

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA  
LINHA DE PESQUISA: TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**

**ALEXANDRE BORGES FAGUNDES**

**MODELAGEM *FUZZY* PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO  
AMBIENTAL DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
INDUSTRIAIS**

**TESE**

**CURITIBA**

**2015**

**ALEXANDRE BORGES FAGUNDES**

**MODELAGEM *FUZZY* PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO  
AMBIENTAL DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
INDUSTRIAIS**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Tecnologia, na Área de concentração Tecnologia e Sociedade - Linha de Pesquisa Tecnologia e Desenvolvimento - do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Maclovia Corrêa da Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Renato de Mello

**CURITIBA**

**2015**



Aos meus pais:  
José Mario (*in memoriam*) e Mariza,  
exemplos de amor aos filhos e incentivo  
incondicional aos estudos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por permitir mais esta conquista em minha vida.

À minha família, que mesmo distante geograficamente, estimulou e acompanhou cada etapa da execução deste trabalho.

À minha namorada Cristiane, por proporcionar um ambiente favorável à conclusão desta Tese, provendo apoio, carinho, paciência e compreensão.

À minha orientadora, professora Dra. Maclovia Corrêa da Silva, pela oportunidade da realização deste trabalho e também pelo comprometimento e seriedade na condução das orientações. Expresso minha grande admiração pela prof<sup>a</sup>. Maclovia, que soube motivar minhas ações e incentivar meu espírito criativo mesmo diante das adversidades. Nesse período de convivência foi exemplo de serenidade, paciência e sabedoria.

Ao coorientador desta pesquisa, professor Dr. Renato de Mello, por suas importantes observações nesta incursão pelos caminhos da lógica *fuzzy*.

Aos professores doutores Reginaldo Santana Figueiredo, Pio Campos Filho, Eloy Fassi Casagrande Júnior e à doutora Schirlene Chegatti, membros da banca, pela contribuição de suas sugestões.

Aos respondentes dos questionários, por compartilharem suas convicções acerca da gestão de resíduos.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

“A natureza é o único livro que oferece um  
conteúdo valioso em todas as suas  
folhas.”  
(Johann Goethe)

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”

(Art. 225 – Constituição da República Federativa do Brasil)

## RESUMO

FAGUNDES, Alexandre Borges. **Modelagem fuzzy para avaliação de desempenho ambiental do gerenciamento de resíduos sólidos industriais.** 2015. 213 f. Tese (Doutorado em Tecnologia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campus Curitiba, 2015.

Esta Tese desenvolveu um instrumento para avaliação de desempenho ambiental no gerenciamento de resíduos sólidos industriais. A verificação das práticas considera o transcurso do ciclo de vida do produto por meio de indicadores e índices tendo como parâmetros alicerçadores a Política Nacional de Resíduos Sólidos e conceitos afins, como a logística reversa, a Produção mais Limpa e o *Ecodesign*, além de normas da série ISO 14000 tais como Sistemas de Gestão Ambiental, Integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos, Rotulagem ambiental e Avaliação de Desempenho Ambiental. O objetivo central da Tese, que foi desenvolver um modelo para avaliação de desempenho ambiental, esta contido neste panorama, o qual recorreu aos recursos da modelagem *fuzzy* a fim de assessorar as organizações na tomada de decisões. A metodologia, de natureza qualitativa e quantitativa, embasou a construção do instrumento denominado Índice de Desempenho Ambiental da Gestão de Resíduos Sólidos Industriais (IDEA PNRS+L). Este se constitui de 26 indicadores e 23 índices, concebido na forma *top-down soft decision tree*. O cálculo dos índices, compostos de regras *fuzzy*, variáveis e suas inferências, incluiu a visão de um grupo de especialistas, em pesquisa de opinião, para ajustar os graus de influência das variáveis de cada índice. Nas simulações, testes e aplicação do instrumento em uma indústria para avaliar as suas potencialidades, o IDEA PNRS+L mostrou-se sensível, mesmo para pequenas variações dos dados de entrada, plausível e confiável, ao reproduzir o comportamento estabelecido em sua concepção. Os parâmetros alicerçadores que constituíram o corpo teórico, concluindo, foram assaz abrangentes e permitiram a construção do instrumento de avaliação de desempenho ambiental IDEA PNRS+L, considerado adequado para a arbitragem das organizações. Concomitantemente, foram recuperadas as normas, concepções de iniciativas governamentais e atitudes profissionais ambientalmente corretas apoiadas em conceitos vanguardistas de produtos e serviços.

