-2.7756e-17
95	751.43	0.016282	1448.7	0.096973	0.0
96	743.24	0.017479	1332.9	0.096973	2.7756e-17
97	735.47	0.018723	1221.2	0.096973	5.5511e-17
98	727.49	0.020126	1118.2	0.096973	0.0
99	719.62	0.021649	1019.4	0.096973	0.0
100	711.54	0.023372	928.65	0.096973	0.0

Fonte: Autoria Própria



Tabela A.19 – Variação de  $s$  em Processos Isentrópicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $T$ 

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$T_2[K]$	$s_1[kJ/(kg.K)]$	$s_2 - s_1$
1	1500.0	0.00061761	1492.0	0.096973	0.0
2	1492.0	0.00062938	1484.1	0.096973	1.3878e-17
3	1484.1	0.00064167	1476.1	0.096973	0.0
4	1476.1	0.0006545	1468.1	0.096973	0.0
5	1468.1	0.00066727	1460.2	0.096973	0.0
6	1460.2	0.00068058	1452.2	0.096973	0.0
7	1452.2	0.00069446	1444.2	0.096973	0.0
8	1444.2	0.00070893	1436.3	0.096973	0.0
9	1436.3	0.00072328	1428.3	0.096973	0.0
10	1428.3	0.00073821	1420.4	0.096973	-4.1633e-17
11	1420.4	0.00075376	1412.4	0.096973	0.0
12	1412.4	0.00076995	1404.4	0.096973	0.0
13	1404.4	0.00078594	1396.5	0.096973	0.0
14	1396.5	0.00080346	1388.5	0.096973	-1.3878e-17
15	1388.5	0.00082078	1380.5	0.096973	1.3878e-17
16	1380.5	0.00083879	1372.6	0.096973	-2.7756e-17
17	1372.6	0.00085751	1364.6	0.096973	2.7756e-17
18	1364.6	0.00087594	1356.6	0.096973	-2.7756e-17
19	1356.6	0.00089615	1348.7	0.096973	-4.1633e-17
20	1348.7	0.00091606	1340.7	0.096973	0.0
21	1340.7	0.0009379	1332.7	0.096973	-4.1633e-17
22	1332.7	0.00095941	1324.8	0.096973	-4.1633e-17
23	1324.8	0.00098175	1316.8	0.096973	0.0
24	1316.8	0.001005	1308.9	0.096973	0.0
25	1308.9	0.0010291	1300.9	0.096973	0.0
26	1300.9	0.0010542	1292.9	0.096973	0.0
27	1292.9	0.0010802	1285.0	0.096973	2.7756e-17
28	1285.0	0.0011074	1277.0	0.096973	-2.7756e-17
29	1277.0	0.0011339	1269.0	0.096973	0.0
30	1269.0	0.0011632	1261.1	0.096973	0.0
31	1261.1	0.0011936	1253.1	0.096973	-1.3878e-17
32	1253.1	0.0012235	1245.1	0.096973	1.3878e-17
33	1245.1	0.0012564	1237.2	0.096973	-1.3878e-17
34	1237.2	0.0012887	1229.2	0.096973	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.19 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$T_2[K]$	$s_1[kJ/(kg.K)]$	$s_2 - s_1$
35	1229.2	0.0013223	1221.2	0.096973	0.0
36	1221.2	0.0013593	1213.3	0.096973	1.3878e-17
37	1213.3	0.0013956	1205.3	0.096973	0.0
38	1205.3	0.0014356	1197.4	0.096973	0.0
39	1197.4	0.001475	1189.4	0.096973	-1.3878e-17
40	1189.4	0.0015159	1181.4	0.096973	1.3878e-17
41	1181.4	0.001561	1173.5	0.096973	2.7756e-17
42	1173.5	0.0016054	1165.5	0.096973	-2.7756e-17
43	1165.5	0.0016516	1157.5	0.096973	-1.3878e-17
44	1157.5	0.0017026	1149.6	0.096973	-2.7756e-17
45	1149.6	0.0017527	1141.6	0.096973	-1.3878e-17
46	1141.6	0.001805	1133.6	0.096973	0.0
47	1133.6	0.0018627	1125.7	0.096973	-5.5511e-17
48	1125.7	0.0019195	1117.7	0.096973	-4.1633e-17
49	1117.7	0.0019787	1109.7	0.096973	0.0
50	1109.7	0.0020441	1101.8	0.096973	1.3878e-17
51	1101.8	0.0021085	1093.8	0.096973	-1.3878e-17
52	1093.8	0.0021798	1085.9	0.096973	-1.3878e-17
53	1085.9	0.0022543	1077.9	0.096973	0.0
54	1077.9	0.0023278	1069.9	0.096973	0.0
55	1069.9	0.0024091	1062.0	0.096973	0.0
56	1062.0	0.0024941	1054.0	0.096973	0.0
57	1054.0	0.0025781	1046.0	0.096973	0.0
58	1046.0	0.002671	1038.1	0.096973	0.0
59	1038.1	0.0027684	1030.1	0.096973	1.3878e-17
60	1030.1	0.0028703	1022.1	0.096973	1.3878e-17
61	1022.1	0.0029771	1014.2	0.096973	0.0
62	1014.2	0.0030953	1006.2	0.096973	0.0
63	1006.2	0.0032129	998.25	0.096973	0.0
64	998.25	0.0033362	990.28	0.096973	-2.7756e-17
65	990.28	0.0034729	982.32	0.096973	0.0
66	982.32	0.0036089	974.36	0.096973	0.0
67	974.36	0.0037598	966.39	0.096973	0.0
68	966.39	0.0039185	958.43	0.096973	1.3878e-17
69	958.43	0.0040767	950.46	0.096973	1.3878e-17
70	950.46	0.0042522	942.5	0.096973	-1.3878e-17

Continua na página seguinte

Tabela A.19 – continuando da página anterior

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$T_2 [K]$	$s_1 [kJ/(kg.K)]$	$s_2 - s_1$
71	942.5	0.0044472	934.53	0.096973	1.3878e-17
72	934.53	0.0046426	926.57	0.096973	0.0
73	926.57	0.0048486	918.61	0.096973	0.0
74	918.61	0.0050775	910.64	0.096973	0.0
75	910.64	0.0053073	902.68	0.096973	-1.3878e-17
76	902.68	0.0055628	894.71	0.096973	0.0
77	894.71	0.0058332	886.75	0.096973	0.0
78	886.75	0.0061196	878.78	0.096973	0.0
79	878.78	0.0064386	870.82	0.096973	0.0
80	870.82	0.0067609	862.86	0.096973	-6.9389e-17
81	862.86	0.0071202	854.89	0.096973	0.0
82	854.89	0.0075022	846.93	0.096973	-1.3878e-17
83	846.93	0.0079087	838.96	0.096973	0.0
84	838.96	0.0083414	831.0	0.096973	-1.3878e-17
85	831.0	0.008802	823.03	0.096973	-1.3878e-17
86	823.03	0.0093168	815.07	0.096973	0.0
87	815.07	0.009867	807.11	0.096973	0.0
88	807.11	0.010455	799.14	0.096973	1.3878e-17
89	799.14	0.011085	791.18	0.096973	1.3878e-17
90	791.18	0.01179	783.21	0.096973	8.3267e-17
91	783.21	0.012547	775.25	0.096973	-5.5511e-17
92	775.25	0.013361	767.28	0.096973	-1.3878e-17
93	767.28	0.014276	759.32	0.096973	0.0
94	759.32	0.01522	751.36	0.096973	-2.7756e-17
95	751.36	0.016282	743.39	0.096973	0.0
96	743.39	0.017479	735.43	0.096973	2.7756e-17
97	735.43	0.018723	727.46	0.096973	5.5511e-17
98	727.46	0.020126	719.5	0.096973	0.0
99	719.5	0.021649	711.53	0.096973	0.0
100	711.53	0.023372	703.57	0.096973	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.20 – Variação de  $s$  em Processos Isentrópicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $u$ 

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$u_2[kJ/kg]$	$s_1[kJ/(kg.K)]$	$s_2 - s_1$
1	1500.0	0.00061761	80.49	0.096973	0.0
2	1492.1	0.00062938	79.421	0.096973	1.3878e-17
3	1484.2	0.00064167	78.332	0.096973	0.0
4	1476.1	0.0006545	77.274	0.096973	0.0
5	1468.3	0.00066727	76.197	0.096973	-4.1633e-17
6	1460.3	0.00068058	75.102	0.096973	0.0
7	1452.3	0.00069446	73.988	0.096973	2.7756e-17
8	1444.2	0.00070893	72.911	0.096973	1.3878e-17
9	1436.4	0.00072328	71.817	0.096973	0.0
10	1428.4	0.00073821	70.707	0.096973	-4.1633e-17
11	1420.4	0.00075376	69.581	0.096973	4.1633e-17
12	1412.3	0.00076995	68.496	0.096973	0.0
13	1404.6	0.00078594	67.34	0.096973	-1.3878e-17
14	1396.3	0.00080346	66.226	0.096973	0.0
15	1388.4	0.00082078	65.099	0.096973	-2.7756e-17
16	1380.5	0.00083879	63.958	0.096973	0.0
17	1372.5	0.00085751	62.865	0.096973	4.1633e-17
18	1364.8	0.00087594	61.698	0.096973	-4.1633e-17
19	1356.7	0.00089615	60.58	0.096973	4.1633e-17
20	1348.9	0.00091606	59.388	0.096973	0.0
21	1340.6	0.0009379	58.247	0.096973	-4.1633e-17
22	1332.8	0.00095941	57.095	0.096973	2.7756e-17
23	1324.9	0.00098175	55.931	0.096973	-2.7756e-17
24	1317.0	0.001005	54.757	0.096973	4.1633e-17
25	1309.0	0.0010291	53.573	0.096973	0.0
26	1301.0	0.0010542	52.377	0.096973	-5.5511e-17
27	1292.9	0.0010802	51.172	0.096973	4.1633e-17
28	1284.8	0.0011074	50.025	0.096973	1.3878e-17
29	1277.2	0.0011339	48.801	0.096973	-4.1633e-17
30	1269.0	0.0011632	47.567	0.096973	0.0
31	1260.9	0.0011936	46.393	0.096973	2.7756e-17
32	1253.2	0.0012235	45.142	0.096973	-2.7756e-17
33	1245.0	0.0012564	43.951	0.096973	2.7756e-17
34	1237.2	0.0012887	42.754	0.096973	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.20 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$u_2[kJ/kg]$	$s_1[kJ/(kg.K)]$	$s_2 - s_1$
35	1229.4	0.0013223	41.478	0.096973	0.0
36	1221.2	0.0013593	40.265	0.096973	1.3878e-17
37	1213.4	0.0013956	38.973	0.096973	-4.1633e-17
38	1205.1	0.0014356	37.747	0.096973	0.0
39	1197.3	0.001475	36.513	0.096973	6.9389e-17
40	1189.5	0.0015159	35.201	0.096973	-6.9389e-17
41	1181.2	0.001561	33.955	0.096973	-5.5511e-17
42	1173.4	0.0016054	32.703	0.096973	5.5511e-17
43	1165.6	0.0016516	31.372	0.096973	2.7756e-17
44	1157.3	0.0017026	30.109	0.096973	4.1633e-17
45	1149.5	0.0017527	28.84	0.096973	-6.9389e-17
46	1141.7	0.001805	27.492	0.096973	0.0
47	1133.5	0.0018627	26.214	0.096973	0.0
48	1125.7	0.0019195	24.932	0.096973	2.7756e-17
49	1117.9	0.0019787	23.57	0.096973	0.0
50	1109.7	0.0020441	22.279	0.096973	-2.7756e-17
51	1102.0	0.0021085	20.908	0.096973	6.9389e-17
52	1093.8	0.0021798	19.533	0.096973	-6.9389e-17
53	1085.7	0.0022543	18.232	0.096973	4.1633e-17
54	1078.0	0.0023278	16.85	0.096973	4.1633e-17
55	1069.9	0.0024091	15.466	0.096973	-8.3267e-17
56	1061.8	0.0024941	14.155	0.096973	4.1633e-17
57	1054.2	0.0025781	12.766	0.096973	4.1633e-17
58	1046.2	0.002671	11.373	0.096973	-8.3267e-17
59	1038.2	0.0027684	9.979	0.096973	2.7756e-17
60	1030.2	0.0028703	8.5828	0.096973	-2.7756e-17
61	1022.3	0.0029771	7.1075	0.096973	4.1633e-17
62	1014.0	0.0030953	5.7084	0.096973	0.0
63	1006.1	0.0032129	4.3082	0.096973	0.0
64	998.3	0.0033362	2.8294	0.096973	-4.1633e-17
65	990.1	0.0034729	1.4279	0.096973	0.0
66	982.37	0.0036089	-0.05186	0.096973	0.0
67	974.25	0.0037598	-1.5317	0.096973	8.3267e-17
68	966.19	0.0039185	-2.9335	0.096973	-5.5511e-17
69	958.59	0.0040767	-4.4127	0.096973	-2.7756e-17
70	950.62	0.0042522	-5.969	0.096973	2.7756e-17

Continua na página seguinte

Tabela A.20 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$u_2[kJ/kg]$	$s_1[kJ/(kg.K)]$	$s_2 - s_1$
71	942.29	0.0044472	-7.4465	0.096973	-2.7756e-17
72	934.43	0.0046426	-8.9228	0.096973	4.1633e-17
73	926.63	0.0048486	-10.475	0.096973	0.0
74	918.47	0.0050775	-11.948	0.096973	-6.9389e-17
75	910.77	0.0053073	-13.497	0.096973	5.5511e-17
76	902.74	0.0055628	-15.043	0.096973	0.0
77	894.76	0.0058332	-16.586	0.096973	0.0
78	886.85	0.0061196	-18.203	0.096973	0.0
79	878.62	0.0064386	-19.74	0.096973	0.0
80	870.84	0.0067609	-21.351	0.096973	-2.7756e-17
81	862.75	0.0071202	-22.957	0.096973	4.1633e-17
82	854.73	0.0075022	-24.559	0.096973	-1.3878e-17
83	846.79	0.0079087	-26.156	0.096973	-1.5266e-16
84	838.92	0.0083414	-27.749	0.096973	1.6653e-16
85	831.13	0.008802	-29.412	0.096973	-1.3878e-17
86	823.04	0.0093168	-31.069	0.096973	4.1633e-17
87	815.04	0.009867	-32.72	0.096973	-4.1633e-17
88	807.13	0.010455	-34.365	0.096973	1.3878e-17
89	799.3	0.011085	-36.078	0.096973	-1.3878e-17
90	791.2	0.01179	-37.784	0.096973	4.1633e-17
91	783.19	0.012547	-39.482	0.096973	-4.1633e-17
92	775.28	0.013361	-41.246	0.096973	5.5511e-17
93	767.12	0.014276	-42.928	0.096973	-4.1633e-17
94	759.39	0.01522	-44.674	0.096973	0.0
95	751.43	0.016282	-46.484	0.096973	4.1633e-17
96	743.24	0.017479	-48.212	0.096973	2.7756e-17
97	735.47	0.018723	-50.002	0.096973	-6.9389e-17
98	727.49	0.020126	-51.781	0.096973	-4.1633e-17
99	719.62	0.021649	-53.62	0.096973	4.1633e-17
100	711.54	0.023372	-55.448	0.096973	-4.1633e-17

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.21 – Variação de  $s$  em Processos Isentrópicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $v$ 

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$v_2 [m^3/kg]$	$s_1 [kJ/(kg.K)]$	$s_2 - s_1$
1	1500.0	0.00061761	0.00062938	0.096973	0.0
2	1492.1	0.00062938	0.00064167	0.096973	1.3878e-17
3	1484.2	0.00064167	0.0006545	0.096973	0.0
4	1476.1	0.0006545	0.00066727	0.096973	0.0
5	1468.3	0.00066727	0.00068058	0.096973	-4.1633e-17
6	1460.3	0.00068058	0.00069446	0.096973	0.0
7	1452.3	0.00069446	0.00070893	0.096973	2.7756e-17
8	1444.2	0.00070893	0.00072328	0.096973	1.3878e-17
9	1436.4	0.00072328	0.00073821	0.096973	0.0
10	1428.4	0.00073821	0.00075376	0.096973	-4.1633e-17
11	1420.4	0.00075376	0.00076995	0.096973	4.1633e-17
12	1412.3	0.00076995	0.00078594	0.096973	0.0
13	1404.6	0.00078594	0.00080346	0.096973	-1.3878e-17
14	1396.3	0.00080346	0.00082078	0.096973	0.0
15	1388.4	0.00082078	0.00083879	0.096973	-2.7756e-17
16	1380.5	0.00083879	0.00085751	0.096973	0.0
17	1372.5	0.00085751	0.00087594	0.096973	4.1633e-17
18	1364.8	0.00087594	0.00089615	0.096973	-4.1633e-17
19	1356.7	0.00089615	0.00091606	0.096973	4.1633e-17
20	1348.9	0.00091606	0.0009379	0.096973	0.0
21	1340.6	0.0009379	0.00095941	0.096973	-4.1633e-17
22	1332.8	0.00095941	0.00098175	0.096973	2.7756e-17
23	1324.9	0.00098175	0.001005	0.096973	0.0
24	1317.0	0.001005	0.0010291	0.096973	1.3878e-17
25	1309.0	0.0010291	0.0010542	0.096973	0.0
26	1301.0	0.0010542	0.0010802	0.096973	-5.5511e-17
27	1292.9	0.0010802	0.0011074	0.096973	4.1633e-17
28	1284.8	0.0011074	0.0011339	0.096973	1.3878e-17
29	1277.2	0.0011339	0.0011632	0.096973	-4.1633e-17
30	1269.0	0.0011632	0.0011936	0.096973	0.0
31	1260.9	0.0011936	0.0012235	0.096973	2.7756e-17
32	1253.2	0.0012235	0.0012564	0.096973	-2.7756e-17
33	1245.0	0.0012564	0.0012887	0.096973	2.7756e-17
34	1237.2	0.0012887	0.0013223	0.096973	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.21 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2[m^3/kg]$	$s_1[kJ/(kg.K)]$	$s_2 - s_1$
35	1229.4	0.0013223	0.0013593	0.096973	0.0
36	1221.2	0.0013593	0.0013956	0.096973	1.3878e-17
37	1213.4	0.0013956	0.0014356	0.096973	-4.1633e-17
38	1205.1	0.0014356	0.001475	0.096973	0.0
39	1197.3	0.001475	0.0015159	0.096973	2.7756e-17
40	1189.5	0.0015159	0.001561	0.096973	-2.7756e-17
41	1181.2	0.001561	0.0016054	0.096973	-1.3878e-17
42	1173.4	0.0016054	0.0016516	0.096973	1.3878e-17
43	1165.6	0.0016516	0.0017026	0.096973	2.7756e-17
44	1157.3	0.0017026	0.0017527	0.096973	0.0
45	1149.5	0.0017527	0.001805	0.096973	-2.7756e-17
46	1141.7	0.001805	0.0018627	0.096973	0.0
47	1133.5	0.0018627	0.0019195	0.096973	0.0
48	1125.7	0.0019195	0.0019787	0.096973	2.7756e-17
49	1117.9	0.0019787	0.0020441	0.096973	0.0
50	1109.7	0.0020441	0.0021085	0.096973	-2.7756e-17
51	1102.0	0.0021085	0.0021798	0.096973	6.9389e-17
52	1093.8	0.0021798	0.0022543	0.096973	-2.7756e-17
53	1085.7	0.0022543	0.0023278	0.096973	0.0
54	1078.0	0.0023278	0.0024091	0.096973	4.1633e-17
55	1069.9	0.0024091	0.0024941	0.096973	-8.3267e-17
56	1061.8	0.0024941	0.0025781	0.096973	4.1633e-17
57	1054.2	0.0025781	0.002671	0.096973	4.1633e-17
58	1046.2	0.002671	0.0027684	0.096973	-8.3267e-17
59	1038.2	0.0027684	0.0028703	0.096973	2.7756e-17
60	1030.2	0.0028703	0.0029771	0.096973	-2.7756e-17
61	1022.3	0.0029771	0.0030953	0.096973	4.1633e-17
62	1014.0	0.0030953	0.0032129	0.096973	0.0
63	1006.1	0.0032129	0.0033362	0.096973	0.0
64	998.3	0.0033362	0.0034729	0.096973	-4.1633e-17
65	990.1	0.0034729	0.0036089	0.096973	0.0
66	982.37	0.0036089	0.0037598	0.096973	0.0
67	974.25	0.0037598	0.0039185	0.096973	8.3267e-17
68	966.19	0.0039185	0.0040767	0.096973	-5.5511e-17
69	958.59	0.0040767	0.0042522	0.096973	-2.7756e-17
70	950.62	0.0042522	0.0044472	0.096973	2.7756e-17

Continua na página seguinte



Tabela A.21 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2[m^3/kg]$	$s_1[kJ/(kg.K)]$	$s_2 - s_1$
71	942.29	0.0044472	0.0046426	0.096973	-2.7756e-17
72	934.43	0.0046426	0.0048486	0.096973	4.1633e-17
73	926.63	0.0048486	0.0050775	0.096973	0.0
74	918.47	0.0050775	0.0053073	0.096973	-6.9389e-17
75	910.77	0.0053073	0.0055628	0.096973	5.5511e-17
76	902.74	0.0055628	0.0058332	0.096973	0.0
77	894.76	0.0058332	0.0061196	0.096973	0.0
78	886.85	0.0061196	0.0064386	0.096973	0.0
79	878.62	0.0064386	0.0067609	0.096973	0.0
80	870.84	0.0067609	0.0071202	0.096973	-2.7756e-17
81	862.75	0.0071202	0.0075022	0.096973	4.1633e-17
82	854.73	0.0075022	0.0079087	0.096973	-1.3878e-17
83	846.79	0.0079087	0.0083414	0.096973	-8.3267e-17
84	838.92	0.0083414	0.008802	0.096973	9.7145e-17
85	831.13	0.008802	0.0093168	0.096973	-1.3878e-17
86	823.04	0.0093168	0.009867	0.096973	0.0
87	815.04	0.009867	0.010455	0.096973	0.0
88	807.13	0.010455	0.011085	0.096973	1.3878e-17
89	799.3	0.011085	0.01179	0.096973	-1.3878e-17
90	791.2	0.01179	0.012547	0.096973	4.1633e-17
91	783.19	0.012547	0.013361	0.096973	-4.1633e-17
92	775.28	0.013361	0.014276	0.096973	5.5511e-17
93	767.12	0.014276	0.01522	0.096973	-4.1633e-17
94	759.39	0.01522	0.016282	0.096973	0.0
95	751.43	0.016282	0.017479	0.096973	4.1633e-17
96	743.24	0.017479	0.018723	0.096973	2.7756e-17
97	735.47	0.018723	0.020126	0.096973	-6.9389e-17
98	727.49	0.020126	0.021649	0.096973	-4.1633e-17
99	719.62	0.021649	0.023372	0.096973	4.1633e-17
100	711.54	0.023372	0.025251	0.096973	-4.1633e-17

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.22 – Variação de  $s$  em Processos Isentrópicos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $x$ 

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$x_2$	$s_1 [kJ/(kg.K)]$	$s_2 - s_1$
1	1500.0	0.00061761	0.94265	0.096973	0.0
2	1492.1	0.00062938	0.93549	0.096973	1.3878e-17
3	1484.2	0.00064167	0.92851	0.096973	0.0
4	1476.1	0.0006545	0.92202	0.096973	0.0
5	1468.3	0.00066727	0.91568	0.096973	0.0
6	1460.3	0.00068058	0.90949	0.096973	0.0
7	1452.3	0.00069446	0.90344	0.096973	0.0
8	1444.2	0.00070893	0.89781	0.096973	0.0
9	1436.4	0.00072328	0.8923	0.096973	0.0
10	1428.4	0.00073821	0.8869	0.096973	-4.1633e-17
11	1420.4	0.00075376	0.88162	0.096973	0.0
12	1412.3	0.00076995	0.8767	0.096973	0.0
13	1404.6	0.00078594	0.87162	0.096973	0.0
14	1396.3	0.00080346	0.86689	0.096973	-1.3878e-17
15	1388.4	0.00082078	0.86224	0.096973	1.3878e-17
16	1380.5	0.00083879	0.85768	0.096973	-2.7756e-17
17	1372.5	0.00085751	0.85343	0.096973	2.7756e-17
18	1364.8	0.00087594	0.84903	0.096973	-2.7756e-17
19	1356.7	0.00089615	0.84492	0.096973	-4.1633e-17
20	1348.9	0.00091606	0.84066	0.096973	0.0
21	1340.6	0.0009379	0.83668	0.096973	-4.1633e-17
22	1332.8	0.00095941	0.83277	0.096973	-4.1633e-17
23	1324.9	0.00098175	0.82892	0.096973	0.0
24	1317.0	0.001005	0.82512	0.096973	0.0
25	1309.0	0.0010291	0.82138	0.096973	0.0
26	1301.0	0.0010542	0.81769	0.096973	0.0
27	1292.9	0.0010802	0.81405	0.096973	2.7756e-17
28	1284.8	0.0011074	0.81066	0.096973	-2.7756e-17
29	1277.2	0.0011339	0.80711	0.096973	0.0
30	1269.0	0.0011632	0.80361	0.096973	0.0
31	1260.9	0.0011936	0.80035	0.096973	-1.3878e-17
32	1253.2	0.0012235	0.79693	0.096973	1.3878e-17
33	1245.0	0.0012564	0.79375	0.096973	-1.3878e-17
34	1237.2	0.0012887	0.79059	0.096973	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.22 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$x_2$	$s_1[kJ/(kg.K)]$	$s_2 - s_1$
35	1229.4	0.0013223	0.7873	0.096973	0.0
36	1221.2	0.0013593	0.78421	0.096973	1.3878e-17
37	1213.4	0.0013956	0.78098	0.096973	0.0
38	1205.1	0.0014356	0.77797	0.096973	0.0
39	1197.3	0.001475	0.77498	0.096973	-1.3878e-17
40	1189.5	0.0015159	0.77185	0.096973	1.3878e-17
41	1181.2	0.001561	0.76892	0.096973	2.7756e-17
42	1173.4	0.0016054	0.76601	0.096973	-2.7756e-17
43	1165.6	0.0016516	0.76297	0.096973	-1.3878e-17
44	1157.3	0.0017026	0.76012	0.096973	-2.7756e-17
45	1149.5	0.0017527	0.75729	0.096973	-1.3878e-17
46	1141.7	0.001805	0.75432	0.096973	0.0
47	1133.5	0.0018627	0.75154	0.096973	-5.5511e-17
48	1125.7	0.0019195	0.74878	0.096973	-4.1633e-17
49	1117.9	0.0019787	0.74588	0.096973	0.0
50	1109.7	0.0020441	0.74316	0.096973	1.3878e-17
51	1102.0	0.0021085	0.74031	0.096973	-1.3878e-17
52	1093.8	0.0021798	0.73747	0.096973	-1.3878e-17
53	1085.7	0.0022543	0.73481	0.096973	0.0
54	1078.0	0.0023278	0.73201	0.096973	0.0
55	1069.9	0.0024091	0.72924	0.096973	0.0
56	1061.8	0.0024941	0.72663	0.096973	0.0
57	1054.2	0.0025781	0.72388	0.096973	0.0
58	1046.2	0.002671	0.72115	0.096973	0.0
59	1038.2	0.0027684	0.71844	0.096973	1.3878e-17
60	1030.2	0.0028703	0.71575	0.096973	1.3878e-17
61	1022.3	0.0029771	0.71292	0.096973	0.0
62	1014.0	0.0030953	0.71025	0.096973	0.0
63	1006.1	0.0032129	0.7076	0.096973	0.0
64	998.3	0.0033362	0.70481	0.096973	-2.7756e-17
65	990.1	0.0034729	0.70218	0.096973	0.0
66	982.37	0.0036089	0.69943	0.096973	0.0
67	974.25	0.0037598	0.69668	0.096973	0.0
68	966.19	0.0039185	0.69409	0.096973	1.3878e-17
69	958.59	0.0040767	0.69137	0.096973	1.3878e-17
70	950.62	0.0042522	0.68852	0.096973	-1.3878e-17

Continua na página seguinte

Tabela A.22 – continuando da página anterior

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$x_2$	$s_1 [kJ/(kg.K)]$	$s_2 - s_1$
71	942.29	0.0044472	0.68583	0.096973	1.3878e-17
72	934.43	0.0046426	0.68314	0.096973	0.0
73	926.63	0.0048486	0.68033	0.096973	0.0
74	918.47	0.0050775	0.67766	0.096973	0.0
75	910.77	0.0053073	0.67487	0.096973	-1.3878e-17
76	902.74	0.0055628	0.67209	0.096973	0.0
77	894.76	0.0058332	0.66932	0.096973	0.0
78	886.85	0.0061196	0.66643	0.096973	0.0
79	878.62	0.0064386	0.66368	0.096973	0.0
80	870.84	0.0067609	0.66081	0.096973	-6.9389e-17
81	862.75	0.0071202	0.65794	0.096973	0.0
82	854.73	0.0075022	0.65509	0.096973	-1.3878e-17
83	846.79	0.0079087	0.65225	0.096973	0.0
84	838.92	0.0083414	0.64942	0.096973	-1.3878e-17
85	831.13	0.008802	0.64646	0.096973	-1.3878e-17
86	823.04	0.0093168	0.64352	0.096973	0.0
87	815.04	0.009867	0.64058	0.096973	0.0
88	807.13	0.010455	0.63766	0.096973	1.3878e-17
89	799.3	0.011085	0.63461	0.096973	1.3878e-17
90	791.2	0.01179	0.63158	0.096973	8.3267e-17
91	783.19	0.012547	0.62856	0.096973	-5.5511e-17
92	775.28	0.013361	0.62542	0.096973	-1.3878e-17
93	767.12	0.014276	0.62242	0.096973	0.0
94	759.39	0.01522	0.6193	0.096973	-2.7756e-17
95	751.43	0.016282	0.61606	0.096973	0.0
96	743.24	0.017479	0.61297	0.096973	2.7756e-17
97	735.47	0.018723	0.60976	0.096973	5.5511e-17
98	727.49	0.020126	0.60657	0.096973	0.0
99	719.62	0.021649	0.60326	0.096973	0.0
100	711.54	0.023372	0.59996	0.096973	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.23 – Variação de  $u$  em Processos Iso- $u$  Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $h$ 

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$h_2 [kJ/kg]$	$u_1 [kJ/kg]$	$u_2 - u_1$
1	1500.0	0.00017231	-39.46	-55.225	0.0
2	1492.1	0.0001792	-39.208	-55.225	0.0
3	1484.2	0.00018643	-38.954	-55.225	0.0
4	1476.1	0.00019404	-38.712	-55.225	0.0
5	1468.3	0.00020165	-38.47	-55.225	0.0
6	1460.3	0.00020964	-38.227	-55.225	0.0
7	1452.3	0.00021803	-37.984	-55.225	0.0
8	1444.2	0.00022682	-37.753	-55.225	0.0
9	1436.4	0.0002356	-37.522	-55.225	-1.4211e-14
10	1428.4	0.0002448	-37.292	-55.225	0.0
11	1420.4	0.00025443	-37.074	-55.225	0.0
12	1412.7	0.00026401	-36.846	-55.225	0.0
13	1404.6	0.00027457	-36.63	-55.225	-7.1054e-15
14	1396.7	0.00028506	-36.415	-55.225	-7.1054e-15
15	1388.9	0.00029604	-36.201	-55.225	0.0
16	1380.9	0.00030753	-35.989	-55.225	7.1054e-15
17	1372.9	0.00031956	-35.779	-55.225	7.1054e-15
18	1364.8	0.00033214	-35.581	-55.225	0.0
19	1357.1	0.0003446	-35.374	-55.225	0.0
20	1348.9	0.00035836	-35.181	-55.225	0.0
21	1341.1	0.000372	-34.989	-55.225	0.0
22	1333.2	0.00038625	-34.799	-55.225	0.0
23	1325.3	0.00040115	-34.612	-55.225	0.0
24	1317.4	0.00041672	-34.427	-55.225	1.4211e-14
25	1309.4	0.000433	-34.244	-55.225	0.0
26	1301.4	0.00045004	-34.065	-55.225	2.1316e-14
27	1293.4	0.00046785	-33.888	-55.225	1.4211e-14
28	1285.3	0.0004865	-33.723	-55.225	-1.4211e-14
29	1277.6	0.0005049	-33.552	-55.225	-1.4211e-14
30	1269.5	0.00052527	-33.393	-55.225	0.0
31	1261.8	0.0005454	-33.228	-55.225	1.4211e-14
32	1253.6	0.00056768	-33.075	-55.225	0.0
33	1245.9	0.00058969	-32.916	-55.225	1.4211e-14
34	1237.7	0.00061409	-32.77	-55.225	1.4211e-14

Continua na página seguinte

Tabela A.23 – continuando da página anterior

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$h_2 [kJ/kg]$	$u_1 [kJ/kg]$	$u_2 - u_1$
35	1229.9	0.0006382	-32.626	-55.225	0.0
36	1222.1	0.0006634	-32.478	-55.225	0.0
37	1213.9	0.00069134	-32.342	-55.225	0.0
38	1206.0	0.00071898	-32.208	-55.225	0.0
39	1198.2	0.0007479	-32.071	-55.225	0.0
40	1190.0	0.00077997	-31.945	-55.225	-1.4211e-14
41	1182.1	0.00081172	-31.823	-55.225	1.4211e-14
42	1174.3	0.00084495	-31.697	-55.225	0.0
43	1166.1	0.00088184	-31.582	-55.225	0.0
44	1158.2	0.00091837	-31.471	-55.225	2.1316e-14
45	1150.4	0.00095664	-31.363	-55.225	0.0
46	1142.6	0.00099674	-31.254	-55.225	-2.1316e-14
47	1134.4	0.0010413	-31.154	-55.225	0.0
48	1126.6	0.0010854	-31.053	-55.225	0.0
49	1118.4	0.0011345	-30.961	-55.225	2.1316e-14
50	1110.6	0.0011832	-30.874	-55.225	0.0
51	1102.9	0.0012343	-30.785	-55.225	0.0
52	1094.7	0.0012911	-30.705	-55.225	1.4211e-14
53	1087.0	0.0013475	-30.625	-55.225	0.0
54	1078.9	0.0014102	-30.549	-55.225	1.4211e-14
55	1070.8	0.0014763	-30.482	-55.225	0.0
56	1063.1	0.0015419	-30.415	-55.225	-1.4211e-14
57	1055.1	0.0016149	-30.352	-55.225	0.0
58	1047.1	0.0016919	-30.294	-55.225	0.0
59	1039.1	0.001773	-30.24	-55.225	0.0
60	1031.1	0.0018585	-30.19	-55.225	0.0
61	1023.2	0.0019487	-30.145	-55.225	0.0
62	1015.3	0.0020438	-30.104	-55.225	1.4211e-14
63	1007.4	0.0021442	-30.067	-55.225	0.0
64	999.6	0.00225	-30.033	-55.225	0.0
65	991.39	0.0023682	-30.004	-55.225	-1.4211e-14
66	983.65	0.0024865	-29.979	-55.225	0.0
67	975.53	0.0026186	-29.958	-55.225	-1.4211e-14
68	967.46	0.0027586	-29.943	-55.225	-2.1316e-14
69	959.86	0.002899	-29.931	-55.225	0.0
70	951.88	0.0030558	-29.923	-55.225	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.23 – continuando da página anterior