**Palavras-chave:** Avaliação de Desempenho Ambiental. Resíduos sólidos Industriais. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lógica *Fuzzy*.



## ABSTRACT

FAGUNDES, Alexandre Borges. **Fuzzy modeling for environmental performance evaluation in industrial solid waste management**. 2015. 213 p. Thesis (Doctoral degree in Technology) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2015.

This Thesis develops an instrument for evaluating environmental performance in management of industrial solid waste. The practices verification consider the industrial product life-cycle through indicators and indices based on the National Policy on Solid Waste parameters and related concepts such as reverse logistics, Cleaner Production and Ecodesign, and standards like ISO 14000 series such as environmental management systems, integrating environmental aspects in product design and development, environmental labels and Environmental Performance Evaluation. The central Thesis' aim, that was to develop an environmental evaluating model, contains this panorama, which calls on a fuzzy modeling tool to assist organizations in making decisions. Two methodological research groups covered the discussions and the instrument construction called Environmental Performance Index of Industrial Solid Waste Management (IDEA PNRS+L): qualitative and quantitative. This fuzzy modeling is composed of 26 indicators and 23 index, conceived in top-down soft decision tree form. The index calculation - composed of fuzzy rules, variables and their inferences - included a group of specialists respondents view, through a survey, to adjust the variables influence degrees of each index. In the simulations, testing and application of the created instrument in an industry to assess their potential, IDEA PNRS+L was sensitive even to small variations of the input data, plausible and reliable, to reproduce the behavior established in the initial configuration. Concluding, the fundamental parameters that formed the theoretical framework were quite comprehensive and allowed the construction of Environmental Performance Evaluation called IDEA PNRS+L, appropriated for industrial arbitration. Simultaneously, the rules, government initiatives concepts and accurated environmentally professional attitudes supported by avant-garde products and services concepts were recuperated.

**Keywords:** Environmental Performance Evaluation. Industrial solid waste. National Solid Waste Policy. Fuzzy Logic.

## LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1 - Hierarquia da gestão de resíduos .....  | 31  |
| Figura 2 - Abordagem esquemática da Produção mais Limpa .....  | 33  |
| Figura 3 - Elementos-chave do Sistema de Gestão Ambiental baseado na norma ISO 14001. ....   | 40  |
| Figura 4 - Exemplo de graus de pertinência de um objeto a dois conjuntos (pertinência de 0,2 ao conjunto “falso” e 0,8 ao conjunto “verdadeiro”) ..... | 53  |
| Figura 5 - Funções de pertinência padrão: Z, Lambda, Pi e S .....  | 55  |
| Figura 6 - Exemplo de defuzzificação pelo método do centro de área ( <i>CoA</i> ) .....  | 58  |
| Figura 7 - Exemplo de defuzzificação pelo método do centro de máximos ( <i>CoM</i> )....   | 59  |
| Figura 8 - Exemplo de defuzzificação pelo método da média dos máximos ( <i>MoM</i> )..   | 59  |
| Figura 9 - Estratégias para prevenção à poluição .....   | 61  |
| Figura 10 - Técnicas para redução da poluição .....  | 62  |
| Figura 11 - Posicionamento do cursor na escala de importância de um índice.....  | 72  |
| Figura 12 - Árvore do IDEA PNRS+L .....  | 88  |
| Figura 13 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores ISO_anterior e ISO_atual .....   | 92  |
| Figura 14 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores Rotulo_anterior e Rotulo_atual .....   | 94  |
| Figura 15 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores Interna_anterior e Interna_atual .....   | 95  |
| Figura 16 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores Ecoefic_anterior e Ecoefic_atual.....  | 97  |
| Figura 17 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores Reaplic_anterior e Reaplic_atual.....  | 98  |
| Figura 18 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores ReuProc_anterior e ReuProc_atual.....  | 100 |
| Figura 19 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores ReuProd_anterior e ReuProd_atual .....   | 102 |
| Figura 20 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores RecProc_anterior e RecProc_atual.....  | 104 |
| Figura 21 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores RecProd_anterior e RecProd_atual.....  | 105 |
| Figura 22 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores DisProc_anterior e DisProc_atual .....   | 108 |
| Figura 23 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores DisProd_anterior e DisProd_atual.....  | 109 |
| Figura 24 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores ClaProc_anterior e ClaProc_atual.....  | 113 |
| Figura 25 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores ClaProd_anterior e ClaProd_atual.....  | 115 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 26 - Diagrama das funções de pertinência dos Índices Primários da ferramenta IDEA PNRS+L.....                        | 116 |
| Figura 27 - Diagrama das funções de pertinência dos Índices Secundários, Terciários e Final da ferramenta IDEA PNRS+L ..... | 120 |
| Figura 28 – Ramificações do índice Geracao.....   | 139 |
| Figura 29 – Resultados referentes ao índice ISO_14001.....  | 139 |
| Figura 30 – Plotagem 3D da influência das regras <i>fuzzy</i> sobre o índice ISO_14001 .....                                | 141 |
| Figura 31 – Resultados referentes ao índice Rotulagem_Ambien .....  | 142 |
| Figura 32 – Resultados referentes ao índice Interna.....  | 143 |
| Figura 33 – Resultados referentes ao índice Produto_Ecoefici.....   | 143 |
| Figura 34 – Resultados referentes ao índice Produto_Reaplic .....   | 144 |
| Figura 35 – Resultados referentes ao índice Externa_Insumos.....  | 145 |
| Figura 36 – Resultados referentes ao índice Externa_Produtos .....  | 146 |
| Figura 37 – Resultados referentes ao índice Geracao .....   | 147 |
| Figura 38 – Ramificações do índice Aproveitamento .....   | 148 |
| Figura 39 – Resultados referentes ao índice Reut_Processo .....   | 148 |
| Figura 40 – Resultados referentes ao índice Reut_Produto.....   | 149 |
| Figura 41 – Resultados referentes ao índice Recic_Processo.....   | 150 |
| Figura 42 – Resultados referentes ao índice Recic_Produto .....   | 150 |
| Figura 43 – Resultados referentes ao índice Reutilizacao .....  | 151 |
| Figura 44 – Resultados referentes ao índice Reciclagem .....  | 152 |
| Figura 45 – Resultados referentes ao índice Aproveitamento.....   | 153 |
| Figura 46 – Ramificações do índice Disposicao_Final.....  | 154 |
| Figura 47 – Resultados referentes ao índice Disp_Processo.....  | 154 |
| Figura 48 – Resultados referentes ao índice Disp_Produto .....  | 155 |
| Figura 49 – Resultados referentes ao índice Classif_Processo .....  | 156 |
| Figura 50 – Resultados referentes ao índice Classif_Produto .....   | 156 |
| Figura 51 – Resultados referentes ao índice Quantidade_Disb.....  | 157 |
| Figura 52 – Resultados referentes ao índice Classif_Disb.....   | 158 |
| Figura 53 – Resultados referentes ao índice Disposicao_Final .....  | 159 |
| Figura 54 – Ramificação concisa do IDEA PNRS+L .....  | 160 |
| Figura 55 – Resultados referentes ao índice IDEA .....  | 160 |