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$h_2 [kJ/kg]$	$u_1 [kJ/kg]$	$u_2 - u_1$
71	943.95	0.0032221	-29.919	-55.225	0.0
72	935.67	0.0034081	-29.92	-55.225	-1.4211e-14
73	927.85	0.0035959	-29.926	-55.225	0.0
74	920.09	0.0037953	-29.935	-55.225	-1.4211e-14
75	911.98	0.0040184	-29.949	-55.225	1.4211e-14
76	903.94	0.0042561	-29.968	-55.225	0.0
77	895.95	0.0045095	-29.991	-55.225	0.0
78	888.03	0.0047797	-30.017	-55.225	0.0
79	880.18	0.0050678	-30.048	-55.225	1.4211e-14
80	872.39	0.0053752	-30.084	-55.225	2.1316e-14
81	864.29	0.0057203	-30.125	-55.225	-2.1316e-14
82	856.25	0.0060899	-30.17	-55.225	2.1316e-14
83	848.3	0.0064858	-30.218	-55.225	0.0
84	840.41	0.0069103	-30.271	-55.225	0.0
85	832.6	0.0073654	-30.33	-55.225	0.0
86	824.51	0.0078778	-30.392	-55.225	0.0
87	816.49	0.0084294	-30.459	-55.225	0.0
88	808.56	0.0090236	-30.529	-55.225	0.0
89	800.71	0.0096639	-30.602	-55.225	0.0
90	792.95	0.010354	-30.682	-55.225	0.0
91	784.92	0.011134	-30.766	-55.225	0.0
92	776.99	0.011978	-30.857	-55.225	0.0
93	768.81	0.012933	-30.947	-55.225	0.0
94	761.06	0.013928	-31.045	-55.225	0.0
95	753.08	0.015054	-31.145	-55.225	0.0
96	745.19	0.016281	-31.253	-55.225	2.8422e-14
97	737.08	0.017674	-31.364	-55.225	0.0
98	729.08	0.019198	-31.477	-55.225	0.0
99	721.18	0.020866	-31.593	-55.225	0.0
100	713.39	0.022691	-31.716	-55.225	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.24 – Variação de  $u$  em Processos Iso- $u$  Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $P$ 

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$P_2 [kPa]$	$u_1 [kJ/kg]$	$u_2 - u_1$
1	1500.0	0.00017231	87977.0	-55.225	0.0
2	1492.1	0.0001792	85915.0	-55.225	0.0
3	1484.2	0.00018643	83853.0	-55.225	0.0
4	1476.1	0.00019404	81886.0	-55.225	0.0
5	1468.3	0.00020165	79923.0	-55.225	0.0
6	1460.3	0.00020964	77964.0	-55.225	0.0
7	1452.3	0.00021803	76011.0	-55.225	0.0
8	1444.2	0.00022682	74159.0	-55.225	0.0
9	1436.4	0.0002356	72316.0	-55.225	-1.4211e-14
10	1428.4	0.0002448	70482.0	-55.225	0.0
11	1420.4	0.00025443	68750.0	-55.225	0.0
12	1412.7	0.00026401	66940.0	-55.225	0.0
13	1404.6	0.00027457	65232.0	-55.225	-7.1054e-15
14	1396.7	0.00028506	63539.0	-55.225	-7.1054e-15
15	1388.9	0.00029604	61859.0	-55.225	0.0
16	1380.9	0.00030753	60196.0	-55.225	7.1054e-15
17	1372.9	0.00031956	58549.0	-55.225	7.1054e-15
18	1364.8	0.00033214	57004.0	-55.225	0.0
19	1357.1	0.0003446	55392.0	-55.225	0.0
20	1348.9	0.00035836	53883.0	-55.225	0.0
21	1341.1	0.000372	52391.0	-55.225	0.0
22	1333.2	0.00038625	50919.0	-55.225	0.0
23	1325.3	0.00040115	49466.0	-55.225	0.0
24	1317.4	0.00041672	48032.0	-55.225	1.4211e-14
25	1309.4	0.000433	46620.0	-55.225	0.0
26	1301.4	0.00045004	45229.0	-55.225	2.1316e-14
27	1293.4	0.00046785	43859.0	-55.225	1.4211e-14
28	1285.3	0.0004865	42586.0	-55.225	-1.4211e-14
29	1277.6	0.0005049	41261.0	-55.225	-1.4211e-14
30	1269.5	0.00052527	40030.0	-55.225	0.0
31	1261.8	0.0005454	38749.0	-55.225	1.4211e-14
32	1253.6	0.00056768	37562.0	-55.225	0.0
33	1245.9	0.00058969	36328.0	-55.225	1.4211e-14
34	1237.7	0.00061409	35185.0	-55.225	1.4211e-14

Continua na página seguinte



Tabela A.24 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$P_2[kPa]$	$u_1[kJ/kg]$	$u_2 - u_1$
35	1229.9	0.0006382	34065.0	-55.225	0.0
36	1222.1	0.0006634	32902.0	-55.225	0.0
37	1213.9	0.00069134	31827.0	-55.225	0.0
38	1206.0	0.00071898	30775.0	-55.225	0.0
39	1198.2	0.0007479	29686.0	-55.225	0.0
40	1190.0	0.00077997	28680.0	-55.225	-1.4211e-14
41	1182.1	0.00081172	27697.0	-55.225	1.4211e-14
42	1174.3	0.00084495	26681.0	-55.225	0.0
43	1166.1	0.00088184	25744.0	-55.225	0.0
44	1158.2	0.00091837	24831.0	-55.225	2.1316e-14
45	1150.4	0.00095664	23940.0	-55.225	0.0
46	1142.6	0.00099674	23021.0	-55.225	-2.1316e-14
47	1134.4	0.0010413	22176.0	-55.225	0.0
48	1126.6	0.0010854	21306.0	-55.225	0.0
49	1118.4	0.0011345	20506.0	-55.225	2.1316e-14
50	1110.6	0.0011832	19729.0	-55.225	0.0
51	1102.9	0.0012343	18930.0	-55.225	0.0
52	1094.7	0.0012911	18197.0	-55.225	1.4211e-14
53	1087.0	0.0013475	17444.0	-55.225	0.0
54	1078.9	0.0014102	16715.0	-55.225	1.4211e-14
55	1070.8	0.0014763	16047.0	-55.225	0.0
56	1063.1	0.0015419	15363.0	-55.225	-1.4211e-14
57	1055.1	0.0016149	14701.0	-55.225	0.0
58	1047.1	0.0016919	14061.0	-55.225	0.0
59	1039.1	0.001773	13443.0	-55.225	0.0
60	1031.1	0.0018585	12847.0	-55.225	0.0
61	1023.2	0.0019487	12271.0	-55.225	0.0
62	1015.3	0.0020438	11716.0	-55.225	1.4211e-14
63	1007.4	0.0021442	11181.0	-55.225	0.0
64	999.6	0.00225	10638.0	-55.225	0.0
65	991.39	0.0023682	10143.0	-55.225	-1.4211e-14
66	983.65	0.0024865	9640.9	-55.225	0.0
67	975.53	0.0026186	9159.1	-55.225	-1.4211e-14
68	967.46	0.0027586	8721.1	-55.225	-2.1316e-14
69	959.86	0.002899	8277.4	-55.225	0.0
70	951.88	0.0030558	7852.6	-55.225	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.24 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$P_2[kPa]$	$u_1[kJ/kg]$	$u_2 - u_1$
71	943.95	0.0032221	7425.1	-55.225	0.0
72	935.67	0.0034081	7037.0	-55.225	-1.4211e-14
73	927.85	0.0035959	6666.1	-55.225	0.0
74	920.09	0.0037953	6293.5	-55.225	-1.4211e-14
75	911.98	0.0040184	5938.6	-55.225	1.4211e-14
76	903.94	0.0042561	5600.8	-55.225	0.0
77	895.95	0.0045095	5279.5	-55.225	0.0
78	888.03	0.0047797	4974.1	-55.225	0.0
79	880.18	0.0050678	4683.9	-55.225	1.4211e-14
80	872.39	0.0053752	4395.0	-55.225	2.1316e-14
81	864.29	0.0057203	4121.6	-55.225	-2.1316e-14
82	856.25	0.0060899	3863.1	-55.225	2.1316e-14
83	848.3	0.0064858	3618.8	-55.225	0.0
84	840.41	0.0069103	3388.0	-55.225	0.0
85	832.6	0.0073654	3160.2	-55.225	0.0
86	824.51	0.0078778	2946.0	-55.225	0.0
87	816.49	0.0084294	2744.6	-55.225	0.0
88	808.56	0.0090236	2555.5	-55.225	0.0
89	800.71	0.0096639	2378.1	-55.225	0.0
90	792.95	0.010354	2204.3	-55.225	0.0
91	784.92	0.011134	2042.0	-55.225	0.0
92	776.99	0.011978	1884.1	-55.225	0.0
93	768.81	0.012933	1743.1	-55.225	0.0
94	761.06	0.013928	1606.2	-55.225	0.0
95	753.08	0.015054	1479.0	-55.225	0.0
96	745.19	0.016281	1356.3	-55.225	2.8422e-14
97	737.08	0.017674	1242.9	-55.225	0.0
98	729.08	0.019198	1138.1	-55.225	0.0
99	721.18	0.020866	1041.5	-55.225	0.0
100	713.39	0.022691	948.91	-55.225	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.25 – Variação de  $u$  em Processos Iso- $u$  Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $s$ 

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$u_1[kJ/kg]$	$u_2 - u_1$
1	1500.0	0.00017231	-0.020523	-55.225	0.0
2	1492.1	0.0001792	-0.020101	-55.225	0.0
3	1484.2	0.00018643	-0.019665	-55.225	0.0
4	1476.1	0.00019404	-0.019236	-55.225	0.0
5	1468.3	0.00020165	-0.018794	-55.225	0.0
6	1460.3	0.00020964	-0.01834	-55.225	0.0
7	1452.3	0.00021803	-0.017873	-55.225	0.0
8	1444.2	0.00022682	-0.017415	-55.225	0.0
9	1436.4	0.0002356	-0.016945	-55.225	-1.4211e-14
10	1428.4	0.0002448	-0.016462	-55.225	0.0
11	1420.4	0.00025443	-0.015991	-55.225	0.0
12	1412.7	0.00026401	-0.015483	-55.225	0.0
13	1404.6	0.00027457	-0.014988	-55.225	-7.1054e-15
14	1396.7	0.00028506	-0.01448	-55.225	-7.1054e-15
15	1388.9	0.00029604	-0.01396	-55.225	0.0
16	1380.9	0.00030753	-0.013427	-55.225	7.1054e-15
17	1372.9	0.00031956	-0.012882	-55.225	7.1054e-15
18	1364.8	0.00033214	-0.012352	-55.225	0.0
19	1357.1	0.0003446	-0.011781	-55.225	0.0
20	1348.9	0.00035836	-0.011227	-55.225	0.0
21	1341.1	0.000372	-0.010661	-55.225	0.0
22	1333.2	0.00038625	-0.010082	-55.225	0.0
23	1325.3	0.00040115	-0.0094906	-55.225	0.0
24	1317.4	0.00041672	-0.0088862	-55.225	1.4211e-14
25	1309.4	0.000433	-0.0082688	-55.225	0.0
26	1301.4	0.00045004	-0.0076382	-55.225	2.1316e-14
27	1293.4	0.00046785	-0.0069942	-55.225	1.4211e-14
28	1285.3	0.0004865	-0.0063735	-55.225	-1.4211e-14
29	1277.6	0.0005049	-0.005703	-55.225	-1.4211e-14
30	1269.5	0.00052527	-0.0050569	-55.225	0.0
31	1261.8	0.0005454	-0.0043592	-55.225	1.4211e-14
32	1253.6	0.00056768	-0.0036871	-55.225	0.0
33	1245.9	0.00058969	-0.0029615	-55.225	1.4211e-14
34	1237.7	0.00061409	-0.0022629	-55.225	1.4211e-14

Continua na página seguinte

Tabela A.25 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$u_1[kJ/kg]$	$u_2 - u_1$
35	1229.9	0.0006382	-0.0015512	-55.225	0.0
36	1222.1	0.0006634	-0.00078312	-55.225	0.0
37	1213.9	0.00069134	-4.3948e-5	-55.225	0.0
38	1206.0	0.00071898	0.00070875	-55.225	0.0
39	1198.2	0.0007479	0.0015206	-55.225	0.0
40	1190.0	0.00077997	0.0023016	-55.225	-1.4211e-14
41	1182.1	0.00081172	0.0030964	-55.225	1.4211e-14
42	1174.3	0.00084495	0.0039533	-55.225	0.0
43	1166.1	0.00088184	0.0047772	-55.225	0.0
44	1158.2	0.00091837	0.0056154	-55.225	2.1316e-14
45	1150.4	0.00095664	0.006468	-55.225	0.0
46	1142.6	0.00099674	0.0073865	-55.225	-2.1316e-14
47	1134.4	0.0010413	0.0082691	-55.225	0.0
48	1126.6	0.0010854	0.0092197	-55.225	0.0
49	1118.4	0.0011345	0.010133	-55.225	2.1316e-14
50	1110.6	0.0011832	0.011061	-55.225	0.0
51	1102.9	0.0012343	0.01206	-55.225	0.0
52	1094.7	0.0012911	0.013019	-55.225	1.4211e-14
53	1087.0	0.0013475	0.014051	-55.225	0.0
54	1078.9	0.0014102	0.0151	-55.225	1.4211e-14
55	1070.8	0.0014763	0.016107	-55.225	0.0
56	1063.1	0.0015419	0.01719	-55.225	-1.4211e-14
57	1055.1	0.0016149	0.018291	-55.225	0.0
58	1047.1	0.0016919	0.019409	-55.225	0.0
59	1039.1	0.001773	0.020545	-55.225	0.0
60	1031.1	0.0018585	0.021699	-55.225	0.0
61	1023.2	0.0019487	0.02287	-55.225	0.0
62	1015.3	0.0020438	0.02406	-55.225	1.4211e-14
63	1007.4	0.0021442	0.025267	-55.225	0.0
64	999.6	0.00225	0.026561	-55.225	0.0
65	991.39	0.0023682	0.027806	-55.225	-1.4211e-14
66	983.65	0.0024865	0.02914	-55.225	0.0
67	975.53	0.0026186	0.030494	-55.225	-1.4211e-14
68	967.46	0.0027586	0.031795	-55.225	-2.1316e-14
69	959.86	0.002899	0.033189	-55.225	0.0
70	951.88	0.0030558	0.034603	-55.225	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.25 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$u_1[kJ/kg]$	$u_2 - u_1$
71	943.95	0.0032221	0.036114	-55.225	0.0
72	935.67	0.0034081	0.037571	-55.225	-1.4211e-14
73	927.85	0.0035959	0.039049	-55.225	0.0
74	920.09	0.0037953	0.040626	-55.225	-1.4211e-14
75	911.98	0.0040184	0.042227	-55.225	1.4211e-14
76	903.94	0.0042561	0.043851	-55.225	0.0
77	895.95	0.0045095	0.045497	-55.225	0.0
78	888.03	0.0047797	0.047167	-55.225	0.0
79	880.18	0.0050678	0.04886	-55.225	1.4211e-14
80	872.39	0.0053752	0.050663	-55.225	2.1316e-14
81	864.29	0.0057203	0.052491	-55.225	-2.1316e-14
82	856.25	0.0060899	0.054345	-55.225	2.1316e-14
83	848.3	0.0064858	0.056224	-55.225	0.0
84	840.41	0.0069103	0.058129	-55.225	0.0
85	832.6	0.0073654	0.060152	-55.225	0.0
86	824.51	0.0078778	0.062203	-55.225	0.0
87	816.49	0.0084294	0.064282	-55.225	0.0
88	808.56	0.0090236	0.066389	-55.225	0.0
89	800.71	0.0096639	0.068524	-55.225	0.0
90	792.95	0.010354	0.070786	-55.225	0.0
91	784.92	0.011134	0.073079	-55.225	0.0
92	776.99	0.011978	0.075504	-55.225	0.0
93	768.81	0.012933	0.077859	-55.225	0.0
94	761.06	0.013928	0.080348	-55.225	0.0
95	753.08	0.015054	0.082871	-55.225	0.0
96	745.19	0.016281	0.085534	-55.225	2.8422e-14
97	737.08	0.017674	0.088232	-55.225	0.0
98	729.08	0.019198	0.090966	-55.225	0.0
99	721.18	0.020866	0.093736	-55.225	0.0
100	713.39	0.022691	0.096654	-55.225	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.26 – Variação de  $u$  em Processos Iso- $u$  Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $T$ 

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$T_2[K]$	$u_1[kJ/kg]$	$u_2 - u_1$
1	1500.0	0.00017231	1492.1	-55.225	0.0
2	1492.1	0.0001792	1484.1	-55.225	0.0
3	1484.1	0.00018643	1476.2	-55.225	0.0
4	1476.2	0.00019404	1468.2	-55.225	0.0
5	1468.2	0.00020165	1460.3	-55.225	0.0
6	1460.3	0.00020964	1452.3	-55.225	0.0
7	1452.3	0.00021803	1444.4	-55.225	0.0
8	1444.4	0.00022682	1436.4	-55.225	0.0
9	1436.4	0.0002356	1428.5	-55.225	-1.4211e-14
10	1428.5	0.0002448	1420.5	-55.225	0.0
11	1420.5	0.00025443	1412.6	-55.225	0.0
12	1412.6	0.00026401	1404.6	-55.225	0.0
13	1404.6	0.00027457	1396.7	-55.225	-7.1054e-15
14	1396.7	0.00028506	1388.8	-55.225	-7.1054e-15
15	1388.8	0.00029604	1380.8	-55.225	0.0
16	1380.8	0.00030753	1372.9	-55.225	7.1054e-15
17	1372.9	0.00031956	1364.9	-55.225	7.1054e-15
18	1364.9	0.00033214	1357.0	-55.225	0.0
19	1357.0	0.0003446	1349.0	-55.225	0.0
20	1349.0	0.00035836	1341.1	-55.225	0.0
21	1341.1	0.000372	1333.1	-55.225	0.0
22	1333.1	0.00038625	1325.2	-55.225	0.0
23	1325.2	0.00040115	1317.2	-55.225	0.0
24	1317.2	0.00041672	1309.3	-55.225	1.4211e-14
25	1309.3	0.000433	1301.4	-55.225	0.0
26	1301.4	0.00045004	1293.4	-55.225	2.1316e-14
27	1293.4	0.00046785	1285.5	-55.225	1.4211e-14
28	1285.5	0.0004865	1277.5	-55.225	-1.4211e-14
29	1277.5	0.0005049	1269.6	-55.225	-1.4211e-14
30	1269.6	0.00052527	1261.6	-55.225	0.0
31	1261.6	0.0005454	1253.7	-55.225	1.4211e-14
32	1253.7	0.00056768	1245.7	-55.225	0.0
33	1245.7	0.00058969	1237.8	-55.225	1.4211e-14
34	1237.8	0.00061409	1229.8	-55.225	1.4211e-14

Continua na página seguinte

Tabela A.26 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$T_2[K]$	$u_1[kJ/kg]$	$u_2 - u_1$
35	1229.8	0.0006382	1221.9	-55.225	0.0
36	1221.9	0.0006634	1213.9	-55.225	0.0
37	1213.9	0.00069134	1206.0	-55.225	0.0
38	1206.0	0.00071898	1198.1	-55.225	0.0
39	1198.1	0.0007479	1190.1	-55.225	0.0
40	1190.1	0.00077997	1182.2	-55.225	-1.4211e-14
41	1182.2	0.00081172	1174.2	-55.225	1.4211e-14
42	1174.2	0.00084495	1166.3	-55.225	0.0
43	1166.3	0.00088184	1158.3	-55.225	0.0
44	1158.3	0.00091837	1150.4	-55.225	2.1316e-14
45	1150.4	0.00095664	1142.4	-55.225	0.0
46	1142.4	0.00099674	1134.5	-55.225	-2.1316e-14
47	1134.5	0.0010413	1126.5	-55.225	0.0
48	1126.5	0.0010854	1118.6	-55.225	0.0
49	1118.6	0.0011345	1110.6	-55.225	2.1316e-14
50	1110.6	0.0011832	1102.7	-55.225	0.0
51	1102.7	0.0012343	1094.8	-55.225	0.0
52	1094.8	0.0012911	1086.8	-55.225	1.4211e-14
53	1086.8	0.0013475	1078.9	-55.225	0.0
54	1078.9	0.0014102	1070.9	-55.225	1.4211e-14
55	1070.9	0.0014763	1063.0	-55.225	0.0
56	1063.0	0.0015419	1055.0	-55.225	-1.4211e-14
57	1055.0	0.0016149	1047.1	-55.225	0.0
58	1047.1	0.0016919	1039.1	-55.225	0.0
59	1039.1	0.001773	1031.2	-55.225	0.0
60	1031.2	0.0018585	1023.2	-55.225	0.0
61	1023.2	0.0019487	1015.3	-55.225	0.0
62	1015.3	0.0020438	1007.3	-55.225	1.4211e-14
63	1007.3	0.0021442	999.4	-55.225	0.0
64	999.4	0.00225	991.46	-55.225	0.0
65	991.46	0.0023682	983.51	-55.225	-1.4211e-14
66	983.51	0.0024865	975.56	-55.225	0.0
67	975.56	0.0026186	967.62	-55.225	-1.4211e-14
68	967.62	0.0027586	959.67	-55.225	-2.1316e-14
69	959.67	0.002899	951.73	-55.225	0.0
70	951.73	0.0030558	943.78	-55.225	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.26 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$T_2[K]$	$u_1[kJ/kg]$	$u_2 - u_1$
71	943.78	0.0032221	935.83	-55.225	0.0
72	935.83	0.0034081	927.89	-55.225	-1.4211e-14
73	927.89	0.0035959	919.94	-55.225	0.0
74	919.94	0.0037953	912.0	-55.225	-1.4211e-14
75	912.0	0.0040184	904.05	-55.225	1.4211e-14
76	904.05	0.0042561	896.1	-55.225	0.0
77	896.1	0.0045095	888.16	-55.225	0.0
78	888.16	0.0047797	880.21	-55.225	0.0
79	880.21	0.0050678	872.27	-55.225	1.4211e-14
80	872.27	0.0053752	864.32	-55.225	2.1316e-14
81	864.32	0.0057203	856.37	-55.225	-2.1316e-14
82	856.37	0.0060899	848.43	-55.225	2.1316e-14
83	848.43	0.0064858	840.48	-55.225	0.0
84	840.48	0.0069103	832.54	-55.225	0.0
85	832.54	0.0073654	824.59	-55.225	0.0
86	824.59	0.0078778	816.64	-55.225	0.0
87	816.64	0.0084294	808.7	-55.225	0.0
88	808.7	0.0090236	800.75	-55.225	0.0
89	800.75	0.0096639	792.81	-55.225	0.0
90	792.81	0.010354	784.86	-55.225	0.0
91	784.86	0.011134	776.91	-55.225	0.0
92	776.91	0.011978	768.97	-55.225	0.0
93	768.97	0.012933	761.02	-55.225	0.0
94	761.02	0.013928	753.08	-55.225	0.0
95	753.08	0.015054	745.13	-55.225	0.0
96	745.13	0.016281	737.18	-55.225	2.8422e-14
97	737.18	0.017674	729.24	-55.225	0.0
98	729.24	0.019198	721.29	-55.225	0.0
99	721.29	0.020866	713.35	-55.225	0.0
100	713.35	0.022691	705.4	-55.225	0.0

Fonte: Autoria Própria



Tabela A.27 – Variação de  $u$  em Processos Iso- $u$  Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $v$ 

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2[m^3/kg]$	$u_1[kJ/kg]$	$u_2 - u_1$
1	1500.0	0.00017231	0.0001792	-55.225	-7.1054e-15
2	1492.1	0.0001792	0.00018643	-55.225	-7.1054e-15
3	1484.2	0.00018643	0.00019404	-55.225	7.1054e-15
4	1476.1	0.00019404	0.00020165	-55.225	7.1054e-15
5	1468.3	0.00020165	0.00020964	-55.225	0.0
6	1460.3	0.00020964	0.00021803	-55.225	-1.4211e-14
7	1452.3	0.00021803	0.00022682	-55.225	0.0
8	1444.2	0.00022682	0.0002356	-55.225	0.0
9	1436.4	0.0002356	0.0002448	-55.225	0.0
10	1428.4	0.0002448	0.00025443	-55.225	7.1054e-15
11	1420.4	0.00025443	0.00026401	-55.225	0.0
12	1412.7	0.00026401	0.00027457	-55.225	0.0
13	1404.6	0.00027457	0.00028506	-55.225	7.1054e-15
14	1396.7	0.00028506	0.00029604	-55.225	-1.4211e-14
15	1388.9	0.00029604	0.00030753	-55.225	1.4211e-14
16	1380.9	0.00030753	0.00031956	-55.225	-7.1054e-15
17	1372.9	0.00031956	0.00033214	-55.225	1.4211e-14
18	1364.8	0.00033214	0.0003446	-55.225	-2.1316e-14
19	1357.1	0.0003446	0.00035836	-55.225	1.4211e-14
20	1348.9	0.00035836	0.000372	-55.225	-7.1054e-15
21	1341.1	0.000372	0.00038625	-55.225	0.0
22	1333.2	0.00038625	0.00040115	-55.225	0.0
23	1325.3	0.00040115	0.00041672	-55.225	-7.1054e-15
24	1317.4	0.00041672	0.000433	-55.225	1.4211e-14
25	1309.4	0.000433	0.00045004	-55.225	-1.4211e-14
26	1301.4	0.00045004	0.00046785	-55.225	7.1054e-15
27	1293.4	0.00046785	0.0004865	-55.225	0.0
28	1285.3	0.0004865	0.0005049	-55.225	1.4211e-14
29	1277.6	0.0005049	0.00052527	-55.225	-7.1054e-15
30	1269.5	0.00052527	0.0005454	-55.225	0.0
31	1261.8	0.0005454	0.00056768	-55.225	-7.1054e-15
32	1253.6	0.00056768	0.00058969	-55.225	7.1054e-15
33	1245.9	0.00058969	0.00061409	-55.225	-1.4211e-14
34	1237.7	0.00061409	0.0006382	-55.225	3.5527e-14

Continua na página seguinte

Tabela A.27 – continuando da página anterior

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$v_2 [m^3/kg]$	$u_1 [kJ/kg]$	$u_2 - u_1$
35	1229.9	0.0006382	0.0006634	-55.225	-3.5527e-14
36	1222.1	0.0006634	0.00069134	-55.225	-1.4211e-14
37	1213.9	0.00069134	0.00071898	-55.225	2.8422e-14
38	1206.0	0.00071898	0.0007479	-55.225	0.0
39	1198.2	0.0007479	0.00077997	-55.225	0.0
40	1190.0	0.00077997	0.00081172	-55.225	0.0
41	1182.1	0.00081172	0.00084495	-55.225	-1.4211e-14
42	1174.3	0.00084495	0.00088184	-55.225	1.4211e-14
43	1166.1	0.00088184	0.00091837	-55.225	-1.4211e-14
44	1158.2	0.00091837	0.00095664	-55.225	1.4211e-14
45	1150.4	0.00095664	0.00099674	-55.225	0.0
46	1142.6	0.00099674	0.0010413	-55.225	0.0
47	1134.4	0.0010413	0.0010854	-55.225	0.0
48	1126.6	0.0010854	0.0011345	-55.225	0.0
49	1118.4	0.0011345	0.0011832	-55.225	2.1316e-14
50	1110.6	0.0011832	0.0012343	-55.225	-2.1316e-14
51	1102.9	0.0012343	0.0012911	-55.225	0.0
52	1094.7	0.0012911	0.0013475	-55.225	0.0
53	1087.0	0.0013475	0.0014102	-55.225	2.1316e-14
54	1078.9	0.0014102	0.0014763	-55.225	-2.1316e-14
55	1070.8	0.0014763	0.0015419	-55.225	0.0
56	1063.1	0.0015419	0.0016149	-55.225	0.0
57	1055.1	0.0016149	0.0016919	-55.225	0.0
58	1047.1	0.0016919	0.001773	-55.225	-1.4211e-14
59	1039.1	0.001773	0.0018585	-55.225	1.4211e-14
60	1031.1	0.0018585	0.0019487	-55.225	2.1316e-14
61	1023.2	0.0019487	0.0020438	-55.225	-2.1316e-14
62	1015.3	0.0020438	0.0021442	-55.225	0.0
63	1007.4	0.0021442	0.00225	-55.225	0.0
64	999.6	0.00225	0.0023682	-55.225	-2.8422e-14
65	991.39	0.0023682	0.0024865	-55.225	2.8422e-14
66	983.65	0.0024865	0.0026186	-55.225	0.0
67	975.53	0.0026186	0.0027586	-55.225	0.0
68	967.46	0.0027586	0.002899	-55.225	-1.4211e-14
69	959.86	0.002899	0.0030558	-55.225	1.4211e-14
70	951.88	0.0030558	0.0032221	-55.225	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.27 – continuando da página anterior

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$v_2 [m^3/kg]$	$u_1 [kJ/kg]$	$u_2 - u_1$
71	943.95	0.0032221	0.0034081	-55.225	-1.4211e-14
72	935.67	0.0034081	0.0035959	-55.225	3.5527e-14
73	927.85	0.0035959	0.0037953	-55.225	-2.1316e-14
74	920.09	0.0037953	0.0040184	-55.225	-1.4211e-14
75	911.98	0.0040184	0.0042561	-55.225	1.4211e-14
76	903.94	0.0042561	0.0045095	-55.225	0.0
77	895.95	0.0045095	0.0047797	-55.225	2.1316e-14
78	888.03	0.0047797	0.0050678	-55.225	-2.1316e-14
79	880.18	0.0050678	0.0053752	-55.225	-1.4211e-14
80	872.39	0.0053752	0.0057203	-55.225	1.4211e-14
81	864.29	0.0057203	0.0060899	-55.225	-1.4211e-14
82	856.25	0.0060899	0.0064858	-55.225	1.4211e-14
83	848.3	0.0064858	0.0069103	-55.225	0.0
84	840.41	0.0069103	0.0073654	-55.225	0.0
85	832.6	0.0073654	0.0078778	-55.225	0.0
86	824.51	0.0078778	0.0084294	-55.225	0.0
87	816.49	0.0084294	0.0090236	-55.225	0.0
88	808.56	0.0090236	0.0096639	-55.225	3.5527e-14
89	800.71	0.0096639	0.010354	-55.225	-3.5527e-14
90	792.95	0.010354	0.011134	-55.225	0.0
91	784.92	0.011134	0.011978	-55.225	0.0
92	776.99	0.011978	0.012933	-55.225	0.0
93	768.81	0.012933	0.013928	-55.225	0.0
94	761.06	0.013928	0.015054	-55.225	0.0
95	753.08	0.015054	0.016281	-55.225	0.0
96	745.19	0.016281	0.017674	-55.225	0.0
97	737.08	0.017674	0.019198	-55.225	0.0
98	729.08	0.019198	0.020866	-55.225	0.0
99	721.18	0.020866	0.022691	-55.225	0.0
100	713.39	0.022691	0.024774	-55.225	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.28 – Variação de  $u$  em Processos Iso- $u$  Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $x$ 

Processo	$T_1 [K]$	$v_1 [m^3/kg]$	$x_2$	$u_1 [kJ/kg]$	$u_2 - u_1$
1	1500.0	0.00017231	0.11102	-55.225	0.0
2	1492.1	0.0001792	0.1218	-55.225	0.0
3	1484.2	0.00018643	0.13236	-55.225	0.0
4	1476.1	0.00019404	0.14222	-55.225	0.0
5	1468.3	0.00020165	0.15189	-55.225	0.0
6	1460.3	0.00020964	0.16138	-55.225	0.0
7	1452.3	0.00021803	0.17067	-55.225	0.0
8	1444.2	0.00022682	0.17936	-55.225	0.0
9	1436.4	0.0002356	0.18789	-55.225	-1.4211e-14
10	1428.4	0.0002448	0.19627	-55.225	0.0
11	1420.4	0.00025443	0.2041	-55.225	0.0
12	1412.7	0.00026401	0.21219	-55.225	0.0
13	1404.6	0.00027457	0.21976	-55.225	-7.1054e-15
14	1396.7	0.00028506	0.2272	-55.225	-7.1054e-15
15	1388.9	0.00029604	0.23452	-55.225	0.0
16	1380.9	0.00030753	0.24172	-55.225	7.1054e-15
17	1372.9	0.00031956	0.24881	-55.225	7.1054e-15
18	1364.8	0.00033214	0.25543	-55.225	0.0
19	1357.1	0.0003446	0.26231	-55.225	0.0
20	1348.9	0.00035836	0.26873	-55.225	0.0
21	1341.1	0.000372	0.27506	-55.225	0.0
22	1333.2	0.00038625	0.2813	-55.225	0.0
23	1325.3	0.00040115	0.28745	-55.225	0.0
24	1317.4	0.00041672	0.29351	-55.225	1.4211e-14
25	1309.4	0.000433	0.29949	-55.225	0.0
26	1301.4	0.00045004	0.30539	-55.225	2.1316e-14
27	1293.4	0.00046785	0.3112	-55.225	1.4211e-14
28	1285.3	0.0004865	0.31662	-55.225	-1.4211e-14
29	1277.6	0.0005049	0.32229	-55.225	-1.4211e-14
30	1269.5	0.00052527	0.32757	-55.225	0.0
31	1261.8	0.0005454	0.33309	-55.225	1.4211e-14
32	1253.6	0.00056768	0.33823	-55.225	0.0
33	1245.9	0.00058969	0.34361	-55.225	1.4211e-14
34	1237.7	0.00061409	0.34862	-55.225	1.4211e-14