## LISTA DE QUADROS

|  |     |
|--|-----|
| Quadro 1- Exemplo de cálculo do Ranking Médio (RM) .....   | 72  |
| Quadro 2 - Exemplo ilustrativo da influência das variáveis que compõem um índice .....   | 72  |
| Quadro 3 - Alinhamento entre o 1º e 2º itens da Hierarquia da gestão de resíduos e o Nível 1 de atuação da Produção mais Limpa .....   | 76  |
| Quadro 4 - Alinhamento entre o 3º item da Hierarquia da gestão de resíduos e o Nível 2 de atuação da Produção mais Limpa .....   | 77  |
| Quadro 5 - Alinhamento entre o 4º item da Hierarquia da gestão de resíduos e o Nível 3 de atuação da Produção mais Limpa .....   | 78  |
| Quadro 6 - Alinhamento entre o 5º e 6º itens da Hierarquia da gestão de resíduos e Técnicas de controle fim-de-tubo .....  | 79  |
| Quadro 7 - IDEA PNRS+L: eliminar ou minimizar resíduos onde são gerados (premissa) .....   | 82  |
| Quadro 8 - IDEA PNRS+L: minimizar resíduos por meio do aproveitamento dos mesmos (premissa).....   | 85  |
| Quadro 9 - IDEA PNRS+L: reduzir o impacto ambiental dos resíduos (premissa)....  | 85  |
| Quadro 10 - Síntese da composição estrutural da Árvore do IDEA PNRS+L .....  | 89  |
| Quadro 11 – Bloco de regras-padrão para os índices primários .....   | 117 |
| Quadro 12- Quadro-resumo dos dados de entrada do IDEA PNRS+L .....   | 125 |
| Quadro 13 - Quadro-resumo dos indicadores do IDEA PNRS+L.....  | 127 |
| Quadro 14 – Excerto do bloco de regras do índice ISO_14001 com representações visuais dos graus de pertinência das variáveis linguísticas em seus respectivos termos linguísticos..... | 140 |
| Quadro 15 – Resultado da agregação GAMMA para cada regra do índice ISO_14001 .....   | 141 |

## LISTA DE TABELAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 1 – Valores <i>crisp</i> dos indicadores ( <i>inputs</i> ) com máximo grau de pertinência à função “ótimo” e seus desdobramentos nos índices ( <i>outputs</i> ) do modelo .....   | 130 |
| Tabela 2 - Valores <i>crisp</i> dos indicadores ( <i>inputs</i> ) com máximo grau de pertinência à função “bom” e seus desdobramentos nos índices ( <i>outputs</i> ) do modelo .....     | 131 |
| Tabela 3 - Valores <i>crisp</i> dos indicadores ( <i>inputs</i> ) com máximo grau de pertinência à função “regular” e seus desdobramentos nos índices ( <i>outputs</i> ) do modelo ..... | 131 |
| Tabela 4 - Valores <i>crisp</i> dos indicadores ( <i>inputs</i> ) com máximo grau de pertinência à função “ruim” e seus desdobramentos nos índices ( <i>outputs</i> ) do modelo .....    | 132 |
| Tabela 5 - Valores <i>crisp</i> dos indicadores ( <i>inputs</i> ) com máximo grau de pertinência à função “péssimo” e seus desdobramentos nos índices ( <i>outputs</i> ) do modelo ..... | 132 |
| Tabela 6 – Simulação da aplicação do modelo (a).....   | 133 |
| Tabela 7 – Simulação da aplicação do modelo (b).....   | 134 |
| Tabela 8 – Dados fornecidos pela empresa para a composição do IDEA PNRS+L (“ano anterior” e “ano atual”) .....   | 135 |
| Tabela 9 – Valores <i>crisp</i> dos indicadores e índices da empresa.....  | 137 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

|                    |   |
|--------------------|---|
| Aproveitamento     | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto ao Aproveitamento de Resíduos Industriais  |
| <i>BSUM</i>        | <i>Bounded Sum Fuzzy Operator for Result Aggregation</i>  |
| ClaProc_anterior   | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto a classificação dos resíduos de processo destinados à Disposição final (ano anterior)                       |
| ClaProc_atual      | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto a classificação dos resíduos de processo destinados à Disposição final (ano atual)                          |
| ClaProd_anterior   | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto a classificação dos resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo destinados à Disposição final (ano anterior) |
| ClaProd_atual      | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto a classificação dos resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo destinados à Disposição final (ano atual)    |
| Classif_Disposicao | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a classificação dos resíduos destinados à Disposição final   |
| Classif_Processo   | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a classificação dos resíduos de processo destinados à Disposição final   |
| Classif_Produto    | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a classificação dos resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo destinados à Disposição final                   |
| Disp_Processo      | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto aos resíduos de processo destinados à Disposição final   |
| Disp_Produto       | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto aos resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo destinados à Disposição final                                   |
| Disposicao_Final   | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Disposição Final de seus Resíduos Industriais  |
| DisProc_anterior   | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto aos resíduos de processo destinados à Disposição final (ano anterior)                                       |
| DisProc_atual      | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto aos resíduos de processo destinados à Disposição final (ano atual)  |
| DisProd_anterior   | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto aos resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo destinados à Disposição final (ano anterior)                 |
| DisProd_atual      | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto aos resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo destinados à   |

|                   |   |
|-------------------|---|
|                   | Disposição final (ano atual)  |
| Ecoefic_anterior  | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Condição ambiental dos produtos produzidos, envolvendo eficiência, limpeza e durabilidade (ano anterior)                                      |
| Ecoefic_atual     | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Condição ambiental dos produtos produzidos, envolvendo eficiência, limpeza e durabilidade (ano atual)   |
| Externa_Insumos   | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Geração Externa de Resíduos Industriais – Insumos  |
| Externa_Produtos  | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Geração Externa de Resíduos Industriais – Produtos   |
| GAMMA             | <i>Compensatory Operator for Aggregation</i>  |
| Geracao           | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Geração de Resíduos Industriais  |
| IDEA              | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Gestão de Resíduos Sólidos Industriais   |
| Interna           | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Geração Interna de Resíduos Industriais  |
| Interna_anterior  | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Geração Interna de Resíduos Industriais (ano anterior)  |
| Interna_atual     | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Geração Interna de Resíduos Industriais (ano atual)   |
| ISO_14001         | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto ao Sistema de Gestão Ambiental dos fabricantes dos insumos adquiridos  |
| ISO_anterior      | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto ao Sistema de Gestão Ambiental dos fabricantes dos insumos adquiridos (ano anterior)  |
| ISO_atual         | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto ao Sistema de Gestão Ambiental dos fabricantes dos insumos adquiridos (ano atual)   |
| MAX               | <i>Fuzzy Operator for OR Aggregation</i>  |
| MIN               | <i>Fuzzy Operator for AND Aggregation</i>   |
| Produto_Ecoefici  | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Condição ambiental dos produtos produzidos, envolvendo eficiência, limpeza e durabilidade  |
| Produto_Reaplic   | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Condição ambiental dos produtos produzidos, envolvendo a separação/desmontagem das partes dos materiais e a replicação dos materiais descartados |
| Quantidade_Dispon | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a quantidade de resíduos destinada à Disposição final  |

|                  |  |
|------------------|--|
| Reaplic_anterior | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Condição ambiental dos produtos produzidos, envolvendo a separação/desmontagem das partes dos materiais e a reaplicação dos materiais descartados (ano anterior) |
| Reaplic_atual    | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Condição ambiental dos produtos produzidos, envolvendo a separação/desmontagem das partes dos materiais e a reaplicação dos materiais descartados (ano atual)    |
| Recic_Processo   | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reciclagem de resíduos do próprio Processo produtivo  |
| Recic_Produto    | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reciclagem de resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo  |
| Reciclagem       | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reciclagem de Resíduos Industriais  |
| RecProc_anterior | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reciclagem de resíduos do próprio Processo produtivo (ano anterior)  |
| RecProc_atual_   | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reciclagem de resíduos do próprio Processo produtivo (ano atual)   |
| RecProd_anterior | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reciclagem de resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo (ano anterior)  |
| RecProd_atual    | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reciclagem de resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo (ano atual)   |
| ReuProc_anterior | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reutilização de resíduos do próprio Processo produtivo (ano anterior)  |
| ReuProc_atual    | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reutilização de resíduos do próprio Processo produtivo (ano atual)   |
| ReuProd_anterior | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reutilização de resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo (ano anterior)  |
| ReuProd_atual    | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reutilização de resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo (ano atual)   |
| Reut_Processo    | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reutilização de resíduos do próprio Processo produtivo  |
| Reut_Produto     | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reutilização de resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo  |
| Reutilizacao     | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a   |