Continua na página seguinte

Tabela A.28 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$x_2$	$u_1[kJ/kg]$	$u_2 - u_1$
35	1229.9	0.0006382	0.35357	-55.225	0.0
36	1222.1	0.0006634	0.35875	-55.225	0.0
37	1213.9	0.00069134	0.36358	-55.225	0.0
38	1206.0	0.00071898	0.36835	-55.225	0.0
39	1198.2	0.0007479	0.37334	-55.225	0.0
40	1190.0	0.00077997	0.37799	-55.225	-1.4211e-14
41	1182.1	0.00081172	0.38259	-55.225	1.4211e-14
42	1174.3	0.00084495	0.3874	-55.225	0.0
43	1166.1	0.00088184	0.39189	-55.225	0.0
44	1158.2	0.00091837	0.39632	-55.225	2.1316e-14
45	1150.4	0.00095664	0.4007	-55.225	0.0
46	1142.6	0.00099674	0.40528	-55.225	-2.1316e-14
47	1134.4	0.0010413	0.40956	-55.225	0.0
48	1126.6	0.0010854	0.41403	-55.225	0.0
49	1118.4	0.0011345	0.41821	-55.225	2.1316e-14
50	1110.6	0.0011832	0.42233	-55.225	0.0
51	1102.9	0.0012343	0.42665	-55.225	0.0
52	1094.7	0.0012911	0.43068	-55.225	1.4211e-14
53	1087.0	0.0013475	0.43489	-55.225	0.0
54	1078.9	0.0014102	0.43906	-55.225	1.4211e-14
55	1070.8	0.0014763	0.44294	-55.225	0.0
56	1063.1	0.0015419	0.44701	-55.225	-1.4211e-14
57	1055.1	0.0016149	0.45102	-55.225	0.0
58	1047.1	0.0016919	0.45499	-55.225	0.0
59	1039.1	0.001773	0.45891	-55.225	0.0
60	1031.1	0.0018585	0.46278	-55.225	0.0
61	1023.2	0.0019487	0.46661	-55.225	0.0
62	1015.3	0.0020438	0.47038	-55.225	1.4211e-14
63	1007.4	0.0021442	0.47412	-55.225	0.0
64	999.6	0.00225	0.47801	-55.225	0.0
65	991.39	0.0023682	0.48165	-55.225	-1.4211e-14
66	983.65	0.0024865	0.48544	-55.225	0.0
67	975.53	0.0026186	0.48919	-55.225	-1.4211e-14
68	967.46	0.0027586	0.49269	-55.225	-2.1316e-14
69	959.86	0.002899	0.49635	-55.225	0.0
70	951.88	0.0030558	0.49995	-55.225	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.28 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$x_2$	$u_1[kJ/kg]$	$u_2 - u_1$
71	943.95	0.0032221	0.5037	-55.225	0.0
72	935.67	0.0034081	0.50721	-55.225	-1.4211e-14
73	927.85	0.0035959	0.51068	-55.225	0.0
74	920.09	0.0037953	0.51428	-55.225	-1.4211e-14
75	911.98	0.0040184	0.51784	-55.225	1.4211e-14
76	903.94	0.0042561	0.52134	-55.225	0.0
77	895.95	0.0045095	0.5248	-55.225	0.0
78	888.03	0.0047797	0.52821	-55.225	0.0
79	880.18	0.0050678	0.53157	-55.225	1.4211e-14
80	872.39	0.0053752	0.53505	-55.225	2.1316e-14
81	864.29	0.0057203	0.53849	-55.225	-2.1316e-14
82	856.25	0.0060899	0.54187	-55.225	2.1316e-14
83	848.3	0.0064858	0.54521	-55.225	0.0
84	840.41	0.0069103	0.54849	-55.225	0.0
85	832.6	0.0073654	0.55189	-55.225	0.0
86	824.51	0.0078778	0.55523	-55.225	0.0
87	816.49	0.0084294	0.55852	-55.225	0.0
88	808.56	0.0090236	0.56176	-55.225	0.0
89	800.71	0.0096639	0.56495	-55.225	0.0
90	792.95	0.010354	0.56824	-55.225	0.0
91	784.92	0.011134	0.57147	-55.225	0.0
92	776.99	0.011978	0.57479	-55.225	0.0
93	768.81	0.012933	0.57792	-55.225	0.0
94	761.06	0.013928	0.58113	-55.225	0.0
95	753.08	0.015054	0.58429	-55.225	0.0
96	745.19	0.016281	0.58752	-55.225	2.8422e-14
97	737.08	0.017674	0.5907	-55.225	0.0
98	729.08	0.019198	0.59383	-55.225	0.0
99	721.18	0.020866	0.59689	-55.225	0.0
100	713.39	0.022691	0.60003	-55.225	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.29 – Variação de  $v$  em Processos Isovolumétricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $h$ 

Processo	$T_1$ [K]	$u_1$ [kJ/kg]	$h_2$ [kJ/kg]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$v_2 - v_1$
1	1500.0	57.404	104.74	0.00053903	0.0
2	1498.2	56.464	103.55	0.00053903	0.0
3	1496.4	55.521	102.35	0.00053903	0.0
4	1494.6	54.577	101.15	0.00053903	0.0
5	1492.9	53.631	99.713	0.00053903	1.0842e-19
6	1490.7	52.493	98.511	0.00053903	0.0
7	1488.9	51.543	97.306	0.00053903	0.0
8	1487.1	50.591	96.099	0.00053903	0.0
9	1485.3	49.637	94.891	0.00053903	-1.0842e-19
10	1483.4	48.681	93.681	0.00053903	0.0
11	1481.6	47.724	92.469	0.00053903	0.0
12	1479.8	46.764	91.255	0.00053903	0.0
13	1477.9	45.803	90.04	0.00053903	0.0
14	1476.1	44.841	89.067	0.00053903	0.0
15	1474.6	44.07	87.849	0.00053903	0.0
16	1472.8	43.104	86.63	0.00053903	0.0
17	1470.9	42.137	85.409	0.00053903	0.0
18	1469.0	41.169	84.187	0.00053903	1.0842e-19
19	1467.1	40.199	82.963	0.00053903	0.0
20	1465.3	39.227	81.738	0.00053903	0.0
21	1463.4	38.254	80.512	0.00053903	0.0
22	1461.5	37.28	79.53	0.00053903	0.0
23	1460.0	36.499	78.302	0.00053903	0.0
24	1458.1	35.523	77.072	0.00053903	-1.0842e-19
25	1456.2	34.545	75.841	0.00053903	0.0
26	1454.2	33.565	74.856	0.00053903	0.0
27	1452.7	32.781	73.623	0.00053903	0.0
28	1450.8	31.799	72.39	0.00053903	0.0
29	1448.8	30.816	71.155	0.00053903	0.0
30	1446.9	29.832	70.167	0.00053903	0.0
31	1445.4	29.044	68.931	0.00053903	0.0
32	1443.4	28.058	67.694	0.00053903	0.0
33	1441.5	27.071	66.704	0.00053903	0.0
34	1439.9	26.281	65.465	0.00053903	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.29 – continuando da página anterior

Processo	$T_1$ [K]	$u_1$ [kJ/kg]	$h_2$ [kJ/kg]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$v_2 - v_1$
35	1437.9	25.292	64.226	0.00053903	0.0
36	1436.0	24.302	63.234	0.00053903	0.0
37	1434.4	23.509	61.994	0.00053903	1.0842e-19
38	1432.4	22.518	60.754	0.00053903	0.0
39	1430.4	21.525	59.761	0.00053903	0.0
40	1428.8	20.731	58.519	0.00053903	1.0842e-19
41	1426.8	19.737	57.525	0.00053903	1.0842e-19
42	1425.2	18.941	56.283	0.00053903	-1.0842e-19
43	1423.2	17.946	55.289	0.00053903	0.0
44	1421.6	17.149	54.046	0.00053903	-1.0842e-19
45	1419.6	16.152	53.051	0.00053903	0.0
46	1418.0	15.354	51.807	0.00053903	0.0
47	1416.0	14.357	50.812	0.00053903	0.0
48	1414.4	13.558	49.569	0.00053903	0.0
49	1412.3	12.559	48.573	0.00053903	0.0
50	1410.7	11.759	47.329	0.00053903	0.0
51	1408.7	10.76	46.334	0.00053903	0.0
52	1407.0	9.9594	45.09	0.00053903	-1.0842e-19
53	1405.0	8.9587	44.095	0.00053903	1.0842e-19
54	1403.3	8.1578	42.851	0.00053903	0.0
55	1401.3	7.1564	41.855	0.00053903	0.0
56	1399.6	6.355	40.612	0.00053903	0.0
57	1397.6	5.3529	39.617	0.00053903	0.0
58	1395.9	4.5511	38.622	0.00053903	0.0
59	1394.3	3.749	37.379	0.00053903	0.0
60	1392.2	2.7462	36.385	0.00053903	0.0
61	1390.5	1.9439	35.142	0.00053903	0.0
62	1388.4	0.94072	34.148	0.00053903	0.0
63	1386.8	0.1381	33.155	0.00053903	0.0
64	1385.1	-0.6646	31.913	0.00053903	0.0
65	1383.0	-1.6681	30.921	0.00053903	0.0
66	1381.3	-2.4709	29.928	0.00053903	0.0
67	1379.6	-3.2737	28.688	0.00053903	0.0
68	1377.5	-4.2773	27.697	0.00053903	0.0
69	1375.8	-5.0801	26.705	0.00053903	1.0842e-19
70	1374.1	-5.8829	25.467	0.00053903	0.0

Continua na página seguinte



Tabela A.29 – continuando da página anterior

Processo	$T_1$ [K]	$u_1$ [kJ/kg]	$h_2$ [kJ/kg]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$v_2 - v_1$
71	1372.0	-6.8863	24.477	0.00053903	-1.0842e-19
72	1370.3	-7.689	23.487	0.00053903	0.0
73	1368.6	-8.4916	22.251	0.00053903	0.0
74	1366.5	-9.4947	21.263	0.00053903	0.0
75	1364.8	-10.297	20.275	0.00053903	-1.0842e-19
76	1363.1	-11.099	19.287	0.00053903	0.0
77	1361.4	-11.901	18.054	0.00053903	0.0
78	1359.2	-12.903	17.068	0.00053903	0.0
79	1357.5	-13.705	16.083	0.00053903	0.0
80	1355.8	-14.506	15.098	0.00053903	0.0
81	1354.1	-15.308	13.869	0.00053903	0.0
82	1351.9	-16.309	12.886	0.00053903	0.0
83	1350.2	-17.109	11.903	0.00053903	0.0
84	1348.5	-17.909	10.922	0.00053903	1.0842e-19
85	1346.7	-18.709	9.9412	0.00053903	1.0842e-19
86	1345.0	-19.509	8.7164	0.00053903	0.0
87	1342.8	-20.508	7.7376	0.00053903	1.0842e-19
88	1341.1	-21.307	6.7596	0.00053903	0.0
89	1339.3	-22.105	5.7825	0.00053903	0.0
90	1337.6	-22.903	4.8063	0.00053903	0.0
91	1335.9	-23.701	3.5874	0.00053903	0.0
92	1333.7	-24.698	2.6133	0.00053903	0.0
93	1331.9	-25.494	1.6401	0.00053903	0.0
94	1330.2	-26.291	0.66795	0.00053903	0.0
95	1328.4	-27.086	-0.3032	0.00053903	0.0
96	1326.7	-27.882	-1.2733	0.00053903	0.0
97	1324.9	-28.676	-2.4845	0.00053903	-1.0842e-19
98	1322.7	-29.669	-3.4523	0.00053903	0.0
99	1320.9	-30.463	-4.4189	0.00053903	0.0
100	1319.2	-31.256	-5.3845	0.00053903	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.30 – Variação de  $v$  em Processos Isovolumétricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $P$ 

Processo	$T_1 [K]$	$u_1 [kJ/kg]$	$P_2 [kPa]$	$v_1 [m^3/kg]$	$v_2 - v_1$
1	1500.0	57.404	89569.0	0.00053903	0.0
2	1498.2	56.464	89101.0	0.00053903	0.0
3	1496.4	55.521	88633.0	0.00053903	0.0
4	1494.6	54.577	88164.0	0.00053903	0.0
5	1492.9	53.631	87602.0	0.00053903	1.0842e-19
6	1490.7	52.493	87134.0	0.00053903	0.0
7	1488.9	51.543	86665.0	0.00053903	0.0
8	1487.1	50.591	86196.0	0.00053903	0.0
9	1485.3	49.637	85728.0	0.00053903	-1.0842e-19
10	1483.4	48.681	85259.0	0.00053903	0.0
11	1481.6	47.724	84790.0	0.00053903	0.0
12	1479.8	46.764	84322.0	0.00053903	0.0
13	1477.9	45.803	83853.0	0.00053903	0.0
14	1476.1	44.841	83478.0	0.00053903	0.0
15	1474.6	44.07	83010.0	0.00053903	0.0
16	1472.8	43.104	82542.0	0.00053903	0.0
17	1470.9	42.137	82074.0	0.00053903	0.0
18	1469.0	41.169	81606.0	0.00053903	1.0842e-19
19	1467.1	40.199	81138.0	0.00053903	0.0
20	1465.3	39.227	80670.0	0.00053903	0.0
21	1463.4	38.254	80203.0	0.00053903	0.0
22	1461.5	37.28	79829.0	0.00053903	0.0
23	1460.0	36.499	79363.0	0.00053903	0.0
24	1458.1	35.523	78896.0	0.00053903	-1.0842e-19
25	1456.2	34.545	78430.0	0.00053903	0.0
26	1454.2	33.565	78057.0	0.00053903	0.0
27	1452.7	32.781	77592.0	0.00053903	0.0
28	1450.8	31.799	77126.0	0.00053903	0.0
29	1448.8	30.816	76661.0	0.00053903	0.0
30	1446.9	29.832	76290.0	0.00053903	0.0
31	1445.4	29.044	75826.0	0.00053903	0.0
32	1443.4	28.058	75362.0	0.00053903	0.0
33	1441.5	27.071	74992.0	0.00053903	0.0
34	1439.9	26.281	74529.0	0.00053903	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.30 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$u_1[kJ/kg]$	$P_2[kPa]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2 - v_1$
35	1437.9	25.292	74067.0	0.00053903	0.0
36	1436.0	24.302	73697.0	0.00053903	0.0
37	1434.4	23.509	73236.0	0.00053903	1.0842e-19
38	1432.4	22.518	72776.0	0.00053903	0.0
39	1430.4	21.525	72408.0	0.00053903	0.0
40	1428.8	20.731	71948.0	0.00053903	1.0842e-19
41	1426.8	19.737	71581.0	0.00053903	1.0842e-19
42	1425.2	18.941	71123.0	0.00053903	-1.0842e-19
43	1423.2	17.946	70756.0	0.00053903	0.0
44	1421.6	17.149	70299.0	0.00053903	-1.0842e-19
45	1419.6	16.152	69934.0	0.00053903	0.0
46	1418.0	15.354	69478.0	0.00053903	0.0
47	1416.0	14.357	69114.0	0.00053903	0.0
48	1414.4	13.558	68660.0	0.00053903	0.0
49	1412.3	12.559	68296.0	0.00053903	0.0
50	1410.7	11.759	67843.0	0.00053903	0.0
51	1408.7	10.76	67482.0	0.00053903	0.0
52	1407.0	9.9594	67030.0	0.00053903	-1.0842e-19
53	1405.0	8.9587	66669.0	0.00053903	1.0842e-19
54	1403.3	8.1578	66219.0	0.00053903	0.0
55	1401.3	7.1564	65860.0	0.00053903	0.0
56	1399.6	6.355	65412.0	0.00053903	0.0
57	1397.6	5.3529	65054.0	0.00053903	0.0
58	1395.9	4.5511	64696.0	0.00053903	0.0
59	1394.3	3.749	64250.0	0.00053903	0.0
60	1392.2	2.7462	63894.0	0.00053903	0.0
61	1390.5	1.9439	63450.0	0.00053903	0.0
62	1388.4	0.94072	63095.0	0.00053903	0.0
63	1386.8	0.1381	62741.0	0.00053903	0.0
64	1385.1	-0.6646	62300.0	0.00053903	0.0
65	1383.0	-1.6681	61947.0	0.00053903	0.0
66	1381.3	-2.4709	61596.0	0.00053903	0.0
67	1379.6	-3.2737	61157.0	0.00053903	0.0
68	1377.5	-4.2773	60807.0	0.00053903	0.0
69	1375.8	-5.0801	60457.0	0.00053903	1.0842e-19
70	1374.1	-5.8829	60022.0	0.00053903	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.30 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$u_1[kJ/kg]$	$P_2[kPa]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2 - v_1$
71	1372.0	-6.8863	59674.0	0.00053903	-1.0842e-19
72	1370.3	-7.689	59327.0	0.00053903	0.0
73	1368.6	-8.4916	58894.0	0.00053903	0.0
74	1366.5	-9.4947	58549.0	0.00053903	0.0
75	1364.8	-10.297	58204.0	0.00053903	-1.0842e-19
76	1363.1	-11.099	57860.0	0.00053903	0.0
77	1361.4	-11.901	57432.0	0.00053903	0.0
78	1359.2	-12.903	57090.0	0.00053903	0.0
79	1357.5	-13.705	56749.0	0.00053903	0.0
80	1355.8	-14.506	56408.0	0.00053903	0.0
81	1354.1	-15.308	55984.0	0.00053903	0.0
82	1351.9	-16.309	55646.0	0.00053903	0.0
83	1350.2	-17.109	55308.0	0.00053903	0.0
84	1348.5	-17.909	54971.0	0.00053903	1.0842e-19
85	1346.7	-18.709	54635.0	0.00053903	1.0842e-19
86	1345.0	-19.509	54217.0	0.00053903	0.0
87	1342.8	-20.508	53883.0	0.00053903	1.0842e-19
88	1341.1	-21.307	53550.0	0.00053903	0.0
89	1339.3	-22.105	53218.0	0.00053903	0.0
90	1337.6	-22.903	52887.0	0.00053903	0.0
91	1335.9	-23.701	52474.0	0.00053903	0.0
92	1333.7	-24.698	52145.0	0.00053903	0.0
93	1331.9	-25.494	51817.0	0.00053903	0.0
94	1330.2	-26.291	51489.0	0.00053903	0.0
95	1328.4	-27.086	51163.0	0.00053903	0.0
96	1326.7	-27.882	50838.0	0.00053903	0.0
97	1324.9	-28.676	50432.0	0.00053903	-1.0842e-19
98	1322.7	-29.669	50109.0	0.00053903	0.0
99	1320.9	-30.463	49787.0	0.00053903	0.0
100	1319.2	-31.256	49466.0	0.00053903	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.31 – Variação de  $v$  em Processos Isovolumétricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $s$ 

Processo	$T_1 [K]$	$u_1 [kJ/kg]$	$s_2 [kJ/(kg.K)]$	$v_1 [m^3/kg]$	$v_2 - v_1$
1	1500.0	57.404	0.07554	0.00053903	0.0
2	1498.2	56.464	0.074911	0.00053903	0.0
3	1496.4	55.521	0.074279	0.00053903	0.0
4	1494.6	54.577	0.073646	0.00053903	0.0
5	1492.9	53.631	0.072883	0.00053903	1.0842e-19
6	1490.7	52.493	0.072245	0.00053903	0.0
7	1488.9	51.543	0.071605	0.00053903	0.0
8	1487.1	50.591	0.070963	0.00053903	0.0
9	1485.3	49.637	0.070319	0.00053903	-1.0842e-19
10	1483.4	48.681	0.069674	0.00053903	0.0
11	1481.6	47.724	0.069026	0.00053903	0.0
12	1479.8	46.764	0.068376	0.00053903	0.0
13	1477.9	45.803	0.067724	0.00053903	0.0
14	1476.1	44.841	0.067202	0.00053903	0.0
15	1474.6	44.07	0.066547	0.00053903	0.0
16	1472.8	43.104	0.06589	0.00053903	0.0
17	1470.9	42.137	0.065231	0.00053903	0.0
18	1469.0	41.169	0.06457	0.00053903	1.0842e-19
19	1467.1	40.199	0.063907	0.00053903	0.0
20	1465.3	39.227	0.063243	0.00053903	0.0
21	1463.4	38.254	0.062577	0.00053903	0.0
22	1461.5	37.28	0.062042	0.00053903	0.0
23	1460.0	36.499	0.061373	0.00053903	0.0
24	1458.1	35.523	0.060702	0.00053903	-1.0842e-19
25	1456.2	34.545	0.060029	0.00053903	0.0
26	1454.2	33.565	0.059489	0.00053903	0.0
27	1452.7	32.781	0.058813	0.00053903	0.0
28	1450.8	31.799	0.058135	0.00053903	0.0
29	1448.8	30.816	0.057455	0.00053903	0.0
30	1446.9	29.832	0.05691	0.00053903	0.0
31	1445.4	29.044	0.056228	0.00053903	0.0
32	1443.4	28.058	0.055543	0.00053903	0.0
33	1441.5	27.071	0.054995	0.00053903	0.0
34	1439.9	26.281	0.054307	0.00053903	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.31 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$u_1[kJ/kg]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2 - v_1$
35	1437.9	25.292	0.053618	0.00053903	0.0
36	1436.0	24.302	0.053066	0.00053903	0.0
37	1434.4	23.509	0.052374	0.00053903	1.0842e-19
38	1432.4	22.518	0.051681	0.00053903	0.0
39	1430.4	21.525	0.051125	0.00053903	0.0
40	1428.8	20.731	0.050429	0.00053903	1.0842e-19
41	1426.8	19.737	0.049871	0.00053903	1.0842e-19
42	1425.2	18.941	0.049172	0.00053903	-1.0842e-19
43	1423.2	17.946	0.048612	0.00053903	0.0
44	1421.6	17.149	0.047911	0.00053903	-1.0842e-19
45	1419.6	16.152	0.047348	0.00053903	0.0
46	1418.0	15.354	0.046644	0.00053903	0.0
47	1416.0	14.357	0.04608	0.00053903	0.0
48	1414.4	13.558	0.045373	0.00053903	0.0
49	1412.3	12.559	0.044807	0.00053903	0.0
50	1410.7	11.759	0.044097	0.00053903	0.0
51	1408.7	10.76	0.043529	0.00053903	0.0
52	1407.0	9.9594	0.042817	0.00053903	-1.0842e-19
53	1405.0	8.9587	0.042247	0.00053903	1.0842e-19
54	1403.3	8.1578	0.041533	0.00053903	0.0
55	1401.3	7.1564	0.04096	0.00053903	0.0
56	1399.6	6.355	0.040244	0.00053903	0.0
57	1397.6	5.3529	0.03967	0.00053903	0.0
58	1395.9	4.5511	0.039095	0.00053903	0.0
59	1394.3	3.749	0.038375	0.00053903	0.0
60	1392.2	2.7462	0.037798	0.00053903	0.0
61	1390.5	1.9439	0.037077	0.00053903	0.0
62	1388.4	0.94072	0.036498	0.00053903	0.0
63	1386.8	0.1381	0.035919	0.00053903	0.0
64	1385.1	-0.6646	0.035194	0.00053903	0.0
65	1383.0	-1.6681	0.034613	0.00053903	0.0
66	1381.3	-2.4709	0.034031	0.00053903	0.0
67	1379.6	-3.2737	0.033304	0.00053903	0.0
68	1377.5	-4.2773	0.03272	0.00053903	0.0
69	1375.8	-5.0801	0.032136	0.00053903	1.0842e-19
70	1374.1	-5.8829	0.031406	0.00053903	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.31 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$u_1[kJ/kg]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2 - v_1$
71	1372.0	-6.8863	0.03082	0.00053903	-1.0842e-19
72	1370.3	-7.689	0.030234	0.00053903	0.0
73	1368.6	-8.4916	0.029501	0.00053903	0.0
74	1366.5	-9.4947	0.028913	0.00053903	0.0
75	1364.8	-10.297	0.028325	0.00053903	-1.0842e-19
76	1363.1	-11.099	0.027736	0.00053903	0.0
77	1361.4	-11.901	0.027	0.00053903	0.0
78	1359.2	-12.903	0.02641	0.00053903	0.0
79	1357.5	-13.705	0.025819	0.00053903	0.0
80	1355.8	-14.506	0.025228	0.00053903	0.0
81	1354.1	-15.308	0.024488	0.00053903	0.0
82	1351.9	-16.309	0.023895	0.00053903	0.0
83	1350.2	-17.109	0.023302	0.00053903	0.0
84	1348.5	-17.909	0.022708	0.00053903	1.0842e-19
85	1346.7	-18.709	0.022114	0.00053903	1.0842e-19
86	1345.0	-19.509	0.021371	0.00053903	0.0
87	1342.8	-20.508	0.020776	0.00053903	1.0842e-19
88	1341.1	-21.307	0.02018	0.00053903	0.0
89	1339.3	-22.105	0.019584	0.00053903	0.0
90	1337.6	-22.903	0.018987	0.00053903	0.0
91	1335.9	-23.701	0.01824	0.00053903	0.0
92	1333.7	-24.698	0.017642	0.00053903	0.0
93	1331.9	-25.494	0.017044	0.00053903	0.0
94	1330.2	-26.291	0.016446	0.00053903	0.0
95	1328.4	-27.086	0.015847	0.00053903	0.0
96	1326.7	-27.882	0.015247	0.00053903	0.0
97	1324.9	-28.676	0.014497	0.00053903	-1.0842e-19
98	1322.7	-29.669	0.013897	0.00053903	0.0
99	1320.9	-30.463	0.013296	0.00053903	0.0
100	1319.2	-31.256	0.012695	0.00053903	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.32 – Variação de  $v$  em Processos Isovolumétricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $T$ 

Processo	$T_1[K]$	$u_1[kJ/kg]$	$T_2[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2 - v_1$
1	1500.0	57.404	1498.2	0.00053903	0.0
2	1498.2	56.464	1496.3	0.00053903	0.0
3	1496.3	55.521	1494.5	0.00053903	0.0
4	1494.5	54.577	1492.7	0.00053903	0.0
5	1492.7	53.631	1490.9	0.00053903	1.0842e-19
6	1490.9	52.493	1489.0	0.00053903	0.0
7	1489.0	51.543	1487.2	0.00053903	0.0
8	1487.2	50.591	1485.4	0.00053903	0.0
9	1485.4	49.637	1483.6	0.00053903	-1.0842e-19
10	1483.6	48.681	1481.7	0.00053903	0.0
11	1481.7	47.724	1479.9	0.00053903	0.0
12	1479.9	46.764	1478.1	0.00053903	0.0
13	1478.1	45.803	1476.3	0.00053903	0.0
14	1476.3	44.841	1474.4	0.00053903	0.0
15	1474.4	44.07	1472.6	0.00053903	0.0
16	1472.6	43.104	1470.8	0.00053903	0.0
17	1470.8	42.137	1469.0	0.00053903	0.0
18	1469.0	41.169	1467.1	0.00053903	1.0842e-19
19	1467.1	40.199	1465.3	0.00053903	0.0
20	1465.3	39.227	1463.5	0.00053903	0.0
21	1463.5	38.254	1461.7	0.00053903	0.0
22	1461.7	37.28	1459.8	0.00053903	0.0
23	1459.8	36.499	1458.0	0.00053903	0.0
24	1458.0	35.523	1456.2	0.00053903	-1.0842e-19
25	1456.2	34.545	1454.4	0.00053903	0.0
26	1454.4	33.565	1452.5	0.00053903	0.0
27	1452.5	32.781	1450.7	0.00053903	0.0
28	1450.7	31.799	1448.9	0.00053903	0.0
29	1448.9	30.816	1447.0	0.00053903	0.0
30	1447.0	29.832	1445.2	0.00053903	0.0
31	1445.2	29.044	1443.4	0.00053903	0.0
32	1443.4	28.058	1441.6	0.00053903	0.0
33	1441.6	27.071	1439.7	0.00053903	0.0
34	1439.7	26.281	1437.9	0.00053903	0.0

Continua na página seguinte



Tabela A.32 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$u_1[kJ/kg]$	$T_2[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2 - v_1$
35	1437.9	25.292	1436.1	0.00053903	0.0
36	1436.1	24.302	1434.3	0.00053903	0.0
37	1434.3	23.509	1432.4	0.00053903	1.0842e-19
38	1432.4	22.518	1430.6	0.00053903	0.0
39	1430.6	21.525	1428.8	0.00053903	0.0
40	1428.8	20.731	1427.0	0.00053903	1.0842e-19
41	1427.0	19.737	1425.1	0.00053903	1.0842e-19
42	1425.1	18.941	1423.3	0.00053903	-1.0842e-19
43	1423.3	17.946	1421.5	0.00053903	0.0
44	1421.5	17.149	1419.7	0.00053903	-1.0842e-19
45	1419.7	16.152	1417.8	0.00053903	0.0
46	1417.8	15.354	1416.0	0.00053903	0.0
47	1416.0	14.357	1414.2	0.00053903	0.0
48	1414.2	13.558	1412.4	0.00053903	0.0
49	1412.4	12.559	1410.5	0.00053903	0.0
50	1410.5	11.759	1408.7	0.00053903	0.0
51	1408.7	10.76	1406.9	0.00053903	0.0
52	1406.9	9.9594	1405.0	0.00053903	-1.0842e-19
53	1405.0	8.9587	1403.2	0.00053903	1.0842e-19
54	1403.2	8.1578	1401.4	0.00053903	0.0
55	1401.4	7.1564	1399.6	0.00053903	0.0
56	1399.6	6.355	1397.7	0.00053903	0.0
57	1397.7	5.3529	1395.9	0.00053903	0.0
58	1395.9	4.5511	1394.1	0.00053903	0.0
59	1394.1	3.749	1392.3	0.00053903	0.0
60	1392.3	2.7462	1390.4	0.00053903	0.0
61	1390.4	1.9439	1388.6	0.00053903	0.0
62	1388.6	0.94072	1386.8	0.00053903	0.0
63	1386.8	0.1381	1385.0	0.00053903	0.0
64	1385.0	-0.6646	1383.1	0.00053903	0.0
65	1383.1	-1.6681	1381.3	0.00053903	0.0
66	1381.3	-2.4709	1379.5	0.00053903	0.0
67	1379.5	-3.2737	1377.7	0.00053903	0.0
68	1377.7	-4.2773	1375.8	0.00053903	0.0
69	1375.8	-5.0801	1374.0	0.00053903	1.0842e-19
70	1374.0	-5.8829	1372.2	0.00053903	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.32 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$u_1[kJ/kg]$	$T_2[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2 - v_1$
71	1372.2	-6.8863	1370.4	0.00053903	-1.0842e-19
72	1370.4	-7.689	1368.5	0.00053903	0.0
73	1368.5	-8.4916	1366.7	0.00053903	0.0
74	1366.7	-9.4947	1364.9	0.00053903	0.0
75	1364.9	-10.297	1363.0	0.00053903	-1.0842e-19
76	1363.0	-11.099	1361.2	0.00053903	0.0
77	1361.2	-11.901	1359.4	0.00053903	0.0
78	1359.4	-12.903	1357.6	0.00053903	0.0
79	1357.6	-13.705	1355.7	0.00053903	0.0
80	1355.7	-14.506	1353.9	0.00053903	0.0
81	1353.9	-15.308	1352.1	0.00053903	0.0
82	1352.1	-16.309	1350.3	0.00053903	0.0
83	1350.3	-17.109	1348.4	0.00053903	0.0
84	1348.4	-17.909	1346.6	0.00053903	1.0842e-19
85	1346.6	-18.709	1344.8	0.00053903	1.0842e-19
86	1344.8	-19.509	1343.0	0.00053903	0.0
87	1343.0	-20.508	1341.1	0.00053903	1.0842e-19
88	1341.1	-21.307	1339.3	0.00053903	0.0
89	1339.3	-22.105	1337.5	0.00053903	0.0
90	1337.5	-22.903	1335.7	0.00053903	0.0
91	1335.7	-23.701	1333.8	0.00053903	0.0
92	1333.8	-24.698	1332.0	0.00053903	0.0
93	1332.0	-25.494	1330.2	0.00053903	0.0
94	1330.2	-26.291	1328.4	0.00053903	0.0
95	1328.4	-27.086	1326.5	0.00053903	0.0
96	1326.5	-27.882	1324.7	0.00053903	0.0
97	1324.7	-28.676	1322.9	0.00053903	-1.0842e-19
98	1322.9	-29.669	1321.1	0.00053903	0.0
99	1321.1	-30.463	1319.2	0.00053903	0.0
100	1319.2	-31.256	1317.4	0.00053903	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.33 – Variação de  $v$  em Processos Isovolumétricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $u$ 

Processo	$T_1 [K]$	$u_1 [kJ/kg]$	$u_2 [kJ/kg]$	$v_1 [m^3/kg]$	$v_2 - v_1$
1	1500.0	57.404	56.464	0.00053903	0.0
2	1498.2	56.464	55.521	0.00053903	0.0
3	1496.4	55.521	54.577	0.00053903	0.0
4	1494.6	54.577	53.631	0.00053903	0.0
5	1492.9	53.631	52.493	0.00053903	1.0842e-19
6	1490.7	52.493	51.543	0.00053903	-1.0842e-19
7	1488.9	51.543	50.591	0.00053903	0.0
8	1487.1	50.591	49.637	0.00053903	0.0
9	1485.3	49.637	48.681	0.00053903	0.0
10	1483.4	48.681	47.724	0.00053903	0.0
11	1481.6	47.724	46.764	0.00053903	0.0
12	1479.8	46.764	45.803	0.00053903	0.0
13	1477.9	45.803	44.841	0.00053903	0.0
14	1476.1	44.841	44.07	0.00053903	0.0
15	1474.6	44.07	43.104	0.00053903	0.0
16	1472.8	43.104	42.137	0.00053903	0.0
17	1470.9	42.137	41.169	0.00053903	0.0
18	1469.0	41.169	40.199	0.00053903	1.0842e-19
19	1467.1	40.199	39.227	0.00053903	-1.0842e-19
20	1465.3	39.227	38.254	0.00053903	0.0
21	1463.4	38.254	37.28	0.00053903	0.0
22	1461.5	37.28	36.499	0.00053903	0.0
23	1460.0	36.499	35.523	0.00053903	-1.0842e-19
24	1458.1	35.523	34.545	0.00053903	1.0842e-19
25	1456.2	34.545	33.565	0.00053903	0.0
26	1454.2	33.565	32.781	0.00053903	0.0
27	1452.7	32.781	31.799	0.00053903	0.0
28	1450.8	31.799	30.816	0.00053903	0.0
29	1448.8	30.816	29.832	0.00053903	0.0
30	1446.9	29.832	29.044	0.00053903	0.0
31	1445.4	29.044	28.058	0.00053903	0.0
32	1443.4	28.058	27.071	0.00053903	0.0
33	1441.5	27.071	26.281	0.00053903	0.0
34	1439.9	26.281	25.292	0.00053903	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.33 – continuando da página anterior

Processo	$T_1$ [K]	$u_1$ [kJ/kg]	$u_2$ [kJ/kg]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$v_2 - v_1$
35	1437.9	25.292	24.302	0.00053903	0.0
36	1436.0	24.302	23.509	0.00053903	0.0
37	1434.4	23.509	22.518	0.00053903	1.0842e-19
38	1432.4	22.518	21.525	0.00053903	-1.0842e-19
39	1430.4	21.525	20.731	0.00053903	0.0
40	1428.8	20.731	19.737	0.00053903	0.0
41	1426.8	19.737	18.941	0.00053903	0.0
42	1425.2	18.941	17.946	0.00053903	0.0
43	1423.2	17.946	17.149	0.00053903	0.0
44	1421.6	17.149	16.152	0.00053903	0.0
45	1419.6	16.152	15.354	0.00053903	0.0
46	1418.0	15.354	14.357	0.00053903	0.0
47	1416.0	14.357	13.558	0.00053903	0.0
48	1414.4	13.558	12.559	0.00053903	0.0
49	1412.3	12.559	11.759	0.00053903	0.0
50	1410.7	11.759	10.76	0.00053903	1.0842e-19
51	1408.7	10.76	9.9594	0.00053903	-1.0842e-19
52	1407.0	9.9594	8.9587	0.00053903	0.0
53	1405.0	8.9587	8.1578	0.00053903	1.0842e-19
54	1403.3	8.1578	7.1564	0.00053903	-1.0842e-19
55	1401.3	7.1564	6.355	0.00053903	1.0842e-19
56	1399.6	6.355	5.3529	0.00053903	0.0
57	1397.6	5.3529	4.5511	0.00053903	-1.0842e-19
58	1395.9	4.5511	3.749	0.00053903	0.0
59	1394.3	3.749	2.7462	0.00053903	0.0
60	1392.2	2.7462	1.9439	0.00053903	0.0
61	1390.5	1.9439	0.94072	0.00053903	0.0
62	1388.4	0.94072	0.1381	0.00053903	0.0
63	1386.8	0.1381	-0.6646	0.00053903	0.0
64	1385.1	-0.6646	-1.6681	0.00053903	0.0
65	1383.0	-1.6681	-2.4709	0.00053903	0.0
66	1381.3	-2.4709	-3.2737	0.00053903	0.0
67	1379.6	-3.2737	-4.2773	0.00053903	0.0
68	1377.5	-4.2773	-5.0801	0.00053903	0.0
69	1375.8	-5.0801	-5.8829	0.00053903	0.0
70	1374.1	-5.8829	-6.8863	0.00053903	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.33 – continuando da página anterior