## Reutilização de Resíduos Industriais

|                  |  |
|------------------|--|
| Rotulagem_Ambien | Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto as Rotulagens ambientais dos insumos adquiridos                   |
| Rotulo_anterior  | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto as Rotulagens ambientais dos insumos adquiridos (ano anterior) |
| Rotulo_atual     | Indicador de Desempenho Ambiental da empresa quanto as Rotulagens ambientais dos insumos adquiridos (ano atual)    |

## LISTA DE SIGLAS

|       |   |
|-------|---|
| ABNT  | Associação Brasileira de Normas Técnicas    |
| ACV   | Análise do Ciclo de Vida                    |
| CFC   | Clorofluorcarboneto                         |
| CNTL  | Centro Nacional de Tecnologias Limpas       |
| EUA   | Estados Unidos da América                   |
| FSC   | <i>Forest Stewardship Council</i>           |
| IDG   | Indicador de Desempenho Gerencial           |
| MMA   | Ministério do Meio Ambiente                 |
| NBR   | Norma Brasileira                            |
| NPPC  | <i>National Pollution Prevention Center</i> |
| P+L   | Produção mais Limpa                         |
| PNRS  | Política Nacional de Resíduos Sólidos       |
| PP    | <i>Pollution Prevention</i>                 |
| SNVS  | Sistema Nacional de Vigilância Sanitária    |
| UDESC | Universidade do Estado de Santa Catarina    |
| UTFPR | Universidade Tecnológica Federal do Paraná  |

## LISTA DE ACRÔNIMOS

|                |  |
|----------------|--|
| ADA            | Avaliação de Desempenho Ambiental  |
| CEMPRE         | Compromisso Empresarial para Reciclagem                                  |
| CETESB         | Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (SP)                     |
| CIESP          | Centro das Indústrias do Estado de São Paulo                             |
| CONAMA         | Conselho Nacional do Meio Ambiente                                       |
| FEAM           | Fundação Estadual do Meio Ambiente (MG)                                  |
| FIESP          | Federação das Indústrias do Estado de São Paulo                          |
| IBAMA          | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis |
| IDEA<br>PNRS+L | Índice de Desempenho Ambiental da Gestão de Resíduos Sólidos Industriais |
| IDO            | Indicador de Desempenho Operacional                                      |
| ISO            | <i>International Organization for Standardization</i>                    |
| ONG            | Organização Não Governamental  |
| PROCEL         | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica                     |
| SETAC          | <i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>                 |
| SISNAMA        | Sistema Nacional do Meio Ambiente  |
| SUASA          | Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária                     |
| UNIDO          | <i>United Nations Industrial Development Organization</i>                |
| USEPA          | <i>United States Environmental Protection Agency</i>                     |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>22</b> |
| 1.1 OBJETIVOS.....   | 25        |
| 1.1.1 Objetivo geral.....  | 25        |
| 1.1.2 Objetivos específicos .....  | 25        |
| 1.2 JUSTIFICATIVA.....   | 25        |
| 1.3 METODOLOGIA DA TESE .....  | 27        |
| 1.4 DIVISÃO DE CAPÍTULOS .....   | 28        |
| <b>2 MARCO TEÓRICO.....</b>  | <b>29</b> |
| 2.1 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....   | 29        |
| 2.1.1 Produção mais Limpa .....  | 32        |
| 2.1.2 Logística reversa.....   | 34        |
| 2.2 ABORDAGENS ENVOLVENDO NORMAS DA SÉRIE ISO 14000 .....                              | 38        |
| 2.2.1 Sistemas de Gestão Ambiental.....  | 38        |
| 2.2.2 Integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos ..... | 40        |
| 2.2.3 Rotulagem ambiental .....  | 43        |
| 2.2.4 Avaliação de Desempenho Ambiental .....  | 48        |
| 2.3 LÓGICA <i>FUZZY</i> .....  | 51        |
| 2.3.1 Conjuntos <i>fuzzy</i> .....   | 52        |
| 2.3.2 Cálculo <i>fuzzy</i> .....   | 54        |
| 2.3.2.1 Fuzzificação .....   | 54        |
| 2.3.2.2 Inferência das regras <i>fuzzy</i> .....                                       | 55        |
| 2.3.2.2.1 <i>Máquina de inferência fuzzy</i> .....                                     | 57        |
| 2.3.2.3 Defuzzificação.....  | 58        |
| 2.3.3 Aplicações da lógica <i>fuzzy</i> .....  | 59        |
| 2.4 ALINHAMENTOS ESTRATÉGICOS.....   | 60        |
| 2.4.1 Prevenção à poluição .....   | 61        |
| 2.4.2 Visão holística da gestão de resíduos .....                                      | 63        |
| 2.4.2.1 Recebimento de materiais do meio.....  | 64        |
| 2.4.2.2 Processamento de materiais para a obtenção do produto.....                     | 64        |
| 2.4.2.3 Liberação de materiais processados de volta ao meio .....                      | 65        |
| 2.4.2.4 Desempenho ambiental dos produtos durante e pós-consumo .....                  | 66        |
| 2.4.3 Avaliação de Desempenho Ambiental por meio da lógica <i>fuzzy</i> .....          | 66        |
| <b>3 DETALHAMENTO DA PESQUISA .....</b>  | <b>68</b> |
| 3.1 INSTRUMENTOS DE PESQUISA E ANÁLISE.....  | 68        |
| 3.1.1 Aplicação e resultados do instrumento de pesquisa .....                          | 70        |
| 3.1.2 Refinamento dos resultados obtidos.....  | 71        |
| 3.2 MODELO PROPOSTO .....  | 73        |
| 3.3 ESCOPO.....  | 73        |