Processo	$T_1$ [K]	$u_1$ [kJ/kg]	$u_2$ [kJ/kg]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$v_2 - v_1$
71	1372.0	-6.8863	-7.689	0.00053903	1.0842e-19
72	1370.3	-7.689	-8.4916	0.00053903	-1.0842e-19
73	1368.6	-8.4916	-9.4947	0.00053903	0.0
74	1366.5	-9.4947	-10.297	0.00053903	0.0
75	1364.8	-10.297	-11.099	0.00053903	0.0
76	1363.1	-11.099	-11.901	0.00053903	0.0
77	1361.4	-11.901	-12.903	0.00053903	0.0
78	1359.2	-12.903	-13.705	0.00053903	0.0
79	1357.5	-13.705	-14.506	0.00053903	0.0
80	1355.8	-14.506	-15.308	0.00053903	0.0
81	1354.1	-15.308	-16.309	0.00053903	0.0
82	1351.9	-16.309	-17.109	0.00053903	0.0
83	1350.2	-17.109	-17.909	0.00053903	0.0
84	1348.5	-17.909	-18.709	0.00053903	1.0842e-19
85	1346.7	-18.709	-19.509	0.00053903	-1.0842e-19
86	1345.0	-19.509	-20.508	0.00053903	0.0
87	1342.8	-20.508	-21.307	0.00053903	-1.0842e-19
88	1341.1	-21.307	-22.105	0.00053903	1.0842e-19
89	1339.3	-22.105	-22.903	0.00053903	0.0
90	1337.6	-22.903	-23.701	0.00053903	0.0
91	1335.9	-23.701	-24.698	0.00053903	0.0
92	1333.7	-24.698	-25.494	0.00053903	0.0
93	1331.9	-25.494	-26.291	0.00053903	0.0
94	1330.2	-26.291	-27.086	0.00053903	0.0
95	1328.4	-27.086	-27.882	0.00053903	1.0842e-19
96	1326.7	-27.882	-28.676	0.00053903	-1.0842e-19
97	1324.9	-28.676	-29.669	0.00053903	1.0842e-19
98	1322.7	-29.669	-30.463	0.00053903	-1.0842e-19
99	1320.9	-30.463	-31.256	0.00053903	0.0
100	1319.2	-31.256	-32.048	0.00053903	0.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.34 – Variação de  $v$  em Processos Isovolumétricos Dentro do Domo de Saturação Utilizando  $x$ 

Processo	$T_1 [K]$	$u_1 [kJ/kg]$	$x_2$	$v_1 [m^3/kg]$	$v_2 - v_1$
1	1500.0	57.404	0.79445	0.00053903	0.0
2	1498.2	56.464	0.78891	0.00053903	0.0
3	1496.4	55.521	0.7834	0.00053903	0.0
4	1494.6	54.577	0.77793	0.00053903	0.0
5	1492.9	53.631	0.77139	0.00053903	1.0842e-19
6	1490.7	52.493	0.76598	0.00053903	0.0
7	1488.9	51.543	0.76059	0.00053903	0.0
8	1487.1	50.591	0.75523	0.00053903	0.0
9	1485.3	49.637	0.74991	0.00053903	-1.0842e-19
10	1483.4	48.681	0.7446	0.00053903	0.0
11	1481.6	47.724	0.73933	0.00053903	0.0
12	1479.8	46.764	0.73408	0.00053903	0.0
13	1477.9	45.803	0.72887	0.00053903	0.0
14	1476.1	44.841	0.72471	0.00053903	0.0
15	1474.6	44.07	0.71954	0.00053903	0.0
16	1472.8	43.104	0.7144	0.00053903	0.0
17	1470.9	42.137	0.70929	0.00053903	0.0
18	1469.0	41.169	0.7042	0.00053903	1.0842e-19
19	1467.1	40.199	0.69914	0.00053903	0.0
20	1465.3	39.227	0.6941	0.00053903	0.0
21	1463.4	38.254	0.6891	0.00053903	0.0
22	1461.5	37.28	0.68511	0.00053903	0.0
23	1460.0	36.499	0.68015	0.00053903	0.0
24	1458.1	35.523	0.67522	0.00053903	-1.0842e-19
25	1456.2	34.545	0.67031	0.00053903	0.0
26	1454.2	33.565	0.6664	0.00053903	0.0
27	1452.7	32.781	0.66154	0.00053903	0.0
28	1450.8	31.799	0.65671	0.00053903	0.0
29	1448.8	30.816	0.6519	0.00053903	0.0
30	1446.9	29.832	0.64807	0.00053903	0.0
31	1445.4	29.044	0.64331	0.00053903	0.0
32	1443.4	28.058	0.63857	0.00053903	0.0
33	1441.5	27.071	0.6348	0.00053903	0.0
34	1439.9	26.281	0.63011	0.00053903	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.34 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$u_1[kJ/kg]$	$x_2$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2 - v_1$
35	1437.9	25.292	0.62544	0.00053903	0.0
36	1436.0	24.302	0.62173	0.00053903	0.0
37	1434.4	23.509	0.61711	0.00053903	1.0842e-19
38	1432.4	22.518	0.61251	0.00053903	0.0
39	1430.4	21.525	0.60885	0.00053903	0.0
40	1428.8	20.731	0.6043	0.00053903	1.0842e-19
41	1426.8	19.737	0.60068	0.00053903	1.0842e-19
42	1425.2	18.941	0.59617	0.00053903	-1.0842e-19
43	1423.2	17.946	0.59258	0.00053903	0.0
44	1421.6	17.149	0.58812	0.00053903	-1.0842e-19
45	1419.6	16.152	0.58457	0.00053903	0.0
46	1418.0	15.354	0.58015	0.00053903	0.0
47	1416.0	14.357	0.57663	0.00053903	0.0
48	1414.4	13.558	0.57226	0.00053903	0.0
49	1412.3	12.559	0.56877	0.00053903	0.0
50	1410.7	11.759	0.56444	0.00053903	0.0
51	1408.7	10.76	0.56099	0.00053903	0.0
52	1407.0	9.9594	0.5567	0.00053903	-1.0842e-19
53	1405.0	8.9587	0.55329	0.00053903	1.0842e-19
54	1403.3	8.1578	0.54904	0.00053903	0.0
55	1401.3	7.1564	0.54566	0.00053903	0.0
56	1399.6	6.355	0.54146	0.00053903	0.0
57	1397.6	5.3529	0.53811	0.00053903	0.0
58	1395.9	4.5511	0.53478	0.00053903	0.0
59	1394.3	3.749	0.53063	0.00053903	0.0
60	1392.2	2.7462	0.52734	0.00053903	0.0
61	1390.5	1.9439	0.52323	0.00053903	0.0
62	1388.4	0.94072	0.51997	0.00053903	0.0
63	1386.8	0.1381	0.51672	0.00053903	0.0
64	1385.1	-0.6646	0.51268	0.00053903	0.0
65	1383.0	-1.6681	0.50946	0.00053903	0.0
66	1381.3	-2.4709	0.50626	0.00053903	0.0
67	1379.6	-3.2737	0.50227	0.00053903	0.0
68	1377.5	-4.2773	0.4991	0.00053903	0.0
69	1375.8	-5.0801	0.49595	0.00053903	1.0842e-19
70	1374.1	-5.8829	0.49202	0.00053903	0.0

Continua na página seguinte

Tabela A.34 – continuando da página anterior

Processo	$T_1[K]$	$u_1[kJ/kg]$	$x_2$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2 - v_1$
71	1372.0	-6.8863	0.4889	0.00053903	-1.0842e-19
72	1370.3	-7.689	0.48579	0.00053903	0.0
73	1368.6	-8.4916	0.48192	0.00053903	0.0
74	1366.5	-9.4947	0.47885	0.00053903	0.0
75	1364.8	-10.297	0.47578	0.00053903	-1.0842e-19
76	1363.1	-11.099	0.47273	0.00053903	0.0
77	1361.4	-11.901	0.46894	0.00053903	0.0
78	1359.2	-12.903	0.46593	0.00053903	0.0
79	1357.5	-13.705	0.46292	0.00053903	0.0
80	1355.8	-14.506	0.45993	0.00053903	0.0
81	1354.1	-15.308	0.45622	0.00053903	0.0
82	1351.9	-16.309	0.45326	0.00053903	0.0
83	1350.2	-17.109	0.45031	0.00053903	0.0
84	1348.5	-17.909	0.44738	0.00053903	1.0842e-19
85	1346.7	-18.709	0.44447	0.00053903	1.0842e-19
86	1345.0	-19.509	0.44084	0.00053903	0.0
87	1342.8	-20.508	0.43796	0.00053903	1.0842e-19
88	1341.1	-21.307	0.43508	0.00053903	0.0
89	1339.3	-22.105	0.43223	0.00053903	0.0
90	1337.6	-22.903	0.42938	0.00053903	0.0
91	1335.9	-23.701	0.42585	0.00053903	0.0
92	1333.7	-24.698	0.42303	0.00053903	0.0
93	1331.9	-25.494	0.42023	0.00053903	0.0
94	1330.2	-26.291	0.41744	0.00053903	0.0
95	1328.4	-27.086	0.41467	0.00053903	0.0
96	1326.7	-27.882	0.41191	0.00053903	0.0
97	1324.9	-28.676	0.40848	0.00053903	-1.0842e-19
98	1322.7	-29.669	0.40575	0.00053903	0.0
99	1320.9	-30.463	0.40303	0.00053903	0.0
100	1319.2	-31.256	0.40033	0.00053903	0.0

Fonte: Autoria Própria



Tabela A.35 – Diferença entre as propriedades do líquido saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando  $h_l$

Estado	$h_l$ [kJ/kg]	$P_\beta/P_m$	$s_\beta/s_m$	$T_\beta/T_m$	$u_\beta/u_m$	$v_\beta/v_m$
1	62.502	1.00000	0.99996	1.00000	0.99993	0.99999
2	61.567	1.00000	0.99996	1.00000	0.99994	0.99999
3	59.686	0.99999	0.99981	1.00000	0.99969	0.99994
4	56.843	1.00000	0.99994	1.00000	0.99990	0.99998
5	53.013	0.99999	0.99984	1.00000	0.99970	0.99995
6	48.167	0.99998	0.99980	1.00000	0.99958	0.99995
7	42.275	0.99996	0.99959	0.99999	0.99900	0.99991
8	35.312	1.00005	1.00047	1.00001	1.00166	1.00008
9	27.258	1.00000	0.99997	1.00000	0.99937	1.00000
10	18.110	0.99995	0.99919	0.99999	1.00173	0.99994
11	7.8839	1.00001	1.00029	1.00000	0.99990	1.00001
12	-3.3804	1.00003	0.99890	1.00001	0.99981	1.00002
13	-15.612	0.99974	1.00247	0.99994	1.00104	0.99985
14	-28.708	1.00014	0.99932	1.00003	0.99962	1.00007
15	-42.532	0.99983	1.00050	0.99996	1.00032	0.99993
16	-56.919	1.00016	0.99968	1.00004	0.99978	1.00005
17	-71.680	1.00021	0.99972	1.00005	0.99980	1.00005
18	-86.609	0.99964	1.00037	0.99992	1.00027	0.99992
19	-101.50	0.99960	1.00031	0.99992	1.00023	0.99993
20	-116.15	1.00024	0.99985	1.00005	0.99989	1.00004
21	-130.39	0.99977	1.00011	0.99995	1.00008	0.99997
22	-144.05	0.99981	1.00008	0.99996	1.00006	0.99998
23	-157.03	1.00044	0.99985	1.00008	0.99990	1.00004
24	-169.23	0.99924	1.00021	0.99987	1.00014	0.99995
25	-180.61	1.00108	0.99975	1.00018	0.99983	1.00006
26	-191.15	1.00080	0.99984	1.00012	0.99990	1.00004
27	-200.86	1.00094	0.99984	1.00014	0.99990	1.00004
28	-209.77	1.00155	0.99978	1.00021	0.99986	1.00005
29	-217.93	0.99922	1.00010	0.99990	1.00006	0.99998
30	-225.37	1.00063	0.99993	1.00008	0.99996	1.00001
31	-232.17	0.99882	1.00012	0.99986	1.00006	0.99998
32	-238.38	1.00109	0.99991	1.00012	0.99995	1.00002
33	-244.04	0.99984	1.00001	0.99998	1.00001	1.00000

Continua na página seguinte

Tabela A.35 – continuando da página anterior

Estado	$h_l$ [kJ/kg]	$P_\beta/P_m$	$s_\beta/s_m$	$T_\beta/T_m$	$u_\beta/u_m$	$v_\beta/v_m$
34	-249.23	0.99882	1.00008	0.99989	1.00004	0.99998
35	-253.97	0.99804	1.00012	0.99982	1.00006	0.99998
36	-258.33	1.00193	0.99989	1.00017	0.99995	1.00002
37	-262.33	1.00176	0.99991	1.00014	0.99996	1.00002
38	-266.02	1.00182	0.99991	1.00014	0.99996	1.00001
39	-269.42	1.00212	0.99991	1.00016	0.99996	1.00001
40	-272.57	0.99769	1.00009	0.99984	1.00004	0.99999
41	-275.48	0.99835	1.00006	0.99989	1.00002	0.99999
42	-278.19	0.99925	1.00003	0.99995	1.00001	1.00000
43	-280.70	1.00040	0.99999	1.00002	1.00000	1.00000
44	-283.04	1.00180	0.99995	1.00010	0.99998	1.00001
45	-285.23	0.99781	1.00006	0.99988	1.00002	0.99999
46	-287.27	0.99956	1.00001	0.99998	1.00000	1.00000
47	-289.18	1.00156	0.99996	1.00008	0.99999	1.00000
48	-290.97	0.99779	1.00005	0.99989	1.00002	0.99999
49	-292.65	1.00016	1.00000	1.00001	1.00000	1.00000
50	-294.23	1.00277	0.99995	1.00012	0.99998	1.00001

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.36 – Diferença entre as propriedades do líquido saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando  $P_{sat}$ 

Estado	$P_{sat}$ [kPa]	$h_\beta/h_m$	$s_\beta/s_m$	$T_\beta/T_m$	$u_\beta/u_m$	$v_\beta/v_m$
1	1.7105E+05	0.99996	0.99996	1.00000	0.99993	0.99999
2	1.7089E+05	0.99997	0.99996	1.00000	0.99994	0.99999
3	1.7053E+05	0.99982	0.99981	1.00000	0.99969	0.99994
4	1.6991E+05	0.99994	0.99994	1.00000	0.99990	0.99998
5	1.6891E+05	0.99984	0.99984	1.00000	0.99970	0.99995
6	1.6739E+05	0.99981	0.99980	1.00000	0.99958	0.99995
7	1.6519E+05	0.99961	0.99959	0.99999	0.99900	0.99991
8	1.6213E+05	1.00045	1.00047	1.00001	1.00166	1.00008
9	1.5802E+05	0.99997	0.99997	1.00000	0.99937	1.00000
10	1.5270E+05	0.99926	0.99919	0.99999	1.00173	0.99994

Continua na página seguinte

Tabela A.36 – continuando da página anterior

Estado	$P_{sat}$ [kPa]	$h_{\beta}/h_m$	$s_{\beta}/s_m$	$T_{\beta}/T_m$	$u_{\beta}/u_m$	$v_{\beta}/v_m$
11	1.4604E+05	1.00023	1.00029	1.00000	0.99990	1.00001
12	1.3795E+05	0.99838	0.99890	1.00001	0.99981	1.00002
13	1.2845E+05	1.00270	1.00247	0.99994	1.00104	0.99985
14	1.1766E+05	0.99930	0.99932	1.00003	0.99962	1.00007
15	1.0579E+05	1.00050	1.00050	0.99996	1.00032	0.99993
16	9.3196E+04	0.99969	0.99968	1.00004	0.99978	1.00005
17	8.0280E+04	0.99973	0.99972	1.00005	0.99980	1.00005
18	6.7506E+04	1.00034	1.00037	0.99992	1.00027	0.99992
19	5.5330E+04	1.00027	1.00031	0.99992	1.00023	0.99993
20	4.4151E+04	0.99987	0.99985	1.00005	0.99989	1.00004
21	3.4269E+04	1.00009	1.00011	0.99995	1.00008	0.99997
22	2.5858E+04	1.00006	1.00008	0.99996	1.00006	0.99998
23	1.8965E+04	0.99989	0.99985	1.00008	0.99990	1.00004
24	1.3521E+04	1.00015	1.00021	0.99987	1.00014	0.99995
25	9.3747E+03	0.99983	0.99975	1.00018	0.99983	1.00006
26	6.3249E+03	0.99990	0.99984	1.00012	0.99990	1.00004
27	4.1558E+03	0.99990	0.99984	1.00014	0.99990	1.00004
28	2.6617E+03	0.99986	0.99978	1.00021	0.99986	1.00005
29	1.6633E+03	1.00006	1.00010	0.99990	1.00006	0.99998
30	1.0151E+03	0.99996	0.99993	1.00008	0.99996	1.00001
31	6.0556E+02	1.00006	1.00012	0.99986	1.00006	0.99998
32	3.5338E+02	0.99995	0.99991	1.00012	0.99995	1.00002
33	2.0186E+02	1.00001	1.00001	0.99998	1.00001	1.00000
34	1.1294E+02	1.00004	1.00008	0.99989	1.00004	0.99998
35	6.1923E+01	1.00006	1.00012	0.99982	1.00006	0.99998
36	3.3281E+01	0.99995	0.99989	1.00017	0.99995	1.00002
37	1.7540E+01	0.99996	0.99991	1.00014	0.99996	1.00002
38	9.0663E+00	0.99996	0.99991	1.00014	0.99996	1.00001
39	4.5974E+00	0.99996	0.99991	1.00016	0.99996	1.00001
40	2.2873E+00	1.00004	1.00009	0.99984	1.00004	0.99999
41	1.1167E+00	1.00002	1.00006	0.99989	1.00002	0.99999
42	5.3499E-01	1.00001	1.00003	0.99995	1.00001	1.00000
43	2.5155E-01	1.00000	0.99999	1.00002	1.00000	1.00000
44	1.1609E-01	0.99998	0.99995	1.00010	0.99998	1.00001
45	5.2589E-02	1.00002	1.00006	0.99988	1.00002	0.99999
46	2.3384E-02	1.00000	1.00001	0.99998	1.00000	1.00000

Continua na página seguinte

Tabela A.36 – continuando da página anterior

Estado	$P_{sat}$ [kPa]	$h_{\beta}/h_m$	$s_{\beta}/s_m$	$T_{\beta}/T_m$	$u_{\beta}/u_m$	$v_{\beta}/v_m$
47	$1.0207E-02$	0.99999	0.99996	1.00008	0.99999	1.00000
48	$4.3737E-03$	1.00002	1.00005	0.99989	1.00002	0.99999
49	$1.8398E-03$	1.00000	1.00000	1.00001	1.00000	1.00000
50	$7.5981E-04$	0.99998	0.99995	1.00012	0.99998	1.00001

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.37 – Diferença entre as propriedades do líquido saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando  $s_l$ 

Estado	$s_l$ [kJ/(kg.K)]	$h_{\beta}/h_m$	$P_{\beta}/P_m$	$T_{\beta}/T_m$	$u_{\beta}/u_m$	$v_{\beta}/v_m$
1	0.03263	0.99996	1.00000	1.00000	0.99993	0.99999
2	0.03211	0.99997	1.00000	1.00000	0.99994	0.99999
3	0.03108	0.99982	0.99999	1.00000	0.99969	0.99994
4	0.02952	0.99994	1.00000	1.00000	0.99990	0.99998
5	0.02743	0.99984	0.99999	1.00000	0.99970	0.99995
6	0.02481	0.99981	0.99998	1.00000	0.99958	0.99995
7	0.02164	0.99961	0.99996	0.99999	0.99900	0.99991
8	0.01792	1.00045	1.00005	1.00001	1.00166	1.00008
9	0.01364	0.99997	1.00000	1.00000	0.99937	1.00000
10	0.00878	0.99926	0.99995	0.99999	1.00173	0.99994
11	0.00335	1.00023	1.00001	1.00000	0.99990	1.00001
12	-0.00268	0.99838	1.00003	1.00001	0.99981	1.00002
13	-0.00930	1.00270	0.99974	0.99994	1.00104	0.99985
14	-0.01651	0.99930	1.00014	1.00003	0.99962	1.00007
15	-0.02431	1.00050	0.99983	0.99996	1.00032	0.99993
16	-0.03267	0.99969	1.00016	1.00004	0.99978	1.00005
17	-0.04156	0.99973	1.00021	1.00005	0.99980	1.00005
18	-0.05096	1.00034	0.99964	0.99992	1.00027	0.99992
19	-0.06080	1.00027	0.99960	0.99992	1.00023	0.99993
20	-0.07102	0.99987	1.00024	1.00005	0.99989	1.00004
21	-0.08156	1.00009	0.99977	0.99995	1.00008	0.99997
22	-0.09234	1.00006	0.99981	0.99996	1.00006	0.99998
23	-0.10326	0.99989	1.00044	1.00008	0.99990	1.00004

Continua na página seguinte

Tabela A.37 – continuando da página anterior

Estado	$s_l[\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$	$h_\beta/h_m$	$P_\beta/P_m$	$T_\beta/T_m$	$u_\beta/u_m$	$v_\beta/v_m$
24	-0.11426	1.00015	0.99924	0.99987	1.00014	0.99995
25	-0.12525	0.99983	1.00108	1.00018	0.99983	1.00006
26	-0.13615	0.99990	1.00080	1.00012	0.99990	1.00004
27	-0.14691	0.99990	1.00094	1.00014	0.99990	1.00004
28	-0.15748	0.99986	1.00155	1.00021	0.99986	1.00005
29	-0.16782	1.00006	0.99922	0.99990	1.00006	0.99998
30	-0.17790	0.99996	1.00063	1.00008	0.99996	1.00001
31	-0.18770	1.00006	0.99882	0.99986	1.00006	0.99998
32	-0.19722	0.99995	1.00109	1.00012	0.99995	1.00002
33	-0.20645	1.00001	0.99984	0.99998	1.00001	1.00000
34	-0.21541	1.00004	0.99882	0.99989	1.00004	0.99998
35	-0.22410	1.00006	0.99804	0.99982	1.00006	0.99998
36	-0.23253	0.99995	1.00193	1.00017	0.99995	1.00002
37	-0.24070	0.99996	1.00176	1.00014	0.99996	1.00002
38	-0.24865	0.99996	1.00182	1.00014	0.99996	1.00001
39	-0.25637	0.99996	1.00212	1.00016	0.99996	1.00001
40	-0.26387	1.00004	0.99769	0.99984	1.00004	0.99999
41	-0.27118	1.00002	0.99835	0.99989	1.00002	0.99999
42	-0.27829	1.00001	0.99925	0.99995	1.00001	1.00000
43	-0.28522	1.00000	1.00040	1.00002	1.00000	1.00000
44	-0.29198	0.99998	1.00180	1.00010	0.99998	1.00001
45	-0.29858	1.00002	0.99781	0.99988	1.00002	0.99999
46	-0.30502	1.00000	0.99956	0.99998	1.00000	1.00000
47	-0.31131	0.99999	1.00156	1.00008	0.99999	1.00000
48	-0.31746	1.00002	0.99779	0.99989	1.00002	0.99999
49	-0.32348	1.00000	1.00016	1.00001	1.00000	1.00000
50	-0.32937	0.99998	1.00277	1.00012	0.99998	1.00001

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.38 – Diferença entre as propriedades do líquido saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando  $T_{sat}$

Estado	$T_{sat}$ [K]	$h_{\beta}/h_m$	$P_{\beta}/P_m$	$s_{\beta}/s_m$	$u_{\beta}/u_m$	$v_{\beta}/v_m$
1	1747.6	0.99996	1.00000	0.99996	0.99993	0.99999
2	1747.2	0.99997	1.00000	0.99996	0.99994	0.99999
3	1746.3	0.99982	0.99999	0.99981	0.99969	0.99994
4	1744.7	0.99994	1.00000	0.99994	0.99990	0.99998
5	1742.1	0.99984	0.99999	0.99984	0.99970	0.99995
6	1738.2	0.99981	0.99998	0.99980	0.99958	0.99995
7	1732.5	0.99961	0.99996	0.99959	0.99900	0.99991
8	1724.4	1.00045	1.00005	1.00047	1.00166	1.00008
9	1713.5	0.99997	1.00000	0.99997	0.99937	1.00000
10	1699.2	0.99926	0.99995	0.99919	1.00173	0.99994
11	1680.7	1.00023	1.00001	1.00029	0.99990	1.00001
12	1657.6	0.99838	1.00003	0.99890	0.99981	1.00002
13	1629.4	1.00270	0.99974	1.00247	1.00104	0.99985
14	1595.8	0.99930	1.00014	0.99932	0.99962	1.00007
15	1556.5	1.00050	0.99983	1.00050	1.00032	0.99993
16	1511.8	0.99969	1.00016	0.99968	0.99978	1.00005
17	1461.8	0.99973	1.00021	0.99972	0.99980	1.00005
18	1407.1	1.00034	0.99964	1.00037	1.00027	0.99992
19	1348.6	1.00027	0.99960	1.00031	1.00023	0.99993
20	1287.0	0.99987	1.00024	0.99985	0.99989	1.00004
21	1223.5	1.00009	0.99977	1.00011	1.00008	0.99997
22	1159.2	1.00006	0.99981	1.00008	1.00006	0.99998
23	1095.1	0.99989	1.00044	0.99985	0.99990	1.00004
24	1032.1	1.00015	0.99924	1.00021	1.00014	0.99995
25	971.11	0.99983	1.00108	0.99975	0.99983	1.00006
26	912.68	0.99990	1.00080	0.99984	0.99990	1.00004
27	857.28	0.99990	1.00094	0.99984	0.99990	1.00004
28	805.17	0.99986	1.00155	0.99978	0.99986	1.00005
29	756.47	1.00006	0.99922	1.00010	1.00006	0.99998
30	711.18	0.99996	1.00063	0.99993	0.99996	1.00001
31	669.19	1.00006	0.99882	1.00012	1.00006	0.99998
32	630.36	0.99995	1.00109	0.99991	0.99995	1.00002
33	594.50	1.00001	0.99984	1.00001	1.00001	1.00000

Continua na página seguinte

Tabela A.38 – continuando da página anterior

Estado	$T_{sat}[K]$	$h_{\beta}/h_m$	$P_{\beta}/P_m$	$s_{\beta}/s_m$	$u_{\beta}/u_m$	$v_{\beta}/v_m$
34	561.37	1.00004	0.99882	1.00008	1.00004	0.99998
35	530.78	1.00006	0.99804	1.00012	1.00006	0.99998
36	502.51	0.99995	1.00193	0.99989	0.99995	1.00002
37	476.35	0.99996	1.00176	0.99991	0.99996	1.00002
38	452.12	0.99996	1.00182	0.99991	0.99996	1.00001
39	429.64	0.99996	1.00212	0.99991	0.99996	1.00001
40	408.76	1.00004	0.99769	1.00009	1.00004	0.99999
41	389.34	1.00002	0.99835	1.00006	1.00002	0.99999
42	371.24	1.00001	0.99925	1.00003	1.00001	1.00000
43	354.36	1.00000	1.00040	0.99999	1.00000	1.00000
44	338.59	0.99998	1.00180	0.99995	0.99998	1.00001
45	323.84	1.00002	0.99781	1.00006	1.00002	0.99999
46	310.02	1.00000	0.99956	1.00001	1.00000	1.00000
47	297.05	0.99999	1.00156	0.99996	0.99999	1.00000
48	284.88	1.00002	0.99779	1.00005	1.00002	0.99999
49	273.43	1.00000	1.00016	1.00000	1.00000	1.00000
50	262.65	0.99998	1.00277	0.99995	0.99998	1.00001

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.39 – Diferença entre as propriedades do líquido saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando  $u_l$ 

Estado	$u_l[kJ/kg]$	$h_{\beta}/h_m$	$P_{\beta}/P_m$	$s_{\beta}/s_m$	$T_{\beta}/T_m$	$v_{\beta}/v_m$
1	28.388	0.99996	1.00000	0.99996	1.00000	0.99999
2	27.677	0.99997	1.00000	0.99996	1.00000	0.99999
3	26.246	0.99982	0.99999	0.99981	1.00000	0.99994
4	24.077	0.99994	1.00000	0.99994	1.00000	0.99998
5	21.144	0.99984	0.99999	0.99984	1.00000	0.99995
6	17.416	0.99981	0.99998	0.99980	1.00000	0.99995
7	12.858	0.99961	0.99996	0.99959	0.99999	0.99991
8	7.4332	1.00045	1.00005	1.00047	1.00001	1.00008
9	1.1103	0.99997	1.00000	0.99997	1.00000	1.00000
10	-6.1363	0.99926	0.99995	0.99919	0.99999	0.99994

Continua na página seguinte

Tabela A.39 – continuando da página anterior

Estado	$u_l$ [kJ/kg]	$h_\beta/h_m$	$P_\beta/P_m$	$s_\beta/s_m$	$T_\beta/T_m$	$v_\beta/v_m$
11	-14.319	1.00023	1.00001	1.00029	1.00000	1.00001
12	-23.432	0.99838	1.00003	0.99890	1.00001	1.00002
13	-33.448	1.00270	0.99974	1.00247	0.99994	0.99985
14	-44.311	0.99930	1.00014	0.99932	1.00003	1.00007
15	-55.939	1.00050	0.99983	1.00050	0.99996	0.99993
16	-68.216	0.99969	1.00016	0.99968	1.00004	1.00005
17	-81.002	0.99973	1.00021	0.99972	1.00005	1.00005
18	-94.134	1.00034	0.99964	1.00037	0.99992	0.99992
19	-107.44	1.00027	0.99960	1.00031	0.99992	0.99993
20	-120.72	0.99987	1.00024	0.99985	1.00005	1.00004
21	-133.82	1.00009	0.99977	1.00011	0.99995	0.99997
22	-146.56	1.00006	0.99981	1.00008	0.99996	0.99998
23	-158.82	0.99989	1.00044	0.99985	1.00008	1.00004
24	-170.47	1.00015	0.99924	1.00021	0.99987	0.99995
25	-181.45	0.99983	1.00108	0.99975	1.00018	1.00006
26	-191.71	0.99990	1.00080	0.99984	1.00012	1.00004
27	-201.22	0.99990	1.00094	0.99984	1.00014	1.00004
28	-210.00	0.99986	1.00155	0.99978	1.00021	1.00005
29	-218.07	1.00006	0.99922	1.00010	0.99990	0.99998
30	-225.46	0.99996	1.00063	0.99993	1.00008	1.00001
31	-232.22	1.00006	0.99882	1.00012	0.99986	0.99998
32	-238.41	0.99995	1.00109	0.99991	1.00012	1.00002
33	-244.06	1.00001	0.99984	1.00001	0.99998	1.00000
34	-249.24	1.00004	0.99882	1.00008	0.99989	0.99998
35	-253.98	1.00006	0.99804	1.00012	0.99982	0.99998
36	-258.33	0.99995	1.00193	0.99989	1.00017	1.00002
37	-262.33	0.99996	1.00176	0.99991	1.00014	1.00002
38	-266.02	0.99996	1.00182	0.99991	1.00014	1.00001
39	-269.42	0.99996	1.00212	0.99991	1.00016	1.00001
40	-272.57	1.00004	0.99769	1.00009	0.99984	0.99999
41	-275.48	1.00002	0.99835	1.00006	0.99989	0.99999
42	-278.19	1.00001	0.99925	1.00003	0.99995	1.00000
43	-280.70	1.00000	1.00040	0.99999	1.00002	1.00000
44	-283.04	0.99998	1.00180	0.99995	1.00010	1.00001
45	-285.23	1.00002	0.99781	1.00006	0.99988	0.99999
46	-287.27	1.00000	0.99956	1.00001	0.99998	1.00000

Continua na página seguinte



Tabela A.39 – continuando da página anterior

Estado	$u_l[kJ/kg]$	$h_\beta/h_m$	$P_\beta/P_m$	$s_\beta/s_m$	$T_\beta/T_m$	$v_\beta/v_m$
47	-289.18	0.99999	1.00156	0.99996	1.00008	1.00000
48	-290.97	1.00002	0.99779	1.00005	0.99989	0.99999
49	-292.65	1.00000	1.00016	1.00000	1.00001	1.00000
50	-294.23	0.99998	1.00277	0.99995	1.00012	1.00001

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.40 – Diferença entre as propriedades do líquido saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando  $v_l$ 

Estado	$v_l[m^3/kg]$	$h_\beta/h_m$	$P_\beta/P_m$	$s_\beta/s_m$	$T_\beta/T_m$	$u_\beta/u_m$
1	1.9944E-04	0.99996	1.00000	0.99996	1.00000	0.99993
2	1.9831E-04	0.99997	1.00000	0.99996	1.00000	0.99994
3	1.9609E-04	0.99982	0.99999	0.99981	1.00000	0.99969
4	1.9285E-04	0.99994	1.00000	0.99994	1.00000	0.99990
5	1.8868E-04	0.99984	0.99999	0.99984	1.00000	0.99970
6	1.8371E-04	0.99981	0.99998	0.99980	1.00000	0.99958
7	1.7809E-04	0.99961	0.99996	0.99959	0.99999	0.99900
8	1.7195E-04	1.00045	1.00005	1.00047	1.00001	1.00166
9	1.6547E-04	0.99997	1.00000	0.99997	1.00000	0.99937
10	1.5878E-04	0.99926	0.99995	0.99919	0.99999	1.00173
11	1.5204E-04	1.00023	1.00001	1.00029	1.00000	0.99990
12	1.4536E-04	0.99838	1.00003	0.99890	1.00001	0.99981
13	1.3885E-04	1.00270	0.99974	1.00247	0.99994	1.00104
14	1.3262E-04	0.99930	1.00014	0.99932	1.00003	0.99962
15	1.2672E-04	1.00050	0.99983	1.00050	0.99996	1.00032
16	1.2121E-04	0.99969	1.00016	0.99968	1.00004	0.99978
17	1.1612E-04	0.99973	1.00021	0.99972	1.00005	0.99980
18	1.1147E-04	1.00034	0.99964	1.00037	0.99992	1.00027
19	1.0725E-04	1.00027	0.99960	1.00031	0.99992	1.00023
20	1.0346E-04	0.99987	1.00024	0.99985	1.00005	0.99989
21	1.0008E-04	1.00009	0.99977	1.00011	0.99995	1.00008
22	9.7078E-05	1.00006	0.99981	1.00008	0.99996	1.00006
23	9.4429E-05	0.99989	1.00044	0.99985	1.00008	0.99990

Continua na página seguinte

Tabela A.40 – continuando da página anterior

Estado	$v_l[m^3/kg]$	$h_\beta/h_m$	$P_\beta/P_m$	$s_\beta/s_m$	$T_\beta/T_m$	$u_\beta/u_m$
24	9.2100E-05	1.00015	0.99924	1.00021	0.99987	1.00014
25	9.0059E-05	0.99983	1.00108	0.99975	1.00018	0.99983
26	8.8271E-05	0.99990	1.00080	0.99984	1.00012	0.99990
27	8.6707E-05	0.99990	1.00094	0.99984	1.00014	0.99990
28	8.5339E-05	0.99986	1.00155	0.99978	1.00021	0.99986
29	8.4139E-05	1.00006	0.99922	1.00010	0.99990	1.00006
30	8.3085E-05	0.99996	1.00063	0.99993	1.00008	0.99996
31	8.2157E-05	1.00006	0.99882	1.00012	0.99986	1.00006
32	8.1336E-05	0.99995	1.00109	0.99991	1.00012	0.99995
33	8.0608E-05	1.00001	0.99984	1.00001	0.99998	1.00001
34	7.9960E-05	1.00004	0.99882	1.00008	0.99989	1.00004
35	7.9381E-05	1.00006	0.99804	1.00012	0.99982	1.00006
36	7.8861E-05	0.99995	1.00193	0.99989	1.00017	0.99995
37	7.8392E-05	0.99996	1.00176	0.99991	1.00014	0.99996
38	7.7968E-05	0.99996	1.00182	0.99991	1.00014	0.99996
39	7.7584E-05	0.99996	1.00212	0.99991	1.00016	0.99996
40	7.7233E-05	1.00004	0.99769	1.00009	0.99984	1.00004
41	7.6913E-05	1.00002	0.99835	1.00006	0.99989	1.00002
42	7.6620E-05	1.00001	0.99925	1.00003	0.99995	1.00001
43	7.6351E-05	1.00000	1.00040	0.99999	1.00002	1.00000
44	7.6102E-05	0.99998	1.00180	0.99995	1.00010	0.99998
45	7.5873E-05	1.00002	0.99781	1.00006	0.99988	1.00002
46	7.5661E-05	1.00000	0.99956	1.00001	0.99998	1.00000
47	7.5464E-05	0.99999	1.00156	0.99996	1.00008	0.99999
48	7.5281E-05	1.00002	0.99779	1.00005	0.99989	1.00002
49	7.5111E-05	1.00000	1.00016	1.00000	1.00001	1.00000
50	7.4952E-05	0.99998	1.00277	0.99995	1.00012	0.99998

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.41 – Diferença entre as propriedades do vapor saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando  $h_v$

Estado	$h_v$ [kJ/kg]	$P_\beta/P_m$	$s_\beta/s_m$	$T_\beta/T_m$	$u_\beta/u_m$	$v_\beta/v_m$
1	84.412	1.00000	1.00003	1.00000	1.00004	1.00002
2	85.252	1.00000	1.00002	1.00000	1.00003	1.00001
3	86.917	0.99999	1.00012	1.00000	1.00015	1.00007
4	89.382	1.00000	1.00003	1.00000	1.00004	1.00002
5	92.603	0.99999	1.00009	1.00000	1.00010	1.00006
6	96.523	0.99998	1.00009	1.00000	1.00010	1.00007
7	101.06	0.99996	1.00015	0.99999	1.00016	1.00012
8	106.13	0.01174	4.29137	0.44642	1.05125	0.99989
9	111.59	1.00000	1.00001	1.00000	1.00001	1.00001
10	117.32	0.99995	1.00009	0.99999	1.00008	1.00010
11	123.14	1.00001	0.99999	1.00000	0.99999	0.99999
12	128.87	1.00003	0.99997	1.00001	0.99998	0.99996
13	134.31	0.10785	2.15940	0.63607	1.00695	1.00036
14	139.25	1.00014	0.99990	1.00003	0.99994	0.99982
15	143.50	0.24800	1.62815	0.74678	1.00093	1.00021
16	146.87	1.00016	0.99992	1.00004	0.99997	0.99982
17	149.21	1.00021	0.99991	1.00005	0.99998	0.99978
18	150.39	0.99964	1.00014	0.99992	1.00001	1.00037
19	150.37	0.99960	1.00013	0.99992	0.99999	1.00039
20	149.13	1.00024	0.99993	1.00005	1.00001	0.99977
21	146.74	2.73632	0.70247	1.23731	1.00015	1.00021
22	143.31	4.11483	0.60992	1.34455	0.99899	1.00018
23	138.99	1.00044	0.99990	1.00008	1.00005	0.99960
24	133.95	0.99924	1.00015	0.99987	0.99991	1.00068
25	128.40	14.79207	0.39728	1.70907	0.98752	0.99904
26	122.52	23.21160	0.34404	1.84387	0.98038	0.99929
27	116.47	36.94944	0.29796	1.98474	0.97135	0.99917
28	110.42	59.73258	0.25812	2.13138	0.96018	0.99863
29	104.48	0.99922	1.00012	0.99990	0.99991	1.00069
30	98.745	1.00063	0.99991	1.00008	1.00007	0.99944
31	93.269	278.53242	0.16936	2.60235	0.91689	1.00106
32	88.091	481.78988	0.14773	2.76911	0.89885	0.99903
33	83.231	0.99984	1.00002	0.99998	0.99998	1.00014

Continua na página seguinte

Tabela A.41 – continuando da página anterior

Estado	$h_v$ [kJ/kg]	$P_\beta/P_m$	$s_\beta/s_m$	$T_\beta/T_m$	$u_\beta/u_m$	$v_\beta/v_m$
34	78.690	1521.14143	0.11335	3.11645	0.85905	1.00107
35	74.461	2777.59653	0.09971	3.29699	0.83711	1.00179
36	70.530	1.00193	0.99980	1.00017	1.00016	0.99824
37	66.879	1.00176	0.99983	1.00014	1.00014	0.99839
38	63.489	1.00182	0.99983	1.00014	1.00014	0.99832
39	60.339	1.00212	0.99981	1.00016	1.00016	0.99804
40	57.411	0.99769	1.00020	0.99984	0.99984	1.00215
41	54.685	0.99835	1.00013	0.99989	0.99989	1.00154
42	52.144	0.99925	1.00006	0.99995	0.99995	1.00070
43	49.774	1.00040	0.99997	1.00002	1.00002	0.99962
44	47.559	1.00180	0.99987	1.00010	1.00010	0.99831
45	45.487	0.99781	1.00015	0.99988	0.99988	1.00208
46	43.546	0.99956	1.00003	0.99998	0.99998	1.00042
47	41.725	1.00156	0.99990	1.00008	1.00008	0.99852
48	40.015	0.99779	1.00013	0.99989	0.99989	1.00210
49	38.407	1.00016	0.99999	1.00001	1.00001	0.99985
50	36.893	1.00277	0.99985	1.00012	1.00012	0.99736

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.42 – Diferença entre as propriedades do vapor saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando  $P_{sat}$ 

Estado	$P_{sat}$ [kPa]	$h_\beta/h_m$	$s_\beta/s_m$	$T_\beta/T_m$	$u_\beta/u_m$	$v_\beta/v_m$
1	1.7105E+05	1.00003	1.00003	1.00000	1.00004	1.00002
2	1.7089E+05	1.00002	1.00002	1.00000	1.00003	1.00001
3	1.7053E+05	1.00011	1.00012	1.00000	1.00015	1.00007
4	1.6991E+05	1.00003	1.00003	1.00000	1.00004	1.00002
5	1.6891E+05	1.00007	1.00009	1.00000	1.00010	1.00006
6	1.6739E+05	1.00008	1.00009	1.00000	1.00010	1.00007
7	1.6519E+05	1.00012	1.00015	0.99999	1.00016	1.00012
8	1.6213E+05	0.99989	0.99987	1.00001	0.99987	0.99989
9	1.5802E+05	1.00001	1.00001	1.00000	1.00001	1.00001
10	1.5270E+05	1.00007	1.00009	0.99999	1.00008	1.00010

Continua na página seguinte

Tabela A.42 – continuando da página anterior

Estado	$P_{sat}$ [kPa]	$h_{\beta}/h_m$	$s_{\beta}/s_m$	$T_{\beta}/T_m$	$u_{\beta}/u_m$	$v_{\beta}/v_m$
11	1.4604E+05	0.99999	0.99999	1.00000	0.99999	0.99999
12	1.3795E+05	0.99998	0.99997	1.00001	0.99998	0.99996
13	1.2845E+05	1.00013	1.00023	0.99994	1.00015	1.00036
14	1.1766E+05	0.99995	0.99990	1.00003	0.99994	0.99982
15	1.0579E+05	1.00004	1.00010	0.99996	1.00004	1.00021
16	9.3196E+04	0.99998	0.99992	1.00004	0.99997	0.99982
17	8.0280E+04	0.99998	0.99991	1.00005	0.99998	0.99978
18	6.7506E+04	1.00001	1.00014	0.99992	1.00001	1.00037
19	5.5330E+04	0.99999	1.00013	0.99992	0.99999	1.00039
20	4.4151E+04	1.00001	0.99993	1.00005	1.00001	0.99977
21	3.4269E+04	0.99998	1.00006	0.99995	0.99998	1.00021
22	2.5858E+04	0.99998	1.00005	0.99996	0.99998	1.00018
23	1.8965E+04	1.00005	0.99990	1.00008	1.00005	0.99960
24	1.3521E+04	0.99991	1.00015	0.99987	0.99991	1.00068
25	9.3747E+03	1.00013	0.99979	1.00018	1.00013	0.99904
26	6.3249E+03	1.00010	0.99986	1.00012	1.00010	0.99929
27	4.1558E+03	1.00011	0.99984	1.00014	1.00012	0.99917
28	2.6617E+03	1.00018	0.99975	1.00021	1.00019	0.99863
29	1.6633E+03	0.99991	1.00012	0.99990	0.99991	1.00069
30	1.0151E+03	1.00007	0.99991	1.00008	1.00007	0.99944
31	6.0556E+02	0.99987	1.00016	0.99986	0.99987	1.00106
32	3.5338E+02	1.00011	0.99986	1.00012	1.00011	0.99903
33	2.0186E+02	0.99998	1.00002	0.99998	0.99998	1.00014
34	1.1294E+02	0.99989	1.00014	0.99989	0.99989	1.00107
35	6.1923E+01	0.99982	1.00022	0.99982	0.99982	1.00179
36	3.3281E+01	1.00016	0.99980	1.00017	1.00016	0.99824
37	1.7540E+01	1.00014	0.99983	1.00014	1.00014	0.99839
38	9.0663E+00	1.00014	0.99983	1.00014	1.00014	0.99832
39	4.5974E+00	1.00016	0.99981	1.00016	1.00016	0.99804
40	2.2873E+00	0.99984	1.00020	0.99984	0.99984	1.00215
41	1.1167E+00	0.99989	1.00013	0.99989	0.99989	1.00154
42	5.3499E-01	0.99995	1.00006	0.99995	0.99995	1.00070
43	2.5155E-01	1.00002	0.99997	1.00002	1.00002	0.99962
44	1.1609E-01	1.00010	0.99987	1.00010	1.00010	0.99831
45	5.2589E-02	0.99988	1.00015	0.99988	0.99988	1.00208
46	2.3384E-02	0.99998	1.00003	0.99998	0.99998	1.00042

Continua na página seguinte

Tabela A.42 – continuando da página anterior

Estado	$P_{sat}$ [kPa]	$h_{\beta}/h_m$	$s_{\beta}/s_m$	$T_{\beta}/T_m$	$u_{\beta}/u_m$	$v_{\beta}/v_m$
47	$1.0207E-02$	1.00008	0.99990	1.00008	1.00008	0.99852
48	$4.3737E-03$	0.99989	1.00013	0.99989	0.99989	1.00210
49	$1.8398E-03$	1.00001	0.99999	1.00001	1.00001	0.99985
50	$7.5981E-04$	1.00012	0.99985	1.00012	1.00012	0.99736

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.43 – Diferença entre as propriedades do vapor saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando  $s_v$ 

Estado	$s_v$ [kJ/(kg.K)]	$h_{\beta}/h_m$	$P_{\beta}/P_m$	$T_{\beta}/T_m$	$u_{\beta}/u_m$	$v_{\beta}/v_m$
1	0.045166	1.00003	1.00000	1.00000	1.00004	1.00002
2	0.045668	1.00002	1.00000	1.00000	1.00003	1.00001
3	0.046669	1.00011	0.99999	1.00000	1.00015	1.00007
4	0.048167	1.00003	1.00000	1.00000	1.00004	1.00002
5	0.050155	1.00007	0.99999	1.00000	1.00010	1.00006
6	0.052627	1.00008	0.99998	1.00000	1.00010	1.00007
7	0.055575	1.00012	0.99996	0.99999	1.00016	1.00012
8	0.058988	0.99989	1.00005	1.00001	0.99987	0.99989
9	0.062857	1.00001	1.00000	1.00000	1.00001	1.00001
10	0.067172	1.00007	0.99995	0.99999	1.00008	1.00010
11	0.071922	0.99999	1.00001	1.00000	0.99999	0.99999
12	0.077102	0.99998	1.00003	1.00001	0.99998	0.99996
13	0.082708	1.00013	0.99974	0.99994	1.00015	1.00036
14	0.088742	0.99995	1.00014	1.00003	0.99994	0.99982
15	0.095212	1.00004	0.99983	0.99996	1.00004	1.00021
16	0.10214	0.99998	1.00016	1.00004	0.99997	0.99982
17	0.10954	0.99998	1.00021	1.00005	0.99998	0.99978
18	0.11747	1.00001	0.99964	0.99992	1.00001	1.00037
19	0.12597	0.99999	0.99960	0.99992	0.99999	1.00039
20	0.13510	1.00001	1.00024	1.00005	1.00001	0.99977
21	0.14494	0.99998	0.99977	0.99995	0.99998	1.00021
22	0.15556	0.99998	0.99981	0.99996	0.99998	1.00018
23	0.16705	1.00005	1.00044	1.00008	1.00005	0.99960

Continua na página seguinte

Tabela A.43 – continuando da página anterior

Estado	$s_v[\text{kJ}/(\text{kg.K})]$	$h_\beta/h_m$	$P_\beta/P_m$	$T_\beta/T_m$	$u_\beta/u_m$	$v_\beta/v_m$
24	0.17949	0.99991	0.99924	0.99987	0.99991	1.00068
25	0.19296	1.00013	1.00108	1.00018	1.00013	0.99904
26	0.20752	1.00010	1.00080	1.00012	1.00010	0.99929
27	0.22325	1.00011	1.00094	1.00014	1.00012	0.99917
28	0.24020	1.00018	1.00155	1.00021	1.00019	0.99863
29	0.25839	0.99991	0.99922	0.99990	0.99991	1.00069
30	0.27786	1.00007	1.00063	1.00008	1.00007	0.99944
31	0.29862	0.99987	0.99882	0.99986	0.99987	1.00106
32	0.32069	1.00011	1.00109	1.00012	1.00011	0.99903
33	0.34406	0.99998	0.99984	0.99998	0.99998	1.00014
34	0.36872	0.99989	0.99882	0.99989	0.99989	1.00107
35	0.39468	0.99982	0.99804	0.99982	0.99982	1.00179
36	0.42191	1.00016	1.00193	1.00017	1.00016	0.99824
37	0.45041	1.00014	1.00176	1.00014	1.00014	0.99839
38	0.48017	1.00014	1.00182	1.00014	1.00014	0.99832
39	0.51117	1.00016	1.00212	1.00016	1.00016	0.99804
40	0.54340	0.99984	0.99769	0.99984	0.99984	1.00215
41	0.57685	0.99989	0.99835	0.99989	0.99989	1.00154
42	0.61151	0.99995	0.99925	0.99995	0.99995	1.00070
43	0.64737	1.00002	1.00040	1.00002	1.00002	0.99962
44	0.68442	1.00010	1.00180	1.00010	1.00010	0.99831
45	0.72266	0.99988	0.99781	0.99988	0.99988	1.00208
46	0.76206	0.99998	0.99956	0.99998	0.99998	1.00042
47	0.80264	1.00008	1.00156	1.00008	1.00008	0.99852
48	0.84438	0.99989	0.99779	0.99989	0.99989	1.00210
49	0.88727	1.00001	1.00016	1.00001	1.00001	0.99985
50	0.93131	1.00012	1.00277	1.00012	1.00012	0.99736

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.44 – Diferença entre as propriedades do vapor saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando  $T_{sat}$

Estado	$T_{sat}$ [K]	$h_{\beta}/h_m$	$P_{\beta}/P_m$	$s_{\beta}/s_m$	$u_{\beta}/u_m$	$v_{\beta}/v_m$
1	1747.6	1.00003	1.00000	1.00003	1.00004	1.00002
2	1747.2	1.00002	1.00000	1.00002	1.00003	1.00001
3	1746.3	1.00011	0.99999	1.00012	1.00015	1.00007
4	1744.7	1.00003	1.00000	1.00003	1.00004	1.00002
5	1742.1	1.00007	0.99999	1.00009	1.00010	1.00006
6	1738.2	1.00008	0.99998	1.00009	1.00010	1.00007
7	1732.5	1.00012	0.99996	1.00015	1.00016	1.00012
8	1724.4	0.99989	1.00005	0.99987	0.99987	0.99989
9	1713.5	1.00001	1.00000	1.00001	1.00001	1.00001
10	1699.2	1.00007	0.99995	1.00009	1.00008	1.00010
11	1680.7	0.99999	1.00001	0.99999	0.99999	0.99999
12	1657.6	0.99998	1.00003	0.99997	0.99998	0.99996
13	1629.4	1.00013	0.99974	1.00023	1.00015	1.00036
14	1595.8	0.99995	1.00014	0.99990	0.99994	0.99982
15	1556.5	1.00004	0.99983	1.00010	1.00004	1.00021
16	1511.8	0.99998	1.00016	0.99992	0.99997	0.99982
17	1461.8	0.99998	1.00021	0.99991	0.99998	0.99978
18	1407.1	1.00001	0.99964	1.00014	1.00001	1.00037
19	1348.6	0.99999	0.99960	1.00013	0.99999	1.00039
20	1287.0	1.00001	1.00024	0.99993	1.00001	0.99977
21	1223.5	0.99998	0.99977	1.00006	0.99998	1.00021
22	1159.2	0.99998	0.99981	1.00005	0.99998	1.00018
23	1095.1	1.00005	1.00044	0.99990	1.00005	0.99960
24	1032.1	0.99991	0.99924	1.00015	0.99991	1.00068
25	971.11	1.00013	1.00108	0.99979	1.00013	0.99904
26	912.68	1.00010	1.00080	0.99986	1.00010	0.99929
27	857.28	1.00011	1.00094	0.99984	1.00012	0.99917
28	805.17	1.00018	1.00155	0.99975	1.00019	0.99863
29	756.47	0.99991	0.99922	1.00012	0.99991	1.00069
30	711.18	1.00007	1.00063	0.99991	1.00007	0.99944
31	669.19	0.99987	0.99882	1.00016	0.99987	1.00106
32	630.36	1.00011	1.00109	0.99986	1.00011	0.99903
33	594.50	0.99998	0.99984	1.00002	0.99998	1.00014

Continua na página seguinte



Tabela A.44 – continuando da página anterior

Estado	$T_{sat}[K]$	$h_{\beta}/h_m$	$P_{\beta}/P_m$	$s_{\beta}/s_m$	$u_{\beta}/u_m$	$v_{\beta}/v_m$
34	561.37	0.99989	0.99882	1.00014	0.99989	1.00107
35	530.78	0.99982	0.99804	1.00022	0.99982	1.00179
36	502.51	1.00016	1.00193	0.99980	1.00016	0.99824
37	476.35	1.00014	1.00176	0.99983	1.00014	0.99839
38	452.12	1.00014	1.00182	0.99983	1.00014	0.99832
39	429.64	1.00016	1.00212	0.99981	1.00016	0.99804
40	408.76	0.99984	0.99769	1.00020	0.99984	1.00215
41	389.34	0.99989	0.99835	1.00013	0.99989	1.00154
42	371.24	0.99995	0.99925	1.00006	0.99995	1.00070
43	354.36	1.00002	1.00040	0.99997	1.00002	0.99962
44	338.59	1.00010	1.00180	0.99987	1.00010	0.99831
45	323.84	0.99988	0.99781	1.00015	0.99988	1.00208
46	310.02	0.99998	0.99956	1.00003	0.99998	1.00042
47	297.05	1.00008	1.00156	0.99990	1.00008	0.99852
48	284.88	0.99989	0.99779	1.00013	0.99989	1.00210
49	273.43	1.00001	1.00016	0.99999	1.00001	0.99985
50	262.65	1.00012	1.00277	0.99985	1.00012	0.99736

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.45 – Diferença entre as propriedades do vapor saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando  $u_v$ 

Estado	$u_v[kJ/kg]$	$h_{\beta}/h_m$	$P_{\beta}/P_m$	$s_{\beta}/s_m$	$T_{\beta}/T_m$	$v_{\beta}/v_m$
1	44.825	1.00003	1.00000	1.00003	1.00000	1.00002
2	45.446	1.00002	1.00000	1.00002	1.00000	1.00001
3	46.678	1.00011	0.99999	1.00012	1.00000	1.00007
4	48.496	1.00003	1.00000	1.00003	1.00000	1.00002
5	50.864	0.91507	0.00143	6.70918	0.34761	567.19735
6	53.733	0.92720	0.00246	5.97479	0.36868	340.19883
7	57.038	0.93967	0.00433	5.25285	0.39372	199.15831
8	60.702	0.99989	1.00005	0.99987	1.00001	0.99989
9	64.629	1.00001	1.00000	1.00001	1.00000	1.00001
10	68.710	0.97312	0.02304	3.41742	0.49263	40.58784

Continua na página seguinte

Tabela A.45 – continuando da página anterior

Estado	$u_v$ [kJ/kg]	$h_\beta/h_m$	$P_\beta/P_m$	$s_\beta/s_m$	$T_\beta/T_m$	$v_\beta/v_m$
11	72.823	0.99999	1.00001	0.99999	1.00000	0.99999
12	76.834	0.99998	1.00003	0.99997	1.00001	0.99996
13	80.605	0.99331	0.10154	2.18614	0.62957	9.68480
14	83.997	0.99694	0.15941	1.88707	0.68488	6.22487
15	86.879	1.00004	0.99983	1.00010	0.99996	1.00021
16	89.135	0.99998	1.00016	0.99992	1.00004	0.99982
17	90.674	0.99998	1.00021	0.99991	1.00005	0.99978
18	91.438	1.00001	0.99964	1.00014	0.99992	1.00037
19	91.403	0.99999	0.99960	1.00013	0.99992	1.00039
20	90.585	1.00001	1.00024	0.99993	1.00005	0.99977
21	89.035	0.99985	2.73904	0.70211	1.23759	0.36496
22	86.837	0.99998	0.99981	1.00005	0.99996	1.00018
23	84.098	1.00005	1.00044	0.99990	1.00008	0.99960
24	80.936	1.00622	9.43013	0.46379	1.57591	0.10771
25	77.477	1.01078	14.55909	0.40419	1.70252	0.07056
26	73.837	1.01687	22.79186	0.35260	1.83568	0.04574
27	70.123	1.00011	1.00094	0.99984	1.00014	0.99917
28	66.423	1.03347	58.53919	0.26946	2.12080	0.01851
29	62.807	1.04370	96.21798	0.23620	2.27230	0.01153
30	59.325	1.00007	1.00063	0.99991	1.00008	0.99944
31	56.012	0.99987	0.99882	1.00016	0.99986	1.00106
32	52.887	1.08265	475.03662	0.16182	2.75938	0.00254
33	49.959	0.99998	0.99984	1.00002	0.99998	1.00014
34	47.226	1.11401	1508.36025	0.12779	3.10989	0.00085
35	44.684	0.99982	0.99804	1.00022	0.99982	1.00179
36	42.322	1.14900	5155.05790	0.10232	3.48032	0.00027
37	40.130	1.16772	9797.67547	0.09203	3.67296	0.00014
38	38.095	1.00014	1.00182	0.99983	1.00014	0.99832
39	36.204	1.00016	1.00212	0.99981	1.00016	0.99804
40	34.447	0.99984	0.99769	1.00020	0.99984	1.00215
41	32.811	0.99989	0.99835	1.00013	0.99989	1.00154
42	31.287	0.99995	0.99925	1.00006	0.99995	1.00070
43	29.864	1.00002	1.00040	0.99997	1.00002	0.99962
44	28.536	1.00010	1.00180	0.99987	1.00010	0.99831
45	27.292	0.99988	0.99781	1.00015	0.99988	1.00208
46	26.127	0.99998	0.99956	1.00003	0.99998	1.00042

Continua na página seguinte

Tabela A.45 – continuando da página anterior

Estado	$u_v$ [kJ/kg]	$h_\beta/h_m$	$P_\beta/P_m$	$s_\beta/s_m$	$T_\beta/T_m$	$v_\beta/v_m$
47	25.035	1.00008	1.00156	0.99990	1.00008	0.99852
48	24.009	0.99989	0.99779	1.00013	0.99989	1.00210
49	23.044	1.00001	1.00016	0.99999	1.00001	0.99985
50	22.136	1.00012	1.00277	0.99985	1.00012	0.99736

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.46 – Diferença entre as propriedades do vapor saturado calculadas com a biblioteca e as calculadas com a solução de Maxwell utilizando  $v_v$ 

Estado	$v_v$ [m <sup>3</sup> /kg]	$h_\beta/h_m$	$P_\beta/P_m$	$s_\beta/s_m$	$T_\beta/T_m$	$u_\beta/u_m$
1	2.3144E-04	1.00003	1.00000	1.00003	1.00000	1.00004
2	2.3293E-04	1.00002	1.00000	1.00002	1.00000	1.00003
3	2.3596E-04	1.00011	0.99999	1.00012	1.00000	1.00015
4	2.4063E-04	1.00003	1.00000	1.00003	1.00000	1.00004
5	2.4712E-04	1.00007	0.99999	1.00009	1.00000	1.00010
6	2.5564E-04	1.00008	0.99998	1.00009	1.00000	1.00010
7	2.6652E-04	1.00012	0.99996	1.00015	0.99999	1.00016
8	2.8019E-04	0.99989	1.00005	0.99987	1.00001	0.99987
9	2.9720E-04	1.00001	1.00000	1.00001	1.00000	1.00001
10	3.1832E-04	1.00007	0.99995	1.00009	0.99999	1.00008
11	3.4455E-04	0.99999	1.00001	0.99999	1.00000	0.99999
12	3.7720E-04	0.99998	1.00003	0.99997	1.00001	0.99998
13	4.1809E-04	1.00013	0.99974	1.00023	0.99994	1.00015
14	4.6965E-04	0.99995	1.00014	0.99990	1.00003	0.99994
15	5.3525E-04	1.00004	0.99983	1.00010	0.99996	1.00004
16	6.1954E-04	0.99998	1.00016	0.99992	1.00004	0.99997
17	7.2910E-04	0.99998	1.00021	0.99991	1.00005	0.99998
18	8.7331E-04	1.00001	0.99964	1.00014	0.99992	1.00001
19	1.0657E-03	0.99999	0.99960	1.00013	0.99992	0.99999
20	1.3261E-03	1.00001	1.00024	0.99993	1.00005	1.00001
21	1.6840E-03	0.99998	0.99977	1.00006	0.99995	0.99998
22	2.1840E-03	0.99998	0.99981	1.00005	0.99996	0.99998
23	2.8944E-03	1.00005	1.00044	0.99990	1.00008	1.00005

Continua na página seguinte

Tabela A.46 – continuando da página anterior

Estado	$v_v[m^3/kg]$	$h_\beta/h_m$	$P_\beta/P_m$	$s_\beta/s_m$	$T_\beta/T_m$	$u_\beta/u_m$
24	3.9211E-03	0.99991	0.99924	1.00015	0.99987	0.99991
25	5.4320E-03	1.00013	1.00108	0.99979	1.00018	1.00013
26	7.6963E-03	1.00010	1.00080	0.99986	1.00012	1.00010
27	1.1153E-02	1.00011	1.00094	0.99984	1.00014	1.00012
28	1.6531E-02	1.00018	1.00155	0.99975	1.00021	1.00019
29	2.5057E-02	0.99991	0.99922	1.00012	0.99990	0.99991
30	3.8833E-02	1.00007	1.00063	0.99991	1.00008	1.00007
31	6.1524E-02	0.99987	0.99882	1.00016	0.99986	0.99987
32	9.9622E-02	1.00011	1.00109	0.99986	1.00012	1.00011
33	1.6483E-01	0.99998	0.99984	1.00002	0.99998	0.99998
34	2.7858E-01	0.99989	0.99882	1.00014	0.99989	0.99989
35	4.8088E-01	0.99982	0.99804	1.00022	0.99982	0.99982
36	8.4757E-01	1.00016	1.00193	0.99980	1.00017	1.00016
37	1.5251E+00	1.00014	1.00176	0.99983	1.00014	1.00014
38	2.8009E+00	1.00014	1.00182	0.99983	1.00014	1.00014
39	5.2497E+00	1.00016	1.00212	0.99981	1.00016	1.00016
40	1.0040E+01	0.99984	0.99769	1.00020	0.99984	0.99984
41	1.9588E+01	0.99989	0.99835	1.00013	0.99989	0.99989
42	3.8987E+01	0.99995	0.99925	1.00006	0.99995	0.99995
43	7.9146E+01	1.00002	1.00040	0.99997	1.00002	1.00002
44	1.6387E+02	1.00010	1.00180	0.99987	1.00010	1.00010
45	3.4598E+02	0.99988	0.99781	1.00015	0.99988	0.99988
46	7.4488E+02	0.99998	0.99956	1.00003	0.99998	0.99998
47	1.6352E+03	1.00008	1.00156	0.99990	1.00008	1.00008
48	3.6596E+03	0.99989	0.99779	1.00013	0.99989	0.99989
49	8.3501E+03	1.00001	1.00016	0.99999	1.00001	1.00001
50	1.9422E+04	1.00012	1.00277	0.99985	1.00012	1.00012

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.47 – Verificação da equação de Clapeyron ao longo do domo de saturação

$P_{r,1}$	$P_{r,2}$	$T_{r,1}$	$T_{r,2}$	$v_{r,l}$	$v_{r,v}$	$h_{r,l}$	$h_{r,v}$	Clapeyron
9.9987E-1	9.9987E-1	0.99997	0.99997	0.98862	1.0116E+0	1.9538	2.0458	1.0000

Continua na página seguinte

Tabela A.47 – continuando da página anterior

$P_{r,1}$	$P_{r,2}$	$T_{r,1}$	$T_{r,2}$	$v_{r,l}$	$v_{r,v}$	$h_{r,l}$	$h_{r,v}$	<i>Clapeyron</i>
9.9970E-1	9.9970E-1	0.99993	0.99993	0.98295	1.0176E+0	1.9303	2.0688	1.0000
9.9965E-1	9.9965E-1	0.99991	0.99991	0.98148	1.0192E+0	1.9242	2.0749	1.0000
9.9953E-1	9.9952E-1	0.99988	0.99988	0.97861	1.0222E+0	1.9121	2.0866	1.0000
9.9932E-1	9.9931E-1	0.99983	0.99983	0.97438	1.0269E+0	1.8941	2.1039	1.0000
9.9898E-1	9.9897E-1	0.99974	0.99974	0.96881	1.0330E+0	1.8702	2.1269	1.0000
9.9846E-1	9.9845E-1	0.99961	0.99961	0.96195	1.0409E+0	1.8402	2.1554	1.0000
9.9769E-1	9.9768E-1	0.99942	0.99942	0.95384	1.0503E+0	1.8041	2.1894	1.0000
9.9661E-1	9.9660E-1	0.99915	0.99915	0.94455	1.0616E+0	1.7618	2.2286	1.0000
9.9513E-1	9.9510E-1	0.99878	0.99877	0.93416	1.0747E+0	1.7132	2.2730	1.0000
9.9314E-1	9.9311E-1	0.99828	0.99827	0.92272	1.0898E+0	1.6582	2.3225	1.0000
9.9054E-1	9.9050E-1	0.99763	0.99762	0.91032	1.1069E+0	1.5966	2.3767	1.0000
9.8721E-1	9.8715E-1	0.99679	0.99678	0.89706	1.1263E+0	1.5284	2.4355	1.0000
9.8302E-1	9.8295E-1	0.99573	0.99572	0.88302	1.1482E+0	1.4534	2.4986	1.0000
9.7783E-1	9.7775E-1	0.99442	0.99440	0.86828	1.1726E+0	1.3715	2.5658	1.0000
9.7151E-1	9.7141E-1	0.99282	0.99279	0.85296	1.1999E+0	1.2826	2.6366	1.0000
9.6391E-1	9.6379E-1	0.99088	0.99085	0.83713	1.2303E+0	1.1865	2.7108	1.0000
9.5488E-1	9.5474E-1	0.98856	0.98853	0.82090	1.2642E+0	1.0833	2.7880	1.0000
9.4429E-1	9.4413E-1	0.98583	0.98579	0.80435	1.3018E+0	0.97286	2.8676	1.0001
9.3200E-1	9.3181E-1	0.98264	0.98259	0.78758	1.3435E+0	0.85512	2.9493	1.0001
9.1787E-1	9.1766E-1	0.97894	0.97888	0.77068	1.3899E+0	0.73008	3.0326	1.0001
9.0181E-1	9.0156E-1	0.97469	0.97462	0.75372	1.4414E+0	0.59779	3.1168	1.0001
8.8371E-1	8.8343E-1	0.96984	0.96977	0.73680	1.4987E+0	0.45831	3.2014	1.0001
8.6350E-1	8.6320E-1	0.96436	0.96428	0.71997	1.5625E+0	0.31175	3.2858	1.0001
8.4115E-1	8.4081E-1	0.95821	0.95812	0.70331	1.6335E+0	0.15828	3.3694	1.0001
8.1663E-1	8.1627E-1	0.95134	0.95124	0.68689	1.7127E+0	-0.00188	3.4514	1.0001
7.8998E-1	7.8959E-1	0.94374	0.94363	0.67075	1.8012E+0	-0.16846	3.5312	1.0002
7.6127E-1	7.6084E-1	0.93537	0.93524	0.65496	1.9003E+0	-0.34115	3.6081	1.0002
7.3059E-1	7.3014E-1	0.92621	0.92608	0.63955	2.0114E+0	-0.51954	3.6814	1.0002
6.9809E-1	6.9762E-1	0.91625	0.91610	0.62457	2.1362E+0	-0.70322	3.7503	1.0002
6.6398E-1	6.6348E-1	0.90548	0.90533	0.61004	2.2769E+0	-0.89167	3.8144	1.0002
6.2847E-1	6.2795E-1	0.89391	0.89374	0.59600	2.4357E+0	-1.0844	3.8728	1.0003
5.9183E-1	5.9130E-1	0.88154	0.88136	0.58246	2.6156E+0	-1.2807	3.9250	1.0003
5.5436E-1	5.5382E-1	0.86839	0.86820	0.56945	2.8197E+0	-1.4801	3.9705	1.0003
5.1639E-1	5.1585E-1	0.85449	0.85428	0.55697	3.0522E+0	-1.6818	4.0087	1.0003
4.7826E-1	4.7772E-1	0.83987	0.83966	0.54504	3.3178E+0	-1.8852	4.0393	1.0004
4.4031E-1	4.3977E-1	0.82458	0.82436	0.53365	3.6219E+0	-2.0896	4.0620	1.0004

Continua na página seguinte

Tabela A.47 – continuando da página anterior

$P_{r,1}$	$P_{r,2}$	$T_{r,1}$	$T_{r,2}$	$v_{r,l}$	$v_{r,v}$	$h_{r,l}$	$h_{r,v}$	Clapeyron
4.0288E-1	4.0235E-1	0.80867	0.80844	0.52280	3.9716E+0	-2.2943	4.0764	1.0004
3.6632E-1	3.6580E-1	0.79220	0.79196	0.51249	4.3749E+0	-2.4985	4.0824	1.0004
3.3093E-1	3.3043E-1	0.77523	0.77498	0.50271	4.8416E+0	-2.7016	4.0801	1.0005
2.9699E-1	2.9651E-1	0.75784	0.75758	0.49345	5.3837E+0	-2.9030	4.0694	1.0005
2.6474E-1	2.6430E-1	0.74009	0.73983	0.48470	6.0156E+0	-3.1020	4.0505	1.0005
2.3440E-1	2.3398E-1	0.72206	0.72180	0.47644	6.7552E+0	-3.2980	4.0237	1.0006
2.0612E-1	2.0573E-1	0.70384	0.70358	0.46866	7.6241E+0	-3.4905	3.9893	1.0006
1.8000E-1	1.7964E-1	0.68549	0.68523	0.46134	8.6489E+0	-3.6790	3.9477	1.0007
1.5609E-1	1.5577E-1	0.66711	0.66684	0.45445	9.8625E+0	-3.8632	3.8995	1.0007
1.3443E-1	1.3413E-1	0.64874	0.64848	0.44799	1.1306E+1	-4.0425	3.8450	1.0007
1.1497E-1	1.1470E-1	0.63048	0.63022	0.44193	1.3029E+1	-4.2168	3.7851	1.0008
9.7644E-2	9.7412E-2	0.61238	0.61213	0.43625	1.5095E+1	-4.3858	3.7202	1.0008
8.2363E-2	8.2159E-2	0.59451	0.59426	0.43093	1.7584E+1	-4.5493	3.6511	1.0008
6.9002E-2	6.8824E-2	0.57691	0.57666	0.42595	2.0595E+1	-4.7071	3.5784	1.0009
5.7419E-2	5.7266E-2	0.55964	0.55940	0.42129	2.4252E+1	-4.8593	3.5027	1.0009
4.7464E-2	4.7333E-2	0.54274	0.54250	0.41693	2.8715E+1	-5.0058	3.4247	1.0010
3.8979E-2	3.8867E-2	0.52623	0.52600	0.41285	3.4186E+1	-5.1465	3.3450	1.0010
3.1804E-2	3.1711E-2	0.51016	0.50993	0.40904	4.0923E+1	-5.2816	3.2641	1.0011
2.5787E-2	2.5708E-2	0.49454	0.49432	0.40547	4.9255E+1	-5.4111	3.1826	1.0011
2.0778E-2	2.0713E-2	0.47938	0.47917	0.40213	5.9608E+1	-5.5352	3.1010	1.0011
1.6640E-2	1.6587E-2	0.46471	0.46450	0.39901	7.2530E+1	-5.6540	3.0197	1.0012
1.3247E-2	1.3203E-2	0.45052	0.45032	0.39609	8.8734E+1	-5.7676	2.9390	1.0012
1.0484E-2	1.0448E-2	0.43681	0.43662	0.39335	1.0915E+2	-5.8762	2.8594	1.0013
8.2496E-3	8.2210E-3	0.42359	0.42341	0.39078	1.3498E+2	-5.9800	2.7811	1.0013
6.4550E-3	6.4321E-3	0.41085	0.41067	0.38838	1.6782E+2	-6.0792	2.7043	1.0013
5.0229E-3	5.0048E-3	0.39858	0.39841	0.38612	2.0976E+2	-6.1741	2.6292	1.0014
3.8874E-3	3.8731E-3	0.38678	0.38661	0.38400	2.6359E+2	-6.2646	2.5560	1.0014
2.9926E-3	2.9814E-3	0.37542	0.37526	0.38200	3.3297E+2	-6.3512	2.4847	1.0015
2.2917E-3	2.2829E-3	0.36450	0.36435	0.38012	4.2282E+2	-6.4339	2.4156	1.0015
1.7460E-3	1.7391E-3	0.35400	0.35385	0.37836	5.3971E+2	-6.5129	2.3485	1.0015
1.3234E-3	1.3182E-3	0.34391	0.34377	0.37669	6.9250E+2	-6.5885	2.2836	1.0016
9.9813E-4	9.9408E-4	0.33421	0.33408	0.37512	8.9313E+2	-6.6608	2.2208	1.0016
7.4907E-4	7.4597E-4	0.32489	0.32476	0.37363	1.1578E+3	-6.7300	2.1601	1.0017
5.5941E-4	5.5706E-4	0.31593	0.31580	0.37223	1.5085E+3	-6.7962	2.1016	1.0017
4.1575E-4	4.1397E-4	0.30731	0.30719	0.37090	1.9755E+3	-6.8596	2.0451	1.0017
3.0750E-4	3.0617E-4	0.29903	0.29892	0.36964	2.6001E+3	-6.9203	1.9906	1.0018

Continua na página seguinte

Tabela A.47 – continuando da página anterior

$P_{r,1}$	$P_{r,2}$	$T_{r,1}$	$T_{r,2}$	$v_{r,l}$	$v_{r,v}$	$h_{r,l}$	$h_{r,v}$	Clapeyron
2.2636E-4	2.2536E-4	0.29106	0.29095	0.36844	3.4392E+3	-6.9785	1.9380	1.0018
1.6584E-4	1.6510E-4	0.28340	0.28329	0.36731	4.5720E+3	-7.0343	1.8874	1.0019
1.2094E-4	1.2039E-4	0.27602	0.27592	0.36623	6.1081E+3	-7.0879	1.8385	1.0019
8.7780E-5	8.7376E-5	0.26892	0.26883	0.36520	8.2005E+3	-7.1393	1.7915	1.0019
6.3419E-5	6.3123E-5	0.26209	0.26199	0.36423	1.1064E+4	-7.1886	1.7461	1.0020
4.5608E-5	4.5392E-5	0.25550	0.25541	0.36330	1.5001E+4	-7.2360	1.7023	1.0020
3.2648E-5	3.2492E-5	0.24916	0.24907	0.36241	2.0437E+4	-7.2816	1.6602	1.0020
2.3265E-5	2.3152E-5	0.24304	0.24295	0.36157	2.7980E+4	-7.3254	1.6195	1.0021
1.6503E-5	1.6421E-5	0.23714	0.23706	0.36076	3.8492E+4	-7.3676	1.5802	1.0021
1.1653E-5	1.1595E-5	0.23145	0.23137	0.35998	5.3208E+4	-7.4082	1.5424	1.0022
8.1912E-6	8.1498E-6	0.22596	0.22588	0.35925	7.3906E+4	-7.4473	1.5058	1.0022
5.7319E-6	5.7025E-6	0.22066	0.22058	0.35854	1.0315E+5	-7.4850	1.4705	1.0022
3.9929E-6	3.9722E-6	0.21554	0.21547	0.35786	1.4465E+5	-7.5213	1.4364	1.0023
2.7690E-6	2.7545E-6	0.21059	0.21052	0.35721	2.0381E+5	-7.5563	1.4035	1.0023
1.9116E-6	1.9015E-6	0.20581	0.20575	0.35659	2.8854E+5	-7.5901	1.3716	1.0023
1.3138E-6	1.3068E-6	0.20119	0.20113	0.35599	4.1043E+5	-7.6227	1.3408	1.0024
8.9896E-7	8.9407E-7	0.19673	0.19666	0.35542	5.8657E+5	-7.6542	1.3111	1.0024
6.1234E-7	6.0897E-7	0.19240	0.19234	0.35486	8.4226E+5	-7.6846	1.2823	1.0024
4.1525E-7	4.1294E-7	0.18822	0.18816	0.35433	1.2151E+6	-7.7140	1.2544	1.0025
2.8034E-7	2.7876E-7	0.18417	0.18412	0.35382	1.7613E+6	-7.7424	1.2274	1.0025
1.8842E-7	1.8735E-7	0.18025	0.18020	0.35333	2.5648E+6	-7.7699	1.2013	1.0026
1.2608E-7	1.2535E-7	0.17645	0.17640	0.35286	3.7525E+6	-7.7965	1.1760	1.0026
8.3991E-8	8.3503E-8	0.17277	0.17272	0.35240	5.5159E+6	-7.8222	1.1515	1.0026
5.5705E-8	5.5377E-8	0.16921	0.16916	0.35196	8.1456E+6	-7.8471	1.1277	1.0027
3.6781E-8	3.6563E-8	0.16575	0.16570	0.35153	1.2085E+7	-7.8712	1.1047	1.0027
2.4179E-8	2.4034E-8	0.16239	0.16235	0.35112	1.8013E+7	-7.8946	1.0823	1.0027
1.5824E-8	1.5728E-8	0.15914	0.15909	0.35073	2.6973E+7	-7.9172	1.0606	1.0028

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.48 – Testes utilizando a primeira relação de Maxwell na região de vapor super aquecido

teste	$P_1[kPa]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2[m^3/kg]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$v_3[m^3/kg]$	$P_3[kPa]$	maxwell1
1	4500.0	0.02	0.02002	0.30971	0.02	4492.5	0.99999

Continua na página seguinte

Tabela A.48 – continuando da página anterior

teste	$P_1$ [kPa]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$v_2$ [m <sup>3</sup> /kg]	$s_2$ [kJ/(kg.K)]	$v_3$ [m <sup>3</sup> /kg]	$P_3$ [kPa]	maxwell1
2	4480.0	0.02002	0.02004	0.30948	0.02002	4472.5	0.99999
3	4460.0	0.02004	0.02006	0.30925	0.02004	4452.6	0.99999
4	4440.0	0.02006	0.02008	0.30901	0.02006	4432.6	0.99999
5	4420.0	0.02008	0.0201	0.30878	0.02008	4412.7	0.99999
6	4400.0	0.0201	0.02012	0.30854	0.0201	4392.7	0.99999
7	4380.0	0.02012	0.02014	0.3083	0.02012	4372.7	0.99999
8	4360.0	0.02014	0.02016	0.30805	0.02014	4352.8	0.99999
9	4340.0	0.02016	0.02018	0.30781	0.02016	4332.8	0.99999
10	4320.0	0.02018	0.0202	0.30756	0.02018	4312.9	0.99999
11	4300.0	0.0202	0.02022	0.30731	0.0202	4292.9	0.99999
12	4280.0	0.02022	0.02024	0.30706	0.02022	4272.9	0.99999
13	4260.0	0.02024	0.02026	0.30681	0.02024	4253.0	0.99999
14	4240.0	0.02026	0.02028	0.30656	0.02026	4233.0	0.99999
15	4220.0	0.02028	0.0203	0.3063	0.02028	4213.1	0.99999
16	4200.0	0.0203	0.02032	0.30604	0.0203	4193.1	0.99999
17	4180.0	0.02032	0.02034	0.30578	0.02032	4173.1	0.99999
18	4160.0	0.02034	0.02036	0.30552	0.02034	4153.2	0.99999
19	4140.0	0.02036	0.02038	0.30525	0.02036	4133.2	0.99999
20	4120.0	0.02038	0.0204	0.30499	0.02038	4113.3	0.99999
21	4100.0	0.0204	0.02042	0.30472	0.0204	4093.3	0.99999
22	4080.0	0.02042	0.02044	0.30445	0.02042	4073.3	0.99999
23	4060.0	0.02044	0.02046	0.30418	0.02044	4053.4	0.99999
24	4040.0	0.02046	0.02048	0.3039	0.02046	4033.4	0.99999
25	4020.0	0.02048	0.0205	0.30362	0.02048	4013.5	0.99999
26	4000.0	0.0205	0.02052	0.30335	0.0205	3993.5	0.99999
27	3980.0	0.02052	0.02054	0.30306	0.02052	3973.5	0.99999
28	3960.0	0.02054	0.02056	0.30278	0.02054	3953.6	0.99999
29	3940.0	0.02056	0.02058	0.30249	0.02056	3933.6	0.99999
30	3920.0	0.02058	0.0206	0.30221	0.02058	3913.7	0.99999
31	3900.0	0.0206	0.02062	0.30192	0.0206	3893.7	0.99999
32	3880.0	0.02062	0.02064	0.30162	0.02062	3873.7	0.99999
33	3860.0	0.02064	0.02066	0.30133	0.02064	3853.8	0.99999
34	3840.0	0.02066	0.02068	0.30103	0.02066	3833.8	0.99999
35	3820.0	0.02068	0.0207	0.30073	0.02068	3813.8	0.99999
36	3800.0	0.0207	0.02072	0.30043	0.0207	3793.9	0.99999
37	3780.0	0.02072	0.02074	0.30012	0.02072	3773.9	0.99999

Continua na página seguinte



Tabela A.48 – continuando da página anterior

teste	$P_1$ [kPa]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$v_2$ [m <sup>3</sup> /kg]	$s_2$ [kJ/(kg.K)]	$v_3$ [m <sup>3</sup> /kg]	$P_3$ [kPa]	maxwell1
38	3760.0	0.02074	0.02076	0.29982	0.02074	3754.0	0.99999
39	3740.0	0.02076	0.02078	0.29951	0.02076	3734.0	0.99999
40	3720.0	0.02078	0.0208	0.2992	0.02078	3714.0	0.99999
41	3700.0	0.0208	0.02082	0.29888	0.0208	3694.1	0.99999
42	3680.0	0.02082	0.02084	0.29856	0.02082	3674.1	0.99999
43	3660.0	0.02084	0.02086	0.29824	0.02084	3654.2	0.99999
44	3640.0	0.02086	0.02088	0.29792	0.02086	3634.2	0.99999
45	3620.0	0.02088	0.0209	0.2976	0.02088	3614.2	0.99999
46	3600.0	0.0209	0.02092	0.29727	0.0209	3594.3	0.99999
47	3580.0	0.02092	0.02094	0.29694	0.02092	3574.3	0.99999
48	3560.0	0.02094	0.02096	0.29661	0.02094	3554.3	0.99999
49	3540.0	0.02096	0.02098	0.29627	0.02096	3534.4	0.99999
50	3520.0	0.02098	0.021	0.29593	0.02098	3514.4	0.99999
51	3500.0	0.021	0.02102	0.29559	0.021	3494.4	0.99999
52	3480.0	0.02102	0.02104	0.29525	0.02102	3474.5	0.99999
53	3460.0	0.02104	0.02106	0.2949	0.02104	3454.5	0.99999
54	3440.0	0.02106	0.02108	0.29455	0.02106	3434.6	0.99999
55	3420.0	0.02108	0.0211	0.2942	0.02108	3414.6	0.99999
56	3400.0	0.0211	0.02112	0.29384	0.0211	3394.6	0.99999
57	3380.0	0.02112	0.02114	0.29349	0.02112	3374.7	0.99999
58	3360.0	0.02114	0.02116	0.29312	0.02114	3354.7	0.99999
59	3340.0	0.02116	0.02118	0.29276	0.02116	3334.7	0.99999
60	3320.0	0.02118	0.0212	0.29239	0.02118	3314.8	0.99999
61	3300.0	0.0212	0.02122	0.29202	0.0212	3294.8	0.99999
62	3280.0	0.02122	0.02124	0.29165	0.02122	3274.9	0.99998
63	3260.0	0.02124	0.02126	0.29127	0.02124	3254.9	0.99998
64	3240.0	0.02126	0.02128	0.29089	0.02126	3234.9	0.99998
65	3220.0	0.02128	0.0213	0.29051	0.02128	3215.0	0.99998
66	3200.0	0.0213	0.02132	0.29012	0.0213	3195.0	0.99998
67	3180.0	0.02132	0.02134	0.28973	0.02132	3175.0	0.99998
68	3160.0	0.02134	0.02136	0.28934	0.02134	3155.1	0.99998
69	3140.0	0.02136	0.02138	0.28894	0.02136	3135.1	0.99998
70	3120.0	0.02138	0.0214	0.28854	0.02138	3115.1	0.99998
71	3100.0	0.0214	0.02142	0.28813	0.0214	3095.2	0.99998
72	3080.0	0.02142	0.02144	0.28773	0.02142	3075.2	0.99998
73	3060.0	0.02144	0.02146	0.28732	0.02144	3055.2	0.99998

Continua na página seguinte

Tabela A.48 – continuando da página anterior

teste	$P_1$ [kPa]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$v_2$ [m <sup>3</sup> /kg]	$s_2$ [kJ/(kg.K)]	$v_3$ [m <sup>3</sup> /kg]	$P_3$ [kPa]	maxwell1
74	3040.0	0.02146	0.02148	0.2869	0.02146	3035.3	0.99998
75	3020.0	0.02148	0.0215	0.28648	0.02148	3015.3	0.99998
76	3000.0	0.0215	0.02152	0.28606	0.0215	2995.4	0.99998
77	2980.0	0.02152	0.02154	0.28564	0.02152	2975.4	0.99998
78	2960.0	0.02154	0.02156	0.28521	0.02154	2955.4	0.99998
79	2940.0	0.02156	0.02158	0.28477	0.02156	2935.5	0.99998
80	2920.0	0.02158	0.0216	0.28433	0.02158	2915.5	0.99998
81	2900.0	0.0216	0.02162	0.28389	0.0216	2895.5	0.99998
82	2880.0	0.02162	0.02164	0.28345	0.02162	2875.6	0.99998
83	2860.0	0.02164	0.02166	0.283	0.02164	2855.6	0.99998
84	2840.0	0.02166	0.02168	0.28254	0.02166	2835.6	0.99998
85	2820.0	0.02168	0.0217	0.28209	0.02168	2815.7	0.99998
86	2800.0	0.0217	0.02172	0.28163	0.0217	2795.7	0.99998
87	2780.0	0.02172	0.02174	0.28116	0.02172	2775.7	0.99998
88	2760.0	0.02174	0.02176	0.28069	0.02174	2755.8	0.99998
89	2740.0	0.02176	0.02178	0.28021	0.02176	2735.8	0.99998
90	2720.0	0.02178	0.0218	0.27973	0.02178	2715.8	0.99998
91	2700.0	0.0218	0.02182	0.27925	0.0218	2695.9	0.99998
92	2680.0	0.02182	0.02184	0.27876	0.02182	2675.9	0.99998
93	2660.0	0.02184	0.02186	0.27827	0.02184	2655.9	0.99998
94	2640.0	0.02186	0.02188	0.27777	0.02186	2636.0	0.99998
95	2620.0	0.02188	0.0219	0.27727	0.02188	2616.0	0.99998
96	2600.0	0.0219	0.02192	0.27676	0.0219	2596.0	0.99998
97	2580.0	0.02192	0.02194	0.27624	0.02192	2576.1	0.99998
98	2560.0	0.02194	0.02196	0.27573	0.02194	2556.1	0.99998
99	2540.0	0.02196	0.02198	0.2752	0.02196	2536.2	0.99998
100	2520.0	0.02198	0.022	0.27468	0.02198	2516.2	0.99998

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.49 – Testes utilizando a primeira relação de Maxwell na região de líquido comprimido

teste	$T_1$ [K]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$T_2$ [K]	$s_2$ [kJ/(kg.K)]	$v_3$ [m <sup>3</sup> /kg]	$P_3$ [kPa]	maxwell1
1	970.0	9.0e-5	970.5	-0.12552	9.0e-5	14342.0	1.0002

Continua na página seguinte

Tabela A.49 – continuando da página anterior

teste	$T_1$ [K]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$T_2$ [K]	$s_2$ [kJ/(kg.K)]	$v_3$ [m <sup>3</sup> /kg]	$P_3$ [kPa]	<i>maxwell1</i>
2	970.5	9.0e-5	971.0	-0.12548	9.0e-5	15857.0	1.0002
3	971.0	9.0e-5	971.5	-0.12543	9.0e-5	17373.0	1.0002
4	971.5	9.0e-5	972.0	-0.12539	9.0e-5	18888.0	1.0002
5	972.0	9.0e-5	972.5	-0.12535	9.0e-5	20403.0	1.0002
6	972.5	9.0e-5	973.0	-0.1253	9.0e-5	21919.0	1.0002
7	973.0	9.0e-5	973.5	-0.12526	9.0e-5	23434.0	1.0002
8	973.5	9.0e-5	974.0	-0.12522	9.0e-5	24949.0	1.0002
9	974.0	9.0e-5	974.5	-0.12517	9.0e-5	26465.0	1.0002
10	974.5	9.0e-5	975.0	-0.12513	9.0e-5	27980.0	1.0002
11	975.0	9.0e-5	975.5	-0.12509	9.0e-5	29495.0	1.0002
12	975.5	9.0e-5	976.0	-0.12504	9.0e-5	31011.0	1.0002
13	976.0	9.0e-5	976.5	-0.125	9.0e-5	32526.0	1.0002
14	976.5	9.0e-5	977.0	-0.12496	9.0e-5	34042.0	1.0002
15	977.0	9.0e-5	977.5	-0.12491	9.0e-5	35557.0	1.0002
16	977.5	9.0e-5	978.0	-0.12487	9.0e-5	37072.0	1.0002
17	978.0	9.0e-5	978.5	-0.12483	9.0e-5	38588.0	1.0002
18	978.5	9.0e-5	979.0	-0.12478	9.0e-5	40103.0	1.0002
19	979.0	9.0e-5	979.5	-0.12474	9.0e-5	41618.0	1.0002
20	979.5	9.0e-5	980.0	-0.1247	9.0e-5	43134.0	1.0002
21	980.0	9.0e-5	980.5	-0.12465	9.0e-5	44649.0	1.0002
22	980.5	9.0e-5	981.0	-0.12461	9.0e-5	46164.0	1.0002
23	981.0	9.0e-5	981.5	-0.12457	9.0e-5	47680.0	1.0002
24	981.5	9.0e-5	982.0	-0.12453	9.0e-5	49195.0	1.0002
25	982.0	9.0e-5	982.5	-0.12448	9.0e-5	50711.0	1.0002
26	982.5	9.0e-5	983.0	-0.12444	9.0e-5	52226.0	1.0002
27	983.0	9.0e-5	983.5	-0.1244	9.0e-5	53741.0	1.0002
28	983.5	9.0e-5	984.0	-0.12435	9.0e-5	55257.0	1.0002
29	984.0	9.0e-5	984.5	-0.12431	9.0e-5	56772.0	1.0002
30	984.5	9.0e-5	985.0	-0.12427	9.0e-5	58287.0	1.0002
31	985.0	9.0e-5	985.5	-0.12423	9.0e-5	59803.0	1.0002
32	985.5	9.0e-5	986.0	-0.12418	9.0e-5	61318.0	1.0002
33	986.0	9.0e-5	986.5	-0.12414	9.0e-5	62833.0	1.0002
34	986.5	9.0e-5	987.0	-0.1241	9.0e-5	64349.0	1.0002
35	987.0	9.0e-5	987.5	-0.12405	9.0e-5	65864.0	1.0002
36	987.5	9.0e-5	988.0	-0.12401	9.0e-5	67379.0	1.0002
37	988.0	9.0e-5	988.5	-0.12397	9.0e-5	68895.0	1.0002

Continua na página seguinte

Tabela A.49 – continuando da página anterior

teste	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$T_2[K]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$v_3[m^3/kg]$	$P_3[kPa]$	$maxwell1$
38	988.5	9.0e-5	989.0	-0.12393	9.0e-5	70410.0	1.0002
39	989.0	9.0e-5	989.5	-0.12388	9.0e-5	71926.0	1.0002
40	989.5	9.0e-5	990.0	-0.12384	9.0e-5	73441.0	1.0002
41	990.0	9.0e-5	990.5	-0.1238	9.0e-5	74956.0	1.0002
42	990.5	9.0e-5	991.0	-0.12376	9.0e-5	76472.0	1.0002
43	991.0	9.0e-5	991.5	-0.12371	9.0e-5	77987.0	1.0002
44	991.5	9.0e-5	992.0	-0.12367	9.0e-5	79502.0	1.0002
45	992.0	9.0e-5	992.5	-0.12363	9.0e-5	81018.0	1.0002
46	992.5	9.0e-5	993.0	-0.12359	9.0e-5	82533.0	1.0002
47	993.0	9.0e-5	993.5	-0.12354	9.0e-5	84048.0	1.0002
48	993.5	9.0e-5	994.0	-0.1235	9.0e-5	85564.0	1.0002
49	994.0	9.0e-5	994.5	-0.12346	9.0e-5	87079.0	1.0002
50	994.5	9.0e-5	995.0	-0.12342	9.0e-5	88594.0	1.0002
51	995.0	9.0e-5	995.5	-0.12337	9.0e-5	90110.0	1.0002
52	995.5	9.0e-5	996.0	-0.12333	9.0e-5	91625.0	1.0002
53	996.0	9.0e-5	996.5	-0.12329	9.0e-5	93140.0	1.0002
54	996.5	9.0e-5	997.0	-0.12325	9.0e-5	94656.0	1.0002
55	997.0	9.0e-5	997.5	-0.12321	9.0e-5	96171.0	1.0001
56	997.5	9.0e-5	998.0	-0.12316	9.0e-5	97687.0	1.0001
57	998.0	9.0e-5	998.5	-0.12312	9.0e-5	99202.0	1.0001
58	998.5	9.0e-5	999.0	-0.12308	9.0e-5	100720.0	1.0001
59	999.0	9.0e-5	999.5	-0.12304	9.0e-5	102230.0	1.0001
60	999.5	9.0e-5	1000.0	-0.12299	9.0e-5	103750.0	1.0001
61	1000.0	9.0e-5	1000.5	-0.12295	9.0e-5	105260.0	1.0001
62	1000.5	9.0e-5	1001.0	-0.12291	9.0e-5	106780.0	1.0001
63	1001.0	9.0e-5	1001.5	-0.12287	9.0e-5	108290.0	1.0001
64	1001.5	9.0e-5	1002.0	-0.12283	9.0e-5	109810.0	1.0001
65	1002.0	9.0e-5	1002.5	-0.12278	9.0e-5	111320.0	1.0001
66	1002.5	9.0e-5	1003.0	-0.12274	9.0e-5	112840.0	1.0001
67	1003.0	9.0e-5	1003.5	-0.1227	9.0e-5	114360.0	1.0001
68	1003.5	9.0e-5	1004.0	-0.12266	9.0e-5	115870.0	1.0001
69	1004.0	9.0e-5	1004.5	-0.12262	9.0e-5	117390.0	1.0001
70	1004.5	9.0e-5	1005.0	-0.12257	9.0e-5	118900.0	1.0001
71	1005.0	9.0e-5	1005.5	-0.12253	9.0e-5	120420.0	1.0001
72	1005.5	9.0e-5	1006.0	-0.12249	9.0e-5	121930.0	1.0001
73	1006.0	9.0e-5	1006.5	-0.12245	9.0e-5	123450.0	1.0001

Continua na página seguinte

Tabela A.49 – continuando da página anterior

teste	$T_1[K]$	$v_1[m^3/kg]$	$T_2[K]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$v_3[m^3/kg]$	$P_3[kPa]$	<i>maxwell1</i>
74	1006.5	9.0e-5	1007.0	-0.12241	9.0e-5	124960.0	1.0001
75	1007.0	9.0e-5	1007.5	-0.12236	9.0e-5	126480.0	1.0001
76	1007.5	9.0e-5	1008.0	-0.12232	9.0e-5	127990.0	1.0001
77	1008.0	9.0e-5	1008.5	-0.12228	9.0e-5	129510.0	1.0001
78	1008.5	9.0e-5	1009.0	-0.12224	9.0e-5	131020.0	1.0001
79	1009.0	9.0e-5	1009.5	-0.1222	9.0e-5	132540.0	1.0001
80	1009.5	9.0e-5	1010.0	-0.12216	9.0e-5	134050.0	1.0001
81	1010.0	9.0e-5	1010.5	-0.12211	9.0e-5	135570.0	1.0001
82	1010.5	9.0e-5	1011.0	-0.12207	9.0e-5	137090.0	1.0001
83	1011.0	9.0e-5	1011.5	-0.12203	9.0e-5	138600.0	1.0001
84	1011.5	9.0e-5	1012.0	-0.12199	9.0e-5	140120.0	1.0001
85	1012.0	9.0e-5	1012.5	-0.12195	9.0e-5	141630.0	1.0001
86	1012.5	9.0e-5	1013.0	-0.1219	9.0e-5	143150.0	1.0001
87	1013.0	9.0e-5	1013.5	-0.12186	9.0e-5	144660.0	1.0001
88	1013.5	9.0e-5	1014.0	-0.12182	9.0e-5	146180.0	1.0001
89	1014.0	9.0e-5	1014.5	-0.12178	9.0e-5	147690.0	1.0001
90	1014.5	9.0e-5	1015.0	-0.12174	9.0e-5	149210.0	1.0001
91	1015.0	9.0e-5	1015.5	-0.1217	9.0e-5	150720.0	1.0001
92	1015.5	9.0e-5	1016.0	-0.12166	9.0e-5	152240.0	1.0001
93	1016.0	9.0e-5	1016.5	-0.12161	9.0e-5	153750.0	1.0001
94	1016.5	9.0e-5	1017.0	-0.12157	9.0e-5	155270.0	1.0001
95	1017.0	9.0e-5	1017.5	-0.12153	9.0e-5	156780.0	1.0001
96	1017.5	9.0e-5	1018.0	-0.12149	9.0e-5	158300.0	1.0001
97	1018.0	9.0e-5	1018.5	-0.12145	9.0e-5	159820.0	1.0001
98	1018.5	9.0e-5	1019.0	-0.12141	9.0e-5	161330.0	1.0001
99	1019.0	9.0e-5	1019.5	-0.12137	9.0e-5	162850.0	1.0001
100	1019.5	9.0e-5	1020.0	-0.12132	9.0e-5	164360.0	1.0001

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.50 – Testes utilizando a segunda relação de Maxwell na região de vapor super aquecido

teste	$P_1[kPa]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2[m^3/kg]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$P_3[kPa]$	$v_3[m^3/kg]$	<i>maxwell2</i>
1	2000.0	0.023	0.02301	0.26183	2000.0	0.02301	1.0

Continua na página seguinte

Tabela A.50 – continuando da página anterior

teste	$P_1[kPa]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2[m^3/kg]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$P_3[kPa]$	$v_3[m^3/kg]$	maxwell2
2	2020.0	0.02301	0.02302	0.26271	2020.0	0.02302	1.0
3	2040.0	0.02302	0.02303	0.26358	2040.0	0.02303	1.0
4	2060.0	0.02303	0.02304	0.26445	2060.0	0.02304	1.0
5	2080.0	0.02304	0.02305	0.26531	2080.0	0.02305	1.0
6	2100.0	0.02305	0.02306	0.26615	2100.0	0.02306	1.0
7	2120.0	0.02306	0.02307	0.267	2120.0	0.02307	1.0
8	2140.0	0.02307	0.02308	0.26783	2140.0	0.02308	1.0
9	2160.0	0.02308	0.02309	0.26866	2160.0	0.02309	1.0
10	2180.0	0.02309	0.0231	0.26948	2180.0	0.0231	1.0
11	2200.0	0.0231	0.02311	0.27029	2200.0	0.02311	1.0
12	2220.0	0.02311	0.02312	0.2711	2220.0	0.02312	1.0
13	2240.0	0.02312	0.02313	0.2719	2240.0	0.02313	1.0
14	2260.0	0.02313	0.02314	0.2727	2260.0	0.02314	1.0
15	2280.0	0.02314	0.02315	0.27348	2280.0	0.02315	1.0
16	2300.0	0.02315	0.02316	0.27427	2300.0	0.02316	1.0
17	2320.0	0.02316	0.02317	0.27504	2320.0	0.02317	1.0
18	2340.0	0.02317	0.02318	0.27581	2340.0	0.02318	1.0
19	2360.0	0.02318	0.02319	0.27657	2360.0	0.02319	1.0
20	2380.0	0.02319	0.0232	0.27733	2380.0	0.0232	1.0
21	2400.0	0.0232	0.02321	0.27808	2400.0	0.02321	1.0
22	2420.0	0.02321	0.02322	0.27883	2420.0	0.02322	1.0
23	2440.0	0.02322	0.02323	0.27957	2440.0	0.02323	1.0
24	2460.0	0.02323	0.02324	0.28031	2460.0	0.02324	1.0
25	2480.0	0.02324	0.02325	0.28104	2480.0	0.02325	1.0
26	2500.0	0.02325	0.02326	0.28176	2500.0	0.02326	1.0
27	2520.0	0.02326	0.02327	0.28248	2520.0	0.02327	1.0
28	2540.0	0.02327	0.02328	0.28319	2540.0	0.02328	1.0
29	2560.0	0.02328	0.02329	0.2839	2560.0	0.02329	1.0
30	2580.0	0.02329	0.0233	0.28461	2580.0	0.0233	1.0
31	2600.0	0.0233	0.02331	0.28531	2600.0	0.02331	1.0
32	2620.0	0.02331	0.02332	0.286	2620.0	0.02332	1.0
33	2640.0	0.02332	0.02333	0.28669	2640.0	0.02333	1.0
34	2660.0	0.02333	0.02334	0.28737	2660.0	0.02334	1.0
35	2680.0	0.02334	0.02335	0.28806	2680.0	0.02335	1.0
36	2700.0	0.02335	0.02336	0.28873	2700.0	0.02336	1.0
37	2720.0	0.02336	0.02337	0.2894	2720.0	0.02337	1.0

Continua na página seguinte

Tabela A.50 – continuando da página anterior

teste	$P_1[kPa]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2[m^3/kg]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$P_3[kPa]$	$v_3[m^3/kg]$	maxwell2
38	2740.0	0.02337	0.02338	0.29007	2740.0	0.02338	1.0
39	2760.0	0.02338	0.02339	0.29073	2760.0	0.02339	1.0
40	2780.0	0.02339	0.0234	0.29139	2780.0	0.0234	1.0
41	2800.0	0.0234	0.02341	0.29204	2800.0	0.02341	1.0
42	2820.0	0.02341	0.02342	0.29269	2820.0	0.02342	1.0
43	2840.0	0.02342	0.02343	0.29334	2840.0	0.02343	1.0
44	2860.0	0.02343	0.02344	0.29398	2860.0	0.02344	1.0
45	2880.0	0.02344	0.02345	0.29462	2880.0	0.02345	1.0
46	2900.0	0.02345	0.02346	0.29525	2900.0	0.02346	1.0
47	2920.0	0.02346	0.02347	0.29588	2920.0	0.02347	1.0
48	2940.0	0.02347	0.02348	0.29651	2940.0	0.02348	1.0
49	2960.0	0.02348	0.02349	0.29713	2960.0	0.02349	1.0
50	2980.0	0.02349	0.0235	0.29775	2980.0	0.0235	1.0
51	3000.0	0.0235	0.02351	0.29836	3000.0	0.02351	1.0
52	3020.0	0.02351	0.02352	0.29897	3020.0	0.02352	1.0
53	3040.0	0.02352	0.02353	0.29958	3040.0	0.02353	1.0
54	3060.0	0.02353	0.02354	0.30019	3060.0	0.02354	1.0
55	3080.0	0.02354	0.02355	0.30079	3080.0	0.02355	1.0
56	3100.0	0.02355	0.02356	0.30138	3100.0	0.02356	1.0
57	3120.0	0.02356	0.02357	0.30198	3120.0	0.02357	1.0
58	3140.0	0.02357	0.02358	0.30257	3140.0	0.02358	1.0
59	3160.0	0.02358	0.02359	0.30315	3160.0	0.02359	1.0
60	3180.0	0.02359	0.0236	0.30374	3180.0	0.0236	1.0
61	3200.0	0.0236	0.02361	0.30432	3200.0	0.02361	1.0
62	3220.0	0.02361	0.02362	0.30489	3220.0	0.02362	1.0
63	3240.0	0.02362	0.02363	0.30547	3240.0	0.02363	1.0
64	3260.0	0.02363	0.02364	0.30604	3260.0	0.02364	1.0
65	3280.0	0.02364	0.02365	0.30661	3280.0	0.02365	1.0
66	3300.0	0.02365	0.02366	0.30717	3300.0	0.02366	1.0
67	3320.0	0.02366	0.02367	0.30773	3320.0	0.02367	1.0
68	3340.0	0.02367	0.02368	0.30829	3340.0	0.02368	1.0
69	3360.0	0.02368	0.02369	0.30885	3360.0	0.02369	1.0
70	3380.0	0.02369	0.0237	0.3094	3380.0	0.0237	1.0
71	3400.0	0.0237	0.02371	0.30995	3400.0	0.02371	1.0
72	3420.0	0.02371	0.02372	0.3105	3420.0	0.02372	1.0
73	3440.0	0.02372	0.02373	0.31104	3440.0	0.02373	1.0

Continua na página seguinte

Tabela A.50 – continuando da página anterior

teste	$P_1[kPa]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2[m^3/kg]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$P_3[kPa]$	$v_3[m^3/kg]$	maxwell2
74	3460.0	0.02373	0.02374	0.31158	3460.0	0.02374	1.0
75	3480.0	0.02374	0.02375	0.31212	3480.0	0.02375	1.0
76	3500.0	0.02375	0.02376	0.31265	3500.0	0.02376	1.0
77	3520.0	0.02376	0.02377	0.31319	3520.0	0.02377	1.0
78	3540.0	0.02377	0.02378	0.31372	3540.0	0.02378	1.0
79	3560.0	0.02378	0.02379	0.31425	3560.0	0.02379	1.0
80	3580.0	0.02379	0.0238	0.31477	3580.0	0.0238	1.0
81	3600.0	0.0238	0.02381	0.31529	3600.0	0.02381	1.0
82	3620.0	0.02381	0.02382	0.31581	3620.0	0.02382	1.0
83	3640.0	0.02382	0.02383	0.31633	3640.0	0.02383	1.0
84	3660.0	0.02383	0.02384	0.31685	3660.0	0.02384	1.0
85	3680.0	0.02384	0.02385	0.31736	3680.0	0.02385	1.0
86	3700.0	0.02385	0.02386	0.31787	3700.0	0.02386	1.0
87	3720.0	0.02386	0.02387	0.31838	3720.0	0.02387	1.0
88	3740.0	0.02387	0.02388	0.31888	3740.0	0.02388	1.0
89	3760.0	0.02388	0.02389	0.31938	3760.0	0.02389	1.0
90	3780.0	0.02389	0.0239	0.31988	3780.0	0.0239	1.0
91	3800.0	0.0239	0.02391	0.32038	3800.0	0.02391	1.0
92	3820.0	0.02391	0.02392	0.32088	3820.0	0.02392	1.0
93	3840.0	0.02392	0.02393	0.32137	3840.0	0.02393	1.0
94	3860.0	0.02393	0.02394	0.32186	3860.0	0.02394	1.0
95	3880.0	0.02394	0.02395	0.32235	3880.0	0.02395	1.0
96	3900.0	0.02395	0.02396	0.32284	3900.0	0.02396	1.0
97	3920.0	0.02396	0.02397	0.32332	3920.0	0.02397	1.0
98	3940.0	0.02397	0.02398	0.32381	3940.0	0.02398	1.0
99	3960.0	0.02398	0.02399	0.32429	3960.0	0.02399	1.0
100	3980.0	0.02399	0.024	0.32476	3980.0	0.024	1.0

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.51 – Testes utilizando a segunda relação de Maxwell na região de líquido comprimido

teste	$T_1[K]$	$P_1[kPa]$	$T_2[K]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$P_3[kPa]$	$v_3[m^3/kg]$	maxwell2
1	970.0	42000.0	971.0	-0.12649	42000.0	8.9653e-5	0.99969

Continua na página seguinte



Tabela A.51 – continuando da página anterior

teste	$T_1[K]$	$P_1[kPa]$	$T_2[K]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$P_3[kPa]$	$v_3[m^3/kg]$	<i>maxwell2</i>
2	971.0	42000.0	972.0	-0.12631	42000.0	8.9685e-5	0.99969
3	972.0	42000.0	973.0	-0.12612	42000.0	8.9716e-5	0.99969
4	973.0	42000.0	974.0	-0.12594	42000.0	8.9748e-5	0.99969
5	974.0	42000.0	975.0	-0.12576	42000.0	8.9779e-5	0.99969
6	975.0	42000.0	976.0	-0.12558	42000.0	8.9811e-5	0.99969
7	976.0	42000.0	977.0	-0.12539	42000.0	8.9842e-5	0.99969
8	977.0	42000.0	978.0	-0.12521	42000.0	8.9874e-5	0.99969
9	978.0	42000.0	979.0	-0.12503	42000.0	8.9906e-5	0.99969
10	979.0	42000.0	980.0	-0.12484	42000.0	8.9938e-5	0.99969
11	980.0	42000.0	981.0	-0.12466	42000.0	8.9969e-5	0.99969
12	981.0	42000.0	982.0	-0.12448	42000.0	9.0001e-5	0.99969
13	982.0	42000.0	983.0	-0.1243	42000.0	9.0033e-5	0.99969
14	983.0	42000.0	984.0	-0.12411	42000.0	9.0065e-5	0.99969
15	984.0	42000.0	985.0	-0.12393	42000.0	9.0097e-5	0.99969
16	985.0	42000.0	986.0	-0.12375	42000.0	9.0129e-5	0.99969
17	986.0	42000.0	987.0	-0.12357	42000.0	9.0161e-5	0.99969
18	987.0	42000.0	988.0	-0.12339	42000.0	9.0194e-5	0.99969
19	988.0	42000.0	989.0	-0.1232	42000.0	9.0226e-5	0.99969
20	989.0	42000.0	990.0	-0.12302	42000.0	9.0258e-5	0.99969
21	990.0	42000.0	991.0	-0.12284	42000.0	9.029e-5	0.99969
22	991.0	42000.0	992.0	-0.12266	42000.0	9.0323e-5	0.99969
23	992.0	42000.0	993.0	-0.12248	42000.0	9.0355e-5	0.99969
24	993.0	42000.0	994.0	-0.1223	42000.0	9.0388e-5	0.99969
25	994.0	42000.0	995.0	-0.12211	42000.0	9.042e-5	0.99969
26	995.0	42000.0	996.0	-0.12193	42000.0	9.0453e-5	0.99969
27	996.0	42000.0	997.0	-0.12175	42000.0	9.0486e-5	0.99969
28	997.0	42000.0	998.0	-0.12157	42000.0	9.0518e-5	0.99969
29	998.0	42000.0	999.0	-0.12139	42000.0	9.0551e-5	0.99969
30	999.0	42000.0	1000.0	-0.12121	42000.0	9.0584e-5	0.99969
31	1000.0	42000.0	1001.0	-0.12103	42000.0	9.0617e-5	0.99969
32	1001.0	42000.0	1002.0	-0.12085	42000.0	9.065e-5	0.99969
33	1002.0	42000.0	1003.0	-0.12067	42000.0	9.0683e-5	0.99969
34	1003.0	42000.0	1004.0	-0.12049	42000.0	9.0716e-5	0.99969
35	1004.0	42000.0	1005.0	-0.12031	42000.0	9.0749e-5	0.99969
36	1005.0	42000.0	1006.0	-0.12013	42000.0	9.0782e-5	0.99969
37	1006.0	42000.0	1007.0	-0.11995	42000.0	9.0815e-5	0.99969

Continua na página seguinte

Tabela A.51 – continuando da página anterior

teste	$T_1[K]$	$P_1[kPa]$	$T_2[K]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$P_3[kPa]$	$v_3[m^3/kg]$	<i>maxwell2</i>
38	1007.0	42000.0	1008.0	-0.11977	42000.0	9.0849e-5	0.99969
39	1008.0	42000.0	1009.0	-0.11959	42000.0	9.0882e-5	0.99969
40	1009.0	42000.0	1010.0	-0.11941	42000.0	9.0915e-5	0.99969
41	1010.0	42000.0	1011.0	-0.11923	42000.0	9.0949e-5	0.99969
42	1011.0	42000.0	1012.0	-0.11905	42000.0	9.0982e-5	0.99969
43	1012.0	42000.0	1013.0	-0.11887	42000.0	9.1016e-5	0.99969
44	1013.0	42000.0	1014.0	-0.11869	42000.0	9.1049e-5	0.99969
45	1014.0	42000.0	1015.0	-0.11851	42000.0	9.1083e-5	0.99969
46	1015.0	42000.0	1016.0	-0.11833	42000.0	9.1117e-5	0.99969
47	1016.0	42000.0	1017.0	-0.11815	42000.0	9.1151e-5	0.99969
48	1017.0	42000.0	1018.0	-0.11797	42000.0	9.1184e-5	0.99969
49	1018.0	42000.0	1019.0	-0.11779	42000.0	9.1218e-5	0.99969
50	1019.0	42000.0	1020.0	-0.11761	42000.0	9.1252e-5	0.99969
51	1020.0	42000.0	1021.0	-0.11743	42000.0	9.1286e-5	0.99969
52	1021.0	42000.0	1022.0	-0.11725	42000.0	9.132e-5	0.99968
53	1022.0	42000.0	1023.0	-0.11707	42000.0	9.1355e-5	0.99968
54	1023.0	42000.0	1024.0	-0.1169	42000.0	9.1389e-5	0.99968
55	1024.0	42000.0	1025.0	-0.11672	42000.0	9.1423e-5	0.99968
56	1025.0	42000.0	1026.0	-0.11654	42000.0	9.1457e-5	0.99968
57	1026.0	42000.0	1027.0	-0.11636	42000.0	9.1492e-5	0.99968
58	1027.0	42000.0	1028.0	-0.11618	42000.0	9.1526e-5	0.99968
59	1028.0	42000.0	1029.0	-0.116	42000.0	9.1561e-5	0.99968
60	1029.0	42000.0	1030.0	-0.11582	42000.0	9.1595e-5	0.99968
61	1030.0	42000.0	1031.0	-0.11565	42000.0	9.163e-5	0.99968
62	1031.0	42000.0	1032.0	-0.11547	42000.0	9.1665e-5	0.99968
63	1032.0	42000.0	1033.0	-0.11529	42000.0	9.1699e-5	0.99968
64	1033.0	42000.0	1034.0	-0.11511	42000.0	9.1734e-5	0.99968
65	1034.0	42000.0	1035.0	-0.11493	42000.0	9.1769e-5	0.99968
66	1035.0	42000.0	1036.0	-0.11476	42000.0	9.1804e-5	0.99968
67	1036.0	42000.0	1037.0	-0.11458	42000.0	9.1839e-5	0.99968
68	1037.0	42000.0	1038.0	-0.1144	42000.0	9.1874e-5	0.99968
69	1038.0	42000.0	1039.0	-0.11422	42000.0	9.1909e-5	0.99968
70	1039.0	42000.0	1040.0	-0.11404	42000.0	9.1944e-5	0.99968
71	1040.0	42000.0	1041.0	-0.11387	42000.0	9.198e-5	0.99968
72	1041.0	42000.0	1042.0	-0.11369	42000.0	9.2015e-5	0.99968
73	1042.0	42000.0	1043.0	-0.11351	42000.0	9.205e-5	0.99968

Continua na página seguinte

Tabela A.51 – continuando da página anterior

teste	$T_1[K]$	$P_1[kPa]$	$T_2[K]$	$s_2[kJ/(kg.K)]$	$P_3[kPa]$	$v_3[m^3/kg]$	<i>maxwell2</i>
74	1043.0	42000.0	1044.0	-0.11333	42000.0	9.2086e-5	0.99968
75	1044.0	42000.0	1045.0	-0.11316	42000.0	9.2121e-5	0.99968
76	1045.0	42000.0	1046.0	-0.11298	42000.0	9.2157e-5	0.99968
77	1046.0	42000.0	1047.0	-0.1128	42000.0	9.2192e-5	0.99968
78	1047.0	42000.0	1048.0	-0.11263	42000.0	9.2228e-5	0.99968
79	1048.0	42000.0	1049.0	-0.11245	42000.0	9.2264e-5	0.99968
80	1049.0	42000.0	1050.0	-0.11227	42000.0	9.23e-5	0.99968
81	1050.0	42000.0	1051.0	-0.11209	42000.0	9.2336e-5	0.99968
82	1051.0	42000.0	1052.0	-0.11192	42000.0	9.2372e-5	0.99968
83	1052.0	42000.0	1053.0	-0.11174	42000.0	9.2408e-5	0.99968
84	1053.0	42000.0	1054.0	-0.11156	42000.0	9.2444e-5	0.99968
85	1054.0	42000.0	1055.0	-0.11139	42000.0	9.248e-5	0.99968
86	1055.0	42000.0	1056.0	-0.11121	42000.0	9.2516e-5	0.99968
87	1056.0	42000.0	1057.0	-0.11103	42000.0	9.2552e-5	0.99968
88	1057.0	42000.0	1058.0	-0.11086	42000.0	9.2589e-5	0.99968
89	1058.0	42000.0	1059.0	-0.11068	42000.0	9.2625e-5	0.99968
90	1059.0	42000.0	1060.0	-0.11051	42000.0	9.2662e-5	0.99968
91	1060.0	42000.0	1061.0	-0.11033	42000.0	9.2698e-5	0.99968
92	1061.0	42000.0	1062.0	-0.11015	42000.0	9.2735e-5	0.99968
93	1062.0	42000.0	1063.0	-0.10998	42000.0	9.2771e-5	0.99968
94	1063.0	42000.0	1064.0	-0.1098	42000.0	9.2808e-5	0.99968
95	1064.0	42000.0	1065.0	-0.10963	42000.0	9.2845e-5	0.99968
96	1065.0	42000.0	1066.0	-0.10945	42000.0	9.2882e-5	0.99968
97	1066.0	42000.0	1067.0	-0.10927	42000.0	9.2919e-5	0.99968
98	1067.0	42000.0	1068.0	-0.1091	42000.0	9.2956e-5	0.99968
99	1068.0	42000.0	1069.0	-0.10892	42000.0	9.2993e-5	0.99968
100	1069.0	42000.0	1070.0	-0.10875	42000.0	9.303e-5	0.99968

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.52 – Testes utilizando a terceira relação de Maxwell na região de vapor super aquecido

teste	$P_1[kPa]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2[m^3.kg]$	$T_2[K]$	$v_3[m^3/kg]$	$P_3[kPa]$	<i>maxwell3</i>
1	4500.0	0.02	0.02002	1617.2	0.02	4495.5	0.9995

Continua na página seguinte

Tabela A.52 – continuando da página anterior

teste	$P_1$ [kPa]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$v_2$ [m <sup>3</sup> .kg]	$T_2$ [K]	$v_3$ [m <sup>3</sup> /kg]	$P_3$ [kPa]	maxwell3
2	4485.0	0.02002	0.02004	1613.4	0.02002	4480.6	0.9995
3	4470.0	0.02004	0.02006	1609.7	0.02004	4465.6	0.9995
4	4455.0	0.02006	0.02008	1605.9	0.02006	4450.6	0.9995
5	4440.0	0.02008	0.0201	1602.1	0.02008	4435.6	0.9995
6	4425.0	0.0201	0.02012	1598.3	0.0201	4420.6	0.9995
7	4410.0	0.02012	0.02014	1594.5	0.02012	4405.7	0.9995
8	4395.0	0.02014	0.02016	1590.7	0.02014	4390.7	0.9995
9	4380.0	0.02016	0.02018	1586.9	0.02016	4375.7	0.9995
10	4365.0	0.02018	0.0202	1583.1	0.02018	4360.7	0.9995
11	4350.0	0.0202	0.02022	1579.2	0.0202	4345.7	0.9995
12	4335.0	0.02022	0.02024	1575.4	0.02022	4330.8	0.9995
13	4320.0	0.02024	0.02026	1571.5	0.02024	4315.8	0.9995
14	4305.0	0.02026	0.02028	1567.6	0.02026	4300.8	0.9995
15	4290.0	0.02028	0.0203	1563.8	0.02028	4285.8	0.99951
16	4275.0	0.0203	0.02032	1559.9	0.0203	4270.8	0.99951
17	4260.0	0.02032	0.02034	1556.0	0.02032	4255.9	0.99951
18	4245.0	0.02034	0.02036	1552.1	0.02034	4240.9	0.99951
19	4230.0	0.02036	0.02038	1548.1	0.02036	4225.9	0.99951
20	4215.0	0.02038	0.0204	1544.2	0.02038	4210.9	0.99951
21	4200.0	0.0204	0.02042	1540.2	0.0204	4195.9	0.99951
22	4185.0	0.02042	0.02044	1536.3	0.02042	4180.9	0.99951
23	4170.0	0.02044	0.02046	1532.3	0.02044	4166.0	0.99951
24	4155.0	0.02046	0.02048	1528.3	0.02046	4151.0	0.99951
25	4140.0	0.02048	0.0205	1524.3	0.02048	4136.0	0.99951
26	4125.0	0.0205	0.02052	1520.3	0.0205	4121.0	0.99951
27	4110.0	0.02052	0.02054	1516.3	0.02052	4106.0	0.99951
28	4095.0	0.02054	0.02056	1512.3	0.02054	4091.1	0.99951
29	4080.0	0.02056	0.02058	1508.3	0.02056	4076.1	0.99951
30	4065.0	0.02058	0.0206	1504.2	0.02058	4061.1	0.99951
31	4050.0	0.0206	0.02062	1500.2	0.0206	4046.1	0.99951
32	4035.0	0.02062	0.02064	1496.1	0.02062	4031.1	0.99951
33	4020.0	0.02064	0.02066	1492.0	0.02064	4016.1	0.99951
34	4005.0	0.02066	0.02068	1488.0	0.02066	4001.2	0.99951
35	3990.0	0.02068	0.0207	1483.9	0.02068	3986.2	0.99952
36	3975.0	0.0207	0.02072	1479.8	0.0207	3971.2	0.99952
37	3960.0	0.02072	0.02074	1475.6	0.02072	3956.2	0.99952

Continua na página seguinte

Tabela A.52 – continuando da página anterior

teste	$P_1$ [kPa]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$v_2$ [m <sup>3</sup> .kg]	$T_2$ [K]	$v_3$ [m <sup>3</sup> /kg]	$P_3$ [kPa]	maxwell3
38	3945.0	0.02074	0.02076	1471.5	0.02074	3941.2	0.99952
39	3930.0	0.02076	0.02078	1467.4	0.02076	3926.3	0.99952
40	3915.0	0.02078	0.0208	1463.2	0.02078	3911.3	0.99952
41	3900.0	0.0208	0.02082	1459.1	0.0208	3896.3	0.99952
42	3885.0	0.02082	0.02084	1454.9	0.02082	3881.3	0.99952
43	3870.0	0.02084	0.02086	1450.7	0.02084	3866.3	0.99952
44	3855.0	0.02086	0.02088	1446.5	0.02086	3851.3	0.99952
45	3840.0	0.02088	0.0209	1442.3	0.02088	3836.4	0.99952
46	3825.0	0.0209	0.02092	1438.1	0.0209	3821.4	0.99952
47	3810.0	0.02092	0.02094	1433.9	0.02092	3806.4	0.99952
48	3795.0	0.02094	0.02096	1429.7	0.02094	3791.4	0.99952
49	3780.0	0.02096	0.02098	1425.4	0.02096	3776.4	0.99952
50	3765.0	0.02098	0.021	1421.2	0.02098	3761.5	0.99952
51	3750.0	0.021	0.02102	1416.9	0.021	3746.5	0.99952
52	3735.0	0.02102	0.02104	1412.6	0.02102	3731.5	0.99952
53	3720.0	0.02104	0.02106	1408.3	0.02104	3716.5	0.99952
54	3705.0	0.02106	0.02108	1404.0	0.02106	3701.5	0.99952
55	3690.0	0.02108	0.0211	1399.7	0.02108	3686.5	0.99952
56	3675.0	0.0211	0.02112	1395.4	0.0211	3671.6	0.99952
57	3660.0	0.02112	0.02114	1391.1	0.02112	3656.6	0.99953
58	3645.0	0.02114	0.02116	1386.7	0.02114	3641.6	0.99953
59	3630.0	0.02116	0.02118	1382.4	0.02116	3626.6	0.99953
60	3615.0	0.02118	0.0212	1378.0	0.02118	3611.6	0.99953
61	3600.0	0.0212	0.02122	1373.6	0.0212	3596.6	0.99953
62	3585.0	0.02122	0.02124	1369.3	0.02122	3581.7	0.99953
63	3570.0	0.02124	0.02126	1364.9	0.02124	3566.7	0.99953
64	3555.0	0.02126	0.02128	1360.5	0.02126	3551.7	0.99953
65	3540.0	0.02128	0.0213	1356.0	0.02128	3536.7	0.99953
66	3525.0	0.0213	0.02132	1351.6	0.0213	3521.7	0.99953
67	3510.0	0.02132	0.02134	1347.2	0.02132	3506.7	0.99953
68	3495.0	0.02134	0.02136	1342.7	0.02134	3491.8	0.99953
69	3480.0	0.02136	0.02138	1338.3	0.02136	3476.8	0.99953
70	3465.0	0.02138	0.0214	1333.8	0.02138	3461.8	0.99953
71	3450.0	0.0214	0.02142	1329.3	0.0214	3446.8	0.99953
72	3435.0	0.02142	0.02144	1324.8	0.02142	3431.8	0.99953
73	3420.0	0.02144	0.02146	1320.3	0.02144	3416.8	0.99953

Continua na página seguinte

Tabela A.52 – continuando da página anterior

teste	$P_1$ [kPa]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$v_2$ [m <sup>3</sup> .kg]	$T_2$ [K]	$v_3$ [m <sup>3</sup> /kg]	$P_3$ [kPa]	maxwell3
74	3405.0	0.02146	0.02148	1315.8	0.02146	3401.9	0.99953
75	3390.0	0.02148	0.0215	1311.3	0.02148	3386.9	0.99953
76	3375.0	0.0215	0.02152	1306.8	0.0215	3371.9	0.99953
77	3360.0	0.02152	0.02154	1302.2	0.02152	3356.9	0.99953
78	3345.0	0.02154	0.02156	1297.7	0.02154	3341.9	0.99953
79	3330.0	0.02156	0.02158	1293.1	0.02156	3327.0	0.99953
80	3315.0	0.02158	0.0216	1288.5	0.02158	3312.0	0.99954
81	3300.0	0.0216	0.02162	1283.9	0.0216	3297.0	0.99954
82	3285.0	0.02162	0.02164	1279.4	0.02162	3282.0	0.99954
83	3270.0	0.02164	0.02166	1274.7	0.02164	3267.0	0.99954
84	3255.0	0.02166	0.02168	1270.1	0.02166	3252.0	0.99954
85	3240.0	0.02168	0.0217	1265.5	0.02168	3237.1	0.99954
86	3225.0	0.0217	0.02172	1260.9	0.0217	3222.1	0.99954
87	3210.0	0.02172	0.02174	1256.2	0.02172	3207.1	0.99954
88	3195.0	0.02174	0.02176	1251.6	0.02174	3192.1	0.99954
89	3180.0	0.02176	0.02178	1246.9	0.02176	3177.1	0.99954
90	3165.0	0.02178	0.0218	1242.2	0.02178	3162.1	0.99954
91	3150.0	0.0218	0.02182	1237.5	0.0218	3147.1	0.99954
92	3135.0	0.02182	0.02184	1232.8	0.02182	3132.2	0.99954
93	3120.0	0.02184	0.02186	1228.1	0.02184	3117.2	0.99954
94	3105.0	0.02186	0.02188	1223.4	0.02186	3102.2	0.99954
95	3090.0	0.02188	0.0219	1218.6	0.02188	3087.2	0.99954
96	3075.0	0.0219	0.02192	1213.9	0.0219	3072.2	0.99954
97	3060.0	0.02192	0.02194	1209.1	0.02192	3057.2	0.99954
98	3045.0	0.02194	0.02196	1204.4	0.02194	3042.3	0.99954
99	3030.0	0.02196	0.02198	1199.6	0.02196	3027.3	0.99954
100	3015.0	0.02198	0.022	1194.8	0.02198	3012.3	0.99954

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.53 – Testes utilizando a terceira relação de Maxwell na região de líquido comprimido

teste	$T_1$ [K]	$P_1$ [kPa]	$P_2$ [kPa]	$T_2$ [K]	$v_3$ [m <sup>3</sup> /kg]	$P_3$ [kPa]	maxwell3
1	980.0	40000.0	41200.0	980.0	9.0019e-5	41200.0	1.0003

Continua na página seguinte

Tabela A.53 – continuando da página anterior

teste	$T_1 [K]$	$P_1 [kPa]$	$P_2 [kPa]$	$T_2 [K]$	$v_3 [m^3/kg]$	$P_3 [kPa]$	$maxwell3$
2	980.0	41200.0	42400.0	980.0	9.0006e-5	42400.0	1.0003
3	980.0	42400.0	43600.0	980.0	8.9994e-5	43600.0	1.0003
4	980.0	43600.0	44800.0	980.0	8.9981e-5	44800.0	1.0003
5	980.0	44800.0	46000.0	980.0	8.9968e-5	46000.0	1.0003
6	980.0	46000.0	47200.0	980.0	8.9956e-5	47200.0	1.0003
7	980.0	47200.0	48400.0	980.0	8.9943e-5	48400.0	1.0003
8	980.0	48400.0	49600.0	980.0	8.9931e-5	49600.0	1.0003
9	980.0	49600.0	50800.0	980.0	8.9918e-5	50800.0	1.0003
10	980.0	50800.0	52000.0	980.0	8.9906e-5	52000.0	1.0003
11	980.0	52000.0	53200.0	980.0	8.9893e-5	53200.0	1.0003
12	980.0	53200.0	54400.0	980.0	8.9881e-5	54400.0	1.0003
13	980.0	54400.0	55600.0	980.0	8.9869e-5	55600.0	1.0003
14	980.0	55600.0	56800.0	980.0	8.9856e-5	56800.0	1.0003
15	980.0	56800.0	58000.0	980.0	8.9844e-5	58000.0	1.0003
16	980.0	58000.0	59200.0	980.0	8.9832e-5	59200.0	1.0003
17	980.0	59200.0	60400.0	980.0	8.9819e-5	60400.0	1.0003
18	980.0	60400.0	61600.0	980.0	8.9807e-5	61600.0	1.0003
19	980.0	61600.0	62800.0	980.0	8.9795e-5	62800.0	1.0003
20	980.0	62800.0	64000.0	980.0	8.9783e-5	64000.0	1.0003
21	980.0	64000.0	65200.0	980.0	8.9771e-5	65200.0	1.0003
22	980.0	65200.0	66400.0	980.0	8.9758e-5	66400.0	1.0003
23	980.0	66400.0	67600.0	980.0	8.9746e-5	67600.0	1.0003
24	980.0	67600.0	68800.0	980.0	8.9734e-5	68800.0	1.0003
25	980.0	68800.0	70000.0	980.0	8.9722e-5	70000.0	1.0003
26	980.0	70000.0	71200.0	980.0	8.971e-5	71200.0	1.0003
27	980.0	71200.0	72400.0	980.0	8.9698e-5	72400.0	1.0003
28	980.0	72400.0	73600.0	980.0	8.9686e-5	73600.0	1.0003
29	980.0	73600.0	74800.0	980.0	8.9674e-5	74800.0	1.0003
30	980.0	74800.0	76000.0	980.0	8.9662e-5	76000.0	1.0003
31	980.0	76000.0	77200.0	980.0	8.965e-5	77200.0	1.0003
32	980.0	77200.0	78400.0	980.0	8.9638e-5	78400.0	1.0003
33	980.0	78400.0	79600.0	980.0	8.9626e-5	79600.0	1.0003
34	980.0	79600.0	80800.0	980.0	8.9614e-5	80800.0	1.0003
35	980.0	80800.0	82000.0	980.0	8.9602e-5	82000.0	1.0003
36	980.0	82000.0	83200.0	980.0	8.9591e-5	83200.0	1.0003
37	980.0	83200.0	84400.0	980.0	8.9579e-5	84400.0	1.0003

Continua na página seguinte

Tabela A.53 – continuando da página anterior

teste	$T_1 [K]$	$P_1 [kPa]$	$P_2 [kPa]$	$T_2 [K]$	$v_3 [m^3/kg]$	$P_3 [kPa]$	$maxwell3$
38	980.0	84400.0	85600.0	980.0	8.9567e-5	85600.0	1.0003
39	980.0	85600.0	86800.0	980.0	8.9555e-5	86800.0	1.0003
40	980.0	86800.0	88000.0	980.0	8.9543e-5	88000.0	1.0003
41	980.0	88000.0	89200.0	980.0	8.9532e-5	89200.0	1.0003
42	980.0	89200.0	90400.0	980.0	8.952e-5	90400.0	1.0003
43	980.0	90400.0	91600.0	980.0	8.9508e-5	91600.0	1.0003
44	980.0	91600.0	92800.0	980.0	8.9497e-5	92800.0	1.0003
45	980.0	92800.0	94000.0	980.0	8.9485e-5	94000.0	1.0003
46	980.0	94000.0	95200.0	980.0	8.9473e-5	95200.0	1.0003
47	980.0	95200.0	96400.0	980.0	8.9462e-5	96400.0	1.0003
48	980.0	96400.0	97600.0	980.0	8.945e-5	97600.0	1.0003
49	980.0	97600.0	98800.0	980.0	8.9439e-5	98800.0	1.0003
50	980.0	98800.0	100000.0	980.0	8.9427e-5	100000.0	1.0003
51	980.0	100000.0	101200.0	980.0	8.9416e-5	101200.0	1.0003
52	980.0	101200.0	102400.0	980.0	8.9404e-5	102400.0	1.0003
53	980.0	102400.0	103600.0	980.0	8.9393e-5	103600.0	1.0003
54	980.0	103600.0	104800.0	980.0	8.9381e-5	104800.0	1.0003
55	980.0	104800.0	106000.0	980.0	8.937e-5	106000.0	1.0003
56	980.0	106000.0	107200.0	980.0	8.9358e-5	107200.0	1.0003
57	980.0	107200.0	108400.0	980.0	8.9347e-5	108400.0	1.0003
58	980.0	108400.0	109600.0	980.0	8.9336e-5	109600.0	1.0003
59	980.0	109600.0	110800.0	980.0	8.9324e-5	110800.0	1.0003
60	980.0	110800.0	112000.0	980.0	8.9313e-5	112000.0	1.0003
61	980.0	112000.0	113200.0	980.0	8.9302e-5	113200.0	1.0003
62	980.0	113200.0	114400.0	980.0	8.929e-5	114400.0	1.0003
63	980.0	114400.0	115600.0	980.0	8.9279e-5	115600.0	1.0003
64	980.0	115600.0	116800.0	980.0	8.9268e-5	116800.0	1.0003
65	980.0	116800.0	118000.0	980.0	8.9257e-5	118000.0	1.0003
66	980.0	118000.0	119200.0	980.0	8.9246e-5	119200.0	1.0003
67	980.0	119200.0	120400.0	980.0	8.9234e-5	120400.0	1.0003
68	980.0	120400.0	121600.0	980.0	8.9223e-5	121600.0	1.0003
69	980.0	121600.0	122800.0	980.0	8.9212e-5	122800.0	1.0003
70	980.0	122800.0	124000.0	980.0	8.9201e-5	124000.0	1.0003
71	980.0	124000.0	125200.0	980.0	8.919e-5	125200.0	1.0003
72	980.0	125200.0	126400.0	980.0	8.9179e-5	126400.0	1.0003
73	980.0	126400.0	127600.0	980.0	8.9168e-5	127600.0	1.0003

Continua na página seguinte



Tabela A.53 – continuando da página anterior

teste	$T_1[K]$	$P_1[kPa]$	$P_2[kPa]$	$T_2[K]$	$v_3[m^3/kg]$	$P_3[kPa]$	<i>maxwell3</i>
74	980.0	127600.0	128800.0	980.0	8.9157e-5	128800.0	1.0003
75	980.0	128800.0	130000.0	980.0	8.9146e-5	130000.0	1.0003
76	980.0	130000.0	131200.0	980.0	8.9135e-5	131200.0	1.0003
77	980.0	131200.0	132400.0	980.0	8.9124e-5	132400.0	1.0003
78	980.0	132400.0	133600.0	980.0	8.9113e-5	133600.0	1.0003
79	980.0	133600.0	134800.0	980.0	8.9102e-5	134800.0	1.0003
80	980.0	134800.0	136000.0	980.0	8.9091e-5	136000.0	1.0003
81	980.0	136000.0	137200.0	980.0	8.908e-5	137200.0	1.0003
82	980.0	137200.0	138400.0	980.0	8.9069e-5	138400.0	1.0003
83	980.0	138400.0	139600.0	980.0	8.9058e-5	139600.0	1.0003
84	980.0	139600.0	140800.0	980.0	8.9047e-5	140800.0	1.0003
85	980.0	140800.0	142000.0	980.0	8.9037e-5	142000.0	1.0003
86	980.0	142000.0	143200.0	980.0	8.9026e-5	143200.0	1.0003
87	980.0	143200.0	144400.0	980.0	8.9015e-5	144400.0	1.0003
88	980.0	144400.0	145600.0	980.0	8.9004e-5	145600.0	1.0003
89	980.0	145600.0	146800.0	980.0	8.8993e-5	146800.0	1.0003
90	980.0	146800.0	148000.0	980.0	8.8983e-5	148000.0	1.0003
91	980.0	148000.0	149200.0	980.0	8.8972e-5	149200.0	1.0003
92	980.0	149200.0	150400.0	980.0	8.8961e-5	150400.0	1.0003
93	980.0	150400.0	151600.0	980.0	8.8951e-5	151600.0	1.0003
94	980.0	151600.0	152800.0	980.0	8.894e-5	152800.0	1.0003
95	980.0	152800.0	154000.0	980.0	8.8929e-5	154000.0	1.0003
96	980.0	154000.0	155200.0	980.0	8.8919e-5	155200.0	1.0003
97	980.0	155200.0	156400.0	980.0	8.8908e-5	156400.0	1.0003
98	980.0	156400.0	157600.0	980.0	8.8898e-5	157600.0	1.0003
99	980.0	157600.0	158800.0	980.0	8.8887e-5	158800.0	1.0003
100	980.0	158800.0	160000.0	980.0	8.8876e-5	160000.0	1.0003

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.54 – Testes utilizando a quarta relação de Maxwell na região de vapor super aquecido

teste	$P_1[kPa]$	$v_1[m^3/kg]$	$v_2[m^3/kg]$	$T_2[K]$	$P_3[kPa]$	$v_3[m^3/kg]$	<i>maxwell4</i>
1	4200.0	0.02	0.02002	1510.8	4200.0	0.02002	1.0005

Continua na página seguinte

Tabela A.54 – continuando da página anterior

teste	$P_1$ [kPa]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$v_2$ [m <sup>3</sup> /kg]	$T_2$ [K]	$P_3$ [kPa]	$v_3$ [m <sup>3</sup> /kg]	maxwell4
2	4190.0	0.02002	0.02004	1508.7	4190.0	0.02004	1.0005
3	4180.0	0.02004	0.02006	1506.6	4180.0	0.02006	1.0005
4	4170.0	0.02006	0.02008	1504.5	4170.0	0.02008	1.0005
5	4160.0	0.02008	0.0201	1502.4	4160.0	0.0201	1.0005
6	4150.0	0.0201	0.02012	1500.3	4150.0	0.02012	1.0005
7	4140.0	0.02012	0.02014	1498.2	4140.0	0.02014	1.0005
8	4130.0	0.02014	0.02016	1496.1	4130.0	0.02016	1.0005
9	4120.0	0.02016	0.02018	1493.9	4120.0	0.02018	1.0005
10	4110.0	0.02018	0.0202	1491.8	4110.0	0.0202	1.0005
11	4100.0	0.0202	0.02022	1489.7	4100.0	0.02022	1.0005
12	4090.0	0.02022	0.02024	1487.5	4090.0	0.02024	1.0005
13	4080.0	0.02024	0.02026	1485.4	4080.0	0.02026	1.0005
14	4070.0	0.02026	0.02028	1483.2	4070.0	0.02028	1.0005
15	4060.0	0.02028	0.0203	1481.0	4060.0	0.0203	1.0005
16	4050.0	0.0203	0.02032	1478.9	4050.0	0.02032	1.0005
17	4040.0	0.02032	0.02034	1476.7	4040.0	0.02034	1.0005
18	4030.0	0.02034	0.02036	1474.5	4030.0	0.02036	1.0005
19	4020.0	0.02036	0.02038	1472.3	4020.0	0.02038	1.0005
20	4010.0	0.02038	0.0204	1470.1	4010.0	0.0204	1.0005
21	4000.0	0.0204	0.02042	1467.9	4000.0	0.02042	1.0005
22	3990.0	0.02042	0.02044	1465.7	3990.0	0.02044	1.0005
23	3980.0	0.02044	0.02046	1463.4	3980.0	0.02046	1.0005
24	3970.0	0.02046	0.02048	1461.2	3970.0	0.02048	1.0005
25	3960.0	0.02048	0.0205	1459.0	3960.0	0.0205	1.0005
26	3950.0	0.0205	0.02052	1456.7	3950.0	0.02052	1.0005
27	3940.0	0.02052	0.02054	1454.5	3940.0	0.02054	1.0005
28	3930.0	0.02054	0.02056	1452.2	3930.0	0.02056	1.0005
29	3920.0	0.02056	0.02058	1449.9	3920.0	0.02058	1.0005
30	3910.0	0.02058	0.0206	1447.7	3910.0	0.0206	1.0005
31	3900.0	0.0206	0.02062	1445.4	3900.0	0.02062	1.0005
32	3890.0	0.02062	0.02064	1443.1	3890.0	0.02064	1.0005
33	3880.0	0.02064	0.02066	1440.8	3880.0	0.02066	1.0005
34	3870.0	0.02066	0.02068	1438.5	3870.0	0.02068	1.0005
35	3860.0	0.02068	0.0207	1436.2	3860.0	0.0207	1.0005
36	3850.0	0.0207	0.02072	1433.9	3850.0	0.02072	1.0005
37	3840.0	0.02072	0.02074	1431.5	3840.0	0.02074	1.0005

Continua na página seguinte

Tabela A.54 – continuando da página anterior

teste	$P_1$ [kPa]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$v_2$ [m <sup>3</sup> /kg]	$T_2$ [K]	$P_3$ [kPa]	$v_3$ [m <sup>3</sup> /kg]	maxwell4
38	3830.0	0.02074	0.02076	1429.2	3830.0	0.02076	1.0005
39	3820.0	0.02076	0.02078	1426.9	3820.0	0.02078	1.0005
40	3810.0	0.02078	0.0208	1424.5	3810.0	0.0208	1.0005
41	3800.0	0.0208	0.02082	1422.2	3800.0	0.02082	1.0005
42	3790.0	0.02082	0.02084	1419.8	3790.0	0.02084	1.0005
43	3780.0	0.02084	0.02086	1417.4	3780.0	0.02086	1.0005
44	3770.0	0.02086	0.02088	1415.1	3770.0	0.02088	1.0005
45	3760.0	0.02088	0.0209	1412.7	3760.0	0.0209	1.0005
46	3750.0	0.0209	0.02092	1410.3	3750.0	0.02092	1.0005
47	3740.0	0.02092	0.02094	1407.9	3740.0	0.02094	1.0005
48	3730.0	0.02094	0.02096	1405.5	3730.0	0.02096	1.0005
49	3720.0	0.02096	0.02098	1403.1	3720.0	0.02098	1.0005
50	3710.0	0.02098	0.021	1400.7	3710.0	0.021	1.0005
51	3700.0	0.021	0.02102	1398.3	3700.0	0.02102	1.0005
52	3690.0	0.02102	0.02104	1395.8	3690.0	0.02104	1.0005
53	3680.0	0.02104	0.02106	1393.4	3680.0	0.02106	1.0005
54	3670.0	0.02106	0.02108	1390.9	3670.0	0.02108	1.0005
55	3660.0	0.02108	0.0211	1388.5	3660.0	0.0211	1.0005
56	3650.0	0.0211	0.02112	1386.0	3650.0	0.02112	1.0005
57	3640.0	0.02112	0.02114	1383.6	3640.0	0.02114	1.0005
58	3630.0	0.02114	0.02116	1381.1	3630.0	0.02116	1.0005
59	3620.0	0.02116	0.02118	1378.6	3620.0	0.02118	1.0005
60	3610.0	0.02118	0.0212	1376.1	3610.0	0.0212	1.0005
61	3600.0	0.0212	0.02122	1373.6	3600.0	0.02122	1.0005
62	3590.0	0.02122	0.02124	1371.1	3590.0	0.02124	1.0005
63	3580.0	0.02124	0.02126	1368.6	3580.0	0.02126	1.0005
64	3570.0	0.02126	0.02128	1366.1	3570.0	0.02128	1.0005
65	3560.0	0.02128	0.0213	1363.6	3560.0	0.0213	1.0005
66	3550.0	0.0213	0.02132	1361.1	3550.0	0.02132	1.0005
67	3540.0	0.02132	0.02134	1358.5	3540.0	0.02134	1.0005
68	3530.0	0.02134	0.02136	1356.0	3530.0	0.02136	1.0005
69	3520.0	0.02136	0.02138	1353.4	3520.0	0.02138	1.0005
70	3510.0	0.02138	0.0214	1350.9	3510.0	0.0214	1.0005
71	3500.0	0.0214	0.02142	1348.3	3500.0	0.02142	1.0005
72	3490.0	0.02142	0.02144	1345.7	3490.0	0.02144	1.0005
73	3480.0	0.02144	0.02146	1343.2	3480.0	0.02146	1.0005

Continua na página seguinte

Tabela A.54 – continuando da página anterior

teste	$P_1$ [kPa]	$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	$v_2$ [m <sup>3</sup> /kg]	$T_2$ [K]	$P_3$ [kPa]	$v_3$ [m <sup>3</sup> /kg]	maxwell4
74	3470.0	0.02146	0.02148	1340.6	3470.0	0.02148	1.0005
75	3460.0	0.02148	0.0215	1338.0	3460.0	0.0215	1.0005
76	3450.0	0.0215	0.02152	1335.4	3450.0	0.02152	1.0005
77	3440.0	0.02152	0.02154	1332.8	3440.0	0.02154	1.0005
78	3430.0	0.02154	0.02156	1330.2	3430.0	0.02156	1.0005
79	3420.0	0.02156	0.02158	1327.5	3420.0	0.02158	1.0005
80	3410.0	0.02158	0.0216	1324.9	3410.0	0.0216	1.0005
81	3400.0	0.0216	0.02162	1322.3	3400.0	0.02162	1.0005
82	3390.0	0.02162	0.02164	1319.6	3390.0	0.02164	1.0005
83	3380.0	0.02164	0.02166	1317.0	3380.0	0.02166	1.0005
84	3370.0	0.02166	0.02168	1314.3	3370.0	0.02168	1.0005
85	3360.0	0.02168	0.0217	1311.7	3360.0	0.0217	1.0005
86	3350.0	0.0217	0.02172	1309.0	3350.0	0.02172	1.0005
87	3340.0	0.02172	0.02174	1306.3	3340.0	0.02174	1.0005
88	3330.0	0.02174	0.02176	1303.6	3330.0	0.02176	1.0005
89	3320.0	0.02176	0.02178	1300.9	3320.0	0.02178	1.0005
90	3310.0	0.02178	0.0218	1298.2	3310.0	0.0218	1.0005
91	3300.0	0.0218	0.02182	1295.5	3300.0	0.02182	1.0005
92	3290.0	0.02182	0.02184	1292.8	3290.0	0.02184	1.0005
93	3280.0	0.02184	0.02186	1290.1	3280.0	0.02186	1.0005
94	3270.0	0.02186	0.02188	1287.4	3270.0	0.02188	1.0005
95	3260.0	0.02188	0.0219	1284.6	3260.0	0.0219	1.0005
96	3250.0	0.0219	0.02192	1281.9	3250.0	0.02192	1.0005
97	3240.0	0.02192	0.02194	1279.1	3240.0	0.02194	1.0005
98	3230.0	0.02194	0.02196	1276.4	3230.0	0.02196	1.0005
99	3220.0	0.02196	0.02198	1273.6	3220.0	0.02198	1.0005
100	3210.0	0.02198	0.022	1270.8	3210.0	0.022	1.0005

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.55 – Testes utilizando a quarta relação de Maxwell na região de líquido comprimido

teste	$T_1$ [K]	$P_1$ [kPa]	$P_2$ [kPa]	$T_2$ [K]	$P_3$ [kPa]	$v_3$ [m <sup>3</sup> /kg]	maxwell4
1	980.0	40000.0	41200.0	980.0	40000.0	9.0006e-5	0.99966

Continua na página seguinte

Tabela A.55 – continuando da página anterior

teste	$T_1 [K]$	$P_1 [kPa]$	$P_2 [kPa]$	$T_2 [K]$	$P_3 [kPa]$	$v_3 [m^3/kg]$	<i>maxwell4</i>
2	980.0	41200.0	42400.0	980.0	41200.0	8.9994e-5	0.99966
3	980.0	42400.0	43600.0	980.0	42400.0	8.9981e-5	0.99966
4	980.0	43600.0	44800.0	980.0	43600.0	8.9968e-5	0.99966
5	980.0	44800.0	46000.0	980.0	44800.0	8.9956e-5	0.99966
6	980.0	46000.0	47200.0	980.0	46000.0	8.9943e-5	0.99966
7	980.0	47200.0	48400.0	980.0	47200.0	8.9931e-5	0.99966
8	980.0	48400.0	49600.0	980.0	48400.0	8.9918e-5	0.99966
9	980.0	49600.0	50800.0	980.0	49600.0	8.9906e-5	0.99966
10	980.0	50800.0	52000.0	980.0	50800.0	8.9893e-5	0.99966
11	980.0	52000.0	53200.0	980.0	52000.0	8.9881e-5	0.99966
12	980.0	53200.0	54400.0	980.0	53200.0	8.9869e-5	0.99966
13	980.0	54400.0	55600.0	980.0	54400.0	8.9856e-5	0.99966
14	980.0	55600.0	56800.0	980.0	55600.0	8.9844e-5	0.99966
15	980.0	56800.0	58000.0	980.0	56800.0	8.9832e-5	0.99967
16	980.0	58000.0	59200.0	980.0	58000.0	8.9819e-5	0.99967
17	980.0	59200.0	60400.0	980.0	59200.0	8.9807e-5	0.99967
18	980.0	60400.0	61600.0	980.0	60400.0	8.9795e-5	0.99967
19	980.0	61600.0	62800.0	980.0	61600.0	8.9783e-5	0.99967
20	980.0	62800.0	64000.0	980.0	62800.0	8.9771e-5	0.99967
21	980.0	64000.0	65200.0	980.0	64000.0	8.9758e-5	0.99967
22	980.0	65200.0	66400.0	980.0	65200.0	8.9746e-5	0.99967
23	980.0	66400.0	67600.0	980.0	66400.0	8.9734e-5	0.99967
24	980.0	67600.0	68800.0	980.0	67600.0	8.9722e-5	0.99967
25	980.0	68800.0	70000.0	980.0	68800.0	8.971e-5	0.99967
26	980.0	70000.0	71200.0	980.0	70000.0	8.9698e-5	0.99967
27	980.0	71200.0	72400.0	980.0	71200.0	8.9686e-5	0.99967
28	980.0	72400.0	73600.0	980.0	72400.0	8.9674e-5	0.99967
29	980.0	73600.0	74800.0	980.0	73600.0	8.9662e-5	0.99967
30	980.0	74800.0	76000.0	980.0	74800.0	8.965e-5	0.99967
31	980.0	76000.0	77200.0	980.0	76000.0	8.9638e-5	0.99967
32	980.0	77200.0	78400.0	980.0	77200.0	8.9626e-5	0.99967
33	980.0	78400.0	79600.0	980.0	78400.0	8.9614e-5	0.99967
34	980.0	79600.0	80800.0	980.0	79600.0	8.9602e-5	0.99967
35	980.0	80800.0	82000.0	980.0	80800.0	8.9591e-5	0.99967
36	980.0	82000.0	83200.0	980.0	82000.0	8.9579e-5	0.99967
37	980.0	83200.0	84400.0	980.0	83200.0	8.9567e-5	0.99967

Continua na página seguinte

Tabela A.55 – continuando da página anterior

teste	$T_1 [K]$	$P_1 [kPa]$	$P_2 [kPa]$	$T_2 [K]$	$P_3 [kPa]$	$v_3 [m^3/kg]$	$maxwell4$
38	980.0	84400.0	85600.0	980.0	84400.0	8.9555e-5	0.99968
39	980.0	85600.0	86800.0	980.0	85600.0	8.9543e-5	0.99968
40	980.0	86800.0	88000.0	980.0	86800.0	8.9532e-5	0.99968
41	980.0	88000.0	89200.0	980.0	88000.0	8.952e-5	0.99968
42	980.0	89200.0	90400.0	980.0	89200.0	8.9508e-5	0.99968
43	980.0	90400.0	91600.0	980.0	90400.0	8.9497e-5	0.99968
44	980.0	91600.0	92800.0	980.0	91600.0	8.9485e-5	0.99968
45	980.0	92800.0	94000.0	980.0	92800.0	8.9473e-5	0.99968
46	980.0	94000.0	95200.0	980.0	94000.0	8.9462e-5	0.99968
47	980.0	95200.0	96400.0	980.0	95200.0	8.945e-5	0.99968
48	980.0	96400.0	97600.0	980.0	96400.0	8.9439e-5	0.99968
49	980.0	97600.0	98800.0	980.0	97600.0	8.9427e-5	0.99968
50	980.0	98800.0	100000.0	980.0	98800.0	8.9416e-5	0.99968
51	980.0	100000.0	101200.0	980.0	100000.0	8.9404e-5	0.99968
52	980.0	101200.0	102400.0	980.0	101200.0	8.9393e-5	0.99968
53	980.0	102400.0	103600.0	980.0	102400.0	8.9381e-5	0.99968
54	980.0	103600.0	104800.0	980.0	103600.0	8.937e-5	0.99968
55	980.0	104800.0	106000.0	980.0	104800.0	8.9358e-5	0.99968
56	980.0	106000.0	107200.0	980.0	106000.0	8.9347e-5	0.99968
57	980.0	107200.0	108400.0	980.0	107200.0	8.9336e-5	0.99968
58	980.0	108400.0	109600.0	980.0	108400.0	8.9324e-5	0.99968
59	980.0	109600.0	110800.0	980.0	109600.0	8.9313e-5	0.99968
60	980.0	110800.0	112000.0	980.0	110800.0	8.9302e-5	0.99968
61	980.0	112000.0	113200.0	980.0	112000.0	8.929e-5	0.99968
62	980.0	113200.0	114400.0	980.0	113200.0	8.9279e-5	0.99968
63	980.0	114400.0	115600.0	980.0	114400.0	8.9268e-5	0.99968
64	980.0	115600.0	116800.0	980.0	115600.0	8.9257e-5	0.99969
65	980.0	116800.0	118000.0	980.0	116800.0	8.9246e-5	0.99969
66	980.0	118000.0	119200.0	980.0	118000.0	8.9234e-5	0.99969
67	980.0	119200.0	120400.0	980.0	119200.0	8.9223e-5	0.99969
68	980.0	120400.0	121600.0	980.0	120400.0	8.9212e-5	0.99969
69	980.0	121600.0	122800.0	980.0	121600.0	8.9201e-5	0.99969
70	980.0	122800.0	124000.0	980.0	122800.0	8.919e-5	0.99969
71	980.0	124000.0	125200.0	980.0	124000.0	8.9179e-5	0.99969
72	980.0	125200.0	126400.0	980.0	125200.0	8.9168e-5	0.99969
73	980.0	126400.0	127600.0	980.0	126400.0	8.9157e-5	0.99969

Continua na página seguinte

Tabela A.55 – continuando da página anterior

teste	$T_1[K]$	$P_1[kPa]$	$P_2[kPa]$	$T_2[K]$	$P_3[kPa]$	$v_3[m^3/kg]$	$maxwell4$
74	980.0	127600.0	128800.0	980.0	127600.0	8.9146e-5	0.99969
75	980.0	128800.0	130000.0	980.0	128800.0	8.9135e-5	0.99969
76	980.0	130000.0	131200.0	980.0	130000.0	8.9124e-5	0.99969
77	980.0	131200.0	132400.0	980.0	131200.0	8.9113e-5	0.99969
78	980.0	132400.0	133600.0	980.0	132400.0	8.9102e-5	0.99969
79	980.0	133600.0	134800.0	980.0	133600.0	8.9091e-5	0.99969
80	980.0	134800.0	136000.0	980.0	134800.0	8.908e-5	0.99969
81	980.0	136000.0	137200.0	980.0	136000.0	8.9069e-5	0.99969
82	980.0	137200.0	138400.0	980.0	137200.0	8.9058e-5	0.99969
83	980.0	138400.0	139600.0	980.0	138400.0	8.9047e-5	0.99969
84	980.0	139600.0	140800.0	980.0	139600.0	8.9037e-5	0.99969
85	980.0	140800.0	142000.0	980.0	140800.0	8.9026e-5	0.99969
86	980.0	142000.0	143200.0	980.0	142000.0	8.9015e-5	0.99969
87	980.0	143200.0	144400.0	980.0	143200.0	8.9004e-5	0.99969
88	980.0	144400.0	145600.0	980.0	144400.0	8.8993e-5	0.99969
89	980.0	145600.0	146800.0	980.0	145600.0	8.8983e-5	0.99969
90	980.0	146800.0	148000.0	980.0	146800.0	8.8972e-5	0.99969
91	980.0	148000.0	149200.0	980.0	148000.0	8.8961e-5	0.99969
92	980.0	149200.0	150400.0	980.0	149200.0	8.8951e-5	0.9997
93	980.0	150400.0	151600.0	980.0	150400.0	8.894e-5	0.9997
94	980.0	151600.0	152800.0	980.0	151600.0	8.8929e-5	0.9997
95	980.0	152800.0	154000.0	980.0	152800.0	8.8919e-5	0.9997
96	980.0	154000.0	155200.0	980.0	154000.0	8.8908e-5	0.9997
97	980.0	155200.0	156400.0	980.0	155200.0	8.8898e-5	0.9997
98	980.0	156400.0	157600.0	980.0	156400.0	8.8887e-5	0.9997
99	980.0	157600.0	158800.0	980.0	157600.0	8.8876e-5	0.9997
100	980.0	158800.0	160000.0	980.0	158800.0	8.8866e-5	0.9997

Fonte: Autoria Própria

Tabela A.56 – Valores dos diagramas  $P_{sat}$  x  $u_r$  e  $P_{sat}$  x  $h_r$  para os casos de transição

$P_{sat}$	$u_r(x = 0.52)$	$u_r(x = 0.53)$	$h_r(x = 0.51)$	$h_r(x = 0.52)$
0.0098837	-1.9426	-1.8665	-1.4381	-1.3507

Continua na página seguinte

Tabela A.56 – continuando da página anterior

$P_{sat}$	$u_r(x = 0.52)$	$u_r(x = 0.53)$	$h_r(x = 0.51)$	$h_r(x = 0.52)$
0.019767	-1.7034	-1.6292	-1.1466	-1.0602
0.029651	-1.5427	-1.4699	-0.95204	-0.86645
0.039535	-1.4166	-1.345	-0.80032	-0.71549
0.049419	-1.3117	-1.241	-0.67454	-0.59043
0.059302	-1.2205	-1.1508	-0.56573	-0.4823
0.069186	-1.1402	-1.0713	-0.47013	-0.38736
0.07907	-1.0686	-1.0005	-0.38514	-0.30299
0.088953	-1.0018	-0.93452	-0.30619	-0.22468
0.098837	-0.94028	-0.87368	-0.23353	-0.15263
0.10872	-0.88264	-0.81674	-0.16567	-0.085369
0.1186	-0.82905	-0.76383	-0.1027	-0.022993
0.12849	-0.77819	-0.71362	-0.043047	0.036066
0.13837	-0.73011	-0.66618	0.013229	0.091759
0.14826	-0.68487	-0.62155	0.066094	0.14405
0.15814	-0.64109	-0.57837	0.11717	0.19456
0.16802	-0.59879	-0.53667	0.16644	0.24325
0.17791	-0.5594	-0.49786	0.21225	0.28849
0.18779	-0.52013	-0.45918	0.25785	0.33352
0.19767	-0.48379	-0.42339	0.29999	0.37511
0.20756	-0.4476	-0.38777	0.34191	0.41647
0.21744	-0.41296	-0.35367	0.38199	0.45598
0.22733	-0.37987	-0.32112	0.42022	0.49367
0.23721	-0.34695	-0.28874	0.45822	0.5311
0.24709	-0.31422	-0.25657	0.49594	0.56826
0.25698	-0.28441	-0.22726	0.53028	0.60206
0.26686	-0.25344	-0.19684	0.56591	0.63711
0.27674	-0.22402	-0.16794	0.59972	0.67036
0.28663	-0.19613	-0.14057	0.63174	0.70183
0.29651	-0.16846	-0.1134	0.66349	0.73303
0.3064	-0.14099	-0.08646	0.69497	0.76394
0.31628	-0.11376	-0.059746	0.72616	0.79456
0.32616	-0.088034	-0.034528	0.75559	0.82344
0.33605	-0.062534	-0.0095363	0.78475	0.85203
0.34593	-0.037263	0.015221	0.81362	0.88033
0.35581	-0.012231	0.039736	0.8422	0.90833
0.3657	0.011322	0.062793	0.86906	0.93464

Continua na página seguinte



Tabela A.56 – continuando da página anterior

$P_{sat}$	$u_r(x = 0.52)$	$u_r(x = 0.53)$	$h_r(x = 0.51)$	$h_r(x = 0.52)$
0.37558	0.034646	0.085618	0.89566	0.96066
0.38547	0.058944	0.10939	0.92334	0.98774
0.39535	0.081779	0.13172	0.94934	1.0132
0.40523	0.10318	0.15264	0.97369	1.037
0.41512	0.12553	0.17447	0.9991	1.0618
0.425	0.14762	0.19605	1.0242	1.0863
0.43488	0.1683	0.21624	1.0477	1.1092
0.44477	0.18988	0.23729	1.0722	1.1331
0.45465	0.21006	0.25697	1.0951	1.1554
0.46453	0.23109	0.27748	1.1189	1.1787
0.47442	0.25076	0.29664	1.1412	1.2004
0.4843	0.27123	0.31659	1.1644	1.2229
0.49419	0.29037	0.33522	1.1861	1.244
0.50407	0.30923	0.35358	1.2075	1.2648
0.51395	0.32886	0.37267	1.2297	1.2863
0.52384	0.34717	0.39047	1.2504	1.3064
0.53372	0.36522	0.408	1.2708	1.3262
0.5436	0.38396	0.4262	1.292	1.3467
0.55349	0.40143	0.44316	1.3117	1.3659
0.56337	0.41958	0.46076	1.3322	1.3857
0.57326	0.4374	0.47804	1.3524	1.4052
0.58314	0.45491	0.495	1.3722	1.4243
0.59302	0.47121	0.51078	1.3906	1.442
0.60291	0.4881	0.52713	1.4096	1.4604
0.61279	0.50553	0.54398	1.4293	1.4794
0.62267	0.52176	0.55967	1.4476	1.497
0.63256	0.53768	0.57503	1.4656	1.5143
0.64244	0.55408	0.59086	1.4841	1.5321
0.65233	0.57012	0.60632	1.5022	1.5495
0.66221	0.58581	0.62143	1.5199	1.5665
0.67209	0.60113	0.63619	1.5372	1.583
0.68198	0.61685	0.6513	1.5549	1.6
0.69186	0.63217	0.66602	1.5722	1.6165
0.70174	0.6471	0.68035	1.589	1.6326
0.71163	0.66233	0.69494	1.6062	1.649
0.72151	0.67713	0.70912	1.6229	1.6649

Continua na página seguinte

Tabela A.56 – continuando da página anterior

$P_{sat}$	$u_r(x = 0.52)$	$u_r(x = 0.53)$	$h_r(x = 0.51)$	$h_r(x = 0.52)$
0.7314	0.69151	0.72288	1.6392	1.6804
0.74128	0.70609	0.73681	1.6556	1.696
0.75116	0.72023	0.7503	1.6716	1.7112
0.76105	0.73449	0.7639	1.6877	1.7264
0.77093	0.74828	0.77701	1.7033	1.7412
0.78081	0.76213	0.79017	1.719	1.7559
0.7907	0.77599	0.80332	1.7347	1.7707
0.80058	0.7893	0.81592	1.7497	1.7849
0.81047	0.80256	0.82845	1.7648	1.799
0.82035	0.81571	0.84085	1.7797	1.8129
0.83023	0.82913	0.85347	1.7949	1.8271
0.84012	0.84188	0.86543	1.8094	1.8406
0.85	0.85475	0.87747	1.8241	1.8542
0.85988	0.86726	0.88914	1.8384	1.8674
0.86977	0.87971	0.90071	1.8526	1.8804
0.87965	0.89167	0.91177	1.8663	1.893
0.88953	0.90397	0.9231	1.8805	1.9058
0.89942	0.91583	0.93397	1.8941	1.9182
0.9093	0.92739	0.94448	1.9075	1.9302
0.91919	0.93892	0.95488	1.9209	1.9421
0.92907	0.94992	0.9647	1.9338	1.9534
0.93895	0.96081	0.9743	1.9466	1.9646
0.94884	0.97137	0.98341	1.9592	1.9752
0.95872	0.98145	0.99187	1.9714	1.9853
0.9686	0.99086	0.99935	1.9832	1.9945
0.97849	0.99895	1.005	1.9939	2.0019
0.98837	1.0	1.0	2.0	2.0

Fonte: Autoria Própria

## Referências

- AMARAL, C.; SOUZA, M.; CATALAN, T. Um estudo do método de newton-raphson. *Revista Eletrônica Matemática e Estatística em Foco*, 2015. Citado na página 42.
- ANDREWS, D. H. et al. *A Commentary on the Scientific Writings of J. Williard Gibbs I*. [S.l.]: New Haven, Yale University Press; London, H. Milford, Oxford University Press, 1936. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 30.
- BELL, I. H. et al. Pure and pseudo-pure fluid thermophysical property evaluation an the open-source thermophysical property library coolprop. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2014. Citado na página 21.
- BENDERSKY, E. *A polyglot's guide to multiple dispatch*. 2016. <<https://eli.thegreenplace.net/2016/a-polyglots-guide-to-multiple-dispatch/>>. Accessed: 2019-09-10. Citado na página 44.
- BEZANSON, J. et al. Julia: A fast dynamic language for technical computing. *Computing Research Repository*, 2012. Citado 10 vezes nas páginas 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51 e 57.
- BRELOFF, T. *Plots - powerful convenience for visualization in Julia*. 2015. <<http://docs.juliaplots.org/latest/>>. Accessed: 2020-09-04. Citado 3 vezes nas páginas 54, 55 e 71.
- CARDELLI, L.; WEGNER, P. On understanding types, data abstraction, and polymorphism. *Computing Surveys*, 1985. Citado na página 47.
- DAVISON, R. *New Disruptive Programming Languages Go, Rust and Julia*. 2018. <[https://www.youtube.com/watch?v=6qCH7Y2rc\\_w](https://www.youtube.com/watch?v=6qCH7Y2rc_w)>. Accessed: 2019-09-10. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 46.
- DUCK, T. J. *vdw*. 2017. <<https://github.com/tomduck/vdw>>. Accessed: 2020-09-28. Citado na página 22.
- EUTECH SCIENTIFIC ENGINEERING GMBH. *Thermolib – User Manual*. [S.l.], 2016. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- F-CHART SOFTWARE. *Engineering Equation Solver*. [S.l.], 1992. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- JOSHI, A.; LAKHANPAL, R. *Learning Julia*. Ed. 1. [S.l.]: Packt Publishing, 2017. Citado na página 23.
- JULIA MATH. *Polynomials.jl*. 2014. <<https://github.com/JuliaMath/Polynomials.jl>>. Accessed: 2020-09-04. Citado 4 vezes nas páginas 52, 53, 62 e 71.
- JULIA MATH. *Root finding functions for Julia*. 2014. <<https://github.com/JuliaMath/Roots.jl>>. Accessed: 2020-09-04. Citado 3 vezes nas páginas 53, 54 e 71.
- KREYSZIG, E. *Advanced Engineering Mathematics*. Ed. 10. [S.l.]: John Wiley Sons, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 43.
- LIDE, D. R. (Ed.). *CRC Handbook of Chemistry and Physics, Internet Version 2005*. [S.l.]: CRC Press, 2005. Citado 4 vezes nas páginas 71, 103, 108 e 112.

- MAGALHÃES, W. F.; FERNANDES, N. G.; FERREIRA, A. C. *Físico-química I Termodinâmica do Equilíbrio*. 2009. <[https://www.ufjf.br/quimicaead/files/2013/05/YAula6\\_FQI.pdf](https://www.ufjf.br/quimicaead/files/2013/05/YAula6_FQI.pdf)>. Citado na página 29.
- MCBRIDE, B.; ZEHE, M.; GORDON, S. Nasa glenn coefficients for calculating thermodynamic properties of individual species. 10 2002. Citado na página 22.
- MODELICA ASSOCIATION. *Modelica.Media, Library of media property models*. 2003. <[https://doc.modelica.org/Modelica3.2.3/Resources/helpDymola/Modelica\\_Media.html#Modelica.Media](https://doc.modelica.org/Modelica3.2.3/Resources/helpDymola/Modelica_Media.html#Modelica.Media)>. Accessed: 2020-09-28. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- MODIASIM. *ModiaMedia*. 2018. <<https://github.com/ModiaSim/ModiaMedia.jl>>. Accessed: 2020-09-28. Citado na página 23.
- NAAKTGEBOREN, C. *Clerk-Maxwell Construction applied to a van der Waals Substance*. 2018. Notas de Aula. Citado 3 vezes nas páginas 28, 31 e 32.
- NAAKTGEBOREN, C. *Van der Waals EoS by the Helmholtz Characteristic Function*. 2018. Notas de Aula. Citado na página 22.
- NAAKTGEBOREN, C. *Van der Waals Equation of State (EoS)*. 2018. Notas de Aula. Citado na página 103.
- NAAKTGEBOREN, C. *EngTherm.jl – Engineering Thermodynamics in Julia*. GitHub, 2019. Online. Disponível em: <<https://github.com/JEngTherm/EngTherm.jl>>. Citado na página 71.
- NAAKTGEBOREN, C. *Ideal Gas*. 2019. Notas de Aula. Citado na página 56.
- NOVELLINO, R. A.; CAMPOS, J. S. C. Estudo comparativo de equações de estado: Van der waals e berthelot. *Latin American Journal of Science Education*, 2015. Citado na página 21.
- PAINTERQUBITS. *Unitful.jl*. 2016. <<https://github.com/PainterQubits/Unitful.jl>>. Accessed: 2020-09-04. Citado 2 vezes nas páginas 51 e 52.
- PLIEGO JR, J. R. Construção da curva de equilíbrio líquido-vapor usando uma equação de estado cúbica: Uso do excel no ensino de físico-química. *Quim. Nova*, v. 39, fev. 2016. Citado na página 26.
- PYE, J. *freesteam*. 2010. <<http://freesteam.sourceforge.net>>. Accessed: 2019-09-10. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- SKOWRON, A. G. J. *General Complex Polynomial Root Solver and Its Further Optimization for Binary Microlenses*. 2012. <<https://arxiv.org/abs/1203.1034>>. Accessed: 2020-09-14. Citado na página 62.
- U.S. NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH. *PubChem*. 2004. <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>>. Accessed: 2020-09-24. Citado na página 71.
- VIRTUAL MATERIALS GROUP. *An extensively validated thermodynamics library with almost 20 years of program refinement*. 2019. <<https://virtualmaterials.com>>. Accessed: 2019-09-10. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.

---

YPMA, T. J. Historical development of the newton–raphson method. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 1995. Citado na página 42.

ÇENGEL, M. A. B. Y. A. *Thermodynamics : An Engineering Approach*. Ed. 7. [S.l.]: Mc Grall Hill, 2013. Citado 12 vezes nas páginas 26, 27, 30, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 102 e 108.