|  |     |
|--|-----|
| 3.4 ONTOLOGIA.....   | 75  |
| 3.4.1 Hierarquia da gestão de resíduos e Produção mais Limpa (Nível 1) ..... | 75  |
| 3.4.2 Hierarquia da gestão de resíduos e Produção mais Limpa (Nível 2) ..... | 77  |
| 3.4.3 Hierarquia da gestão de resíduos e Produção mais Limpa (Nível 3) ..... | 78  |
| 3.4.4 Hierarquia da gestão de resíduos e Controle fim-de-tubo .....          | 79  |
| 3.5 PREMISSAS E DESDOBRAMENTOS .....   | 80  |
| 3.5.1 Eliminar ou minimizar resíduos onde são gerados .....                  | 81  |
| 3.5.2 Minimizar resíduos por meio do aproveitamento dos mesmos .....         | 84  |
| 3.5.3 Reduzir o impacto ambiental dos resíduos .....                         | 85  |
| 3.6 A ÁRVORE DO IDEA PNRS+L.....   | 87  |
| 3.6.1 Indicadores .....  | 90  |
| 3.6.1.1 ISO_anterior e ISO_atual.....  | 91  |
| 3.6.1.2 Rotulo_anterior e Rotulo_atual.....                                  | 93  |
| 3.6.1.3 Interna_anterior e Interna_atual.....                                | 94  |
| 3.6.1.4 Ecoefic_anterior e Ecoefic_atual.....                                | 96  |
| 3.6.1.5 Reaplic_anterior e Reaplic_atual .....                               | 97  |
| 3.6.1.6 ReuProc_anterior e ReuProc_atual .....                               | 99  |
| 3.6.1.7 ReuProd_anterior e ReuProd_atual .....                               | 101 |
| 3.6.1.8 RecProc_anterior e RecProc_atual.....                                | 103 |
| 3.6.1.9 RecProd_anterior e RecProd_atual .....                               | 104 |
| 3.6.1.10 DisProc_anterior e DisProc_atual .....                              | 107 |
| 3.6.1.11 DisProd_anterior e DisProd_atual.....                               | 108 |
| 3.6.1.12 ClaProc_anterior e ClaProc_atual.....                               | 112 |
| 3.6.1.13 ClaProd_anterior e ClaProd_atual .....                              | 113 |
| 3.6.2 Índices Primários .....  | 116 |
| 3.6.3 Índices Secundários, Terciários e Final .....                          | 120 |
| 3.6.3.1 Índices Secundários.....   | 120 |
| 3.6.3.1.1 Externa_Insumos .....  | 120 |
| 3.6.3.1.2 Externa_Produtos .....   | 121 |
| 3.6.3.1.3 Reutilizacao .....   | 121 |
| 3.6.3.1.4 Reciclagem .....   | 122 |
| 3.6.3.1.5 Quantidade_Dispos .....  | 122 |
| 3.6.3.1.6 Classif_Dispos .....   | 122 |
| 3.6.3.2 Índices Terciários .....   | 122 |
| 3.6.3.2.1 Geracao .....  | 122 |
| 3.6.3.2.2 Aproveitamento.....  | 122 |
| 3.6.3.2.3 Disposicao_Final.....  | 123 |
| 3.6.3.3 Índice Final.....  | 123 |
| 3.6.3.3.1 IDEA.....  | 123 |
| 3.7 SIMULAÇÕES E TESTES DO MODELO .....                                      | 123 |
| 3.7.1 Planilha eletrônica de cálculo.....                                    | 124 |

|   |            |
|---|------------|
| 3.7.2 Software fuzzyTECH® .....   | 129        |
| <b>4 APLICAÇÃO DO MODELO NA INDÚSTRIA.....</b>  | <b>135</b> |
| 4.1 ANÁLISE DOS INDICADORES E ÍNDICES DA INDÚSTRIA .....  | 138        |
| 4.1.1 Ramificações do índice Geracao .....  | 138        |
| 4.1.2 Ramificações do índice Aproveitamento .....   | 147        |
| 4.1.3 Ramificações do índice Disposicao_Final.....  | 153        |
| 4.1.4 Ramificação concisa do IDEA PNRS+L.....   | 159        |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>   | <b>162</b> |
| 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....  | 165        |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>166</b> |
| <b>APÊNDICE A - Carta de apresentação (pesquisa Delphi).....</b>  | <b>176</b> |
| <b>APÊNDICE B - Questionário de pesquisa .....</b>  | <b>178</b> |
| <b>APÊNDICE C - Exemplo de questionário para os indicadores de <i>Ecodesign</i> .</b>                               | <b>182</b> |
| <b>APÊNDICE D - Listagem dos dados a serem fornecidos pelas empresas para a<br/>composição do IDEA PNRS+L .....</b> | <b>190</b> |
| <b>APÊNDICE E - Influências das variáveis que compõem os índices do IDEA<br/>PNRS+L .....</b>                       | <b>193</b> |
| <b>APÊNDICE F - Blocos de regras dos índices secundários .....</b>  | <b>197</b> |
| <b>APÊNDICE G - Blocos de regras dos índices terciários .....</b>   | <b>203</b> |
| <b>APÊNDICE H - Bloco de regras do índice final.....</b>  | <b>209</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Os discursos sobre a iminência de ajuste entre o gerenciamento de resíduos sólidos industriais e a Política Nacional de Resíduos Sólidos reproduzem-se nas estatísticas. Segundo dados provenientes da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do ano de 2008, divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 99,96% dos municípios brasileiros possuem serviços de manejo de resíduos sólidos, porém, em contrapartida (MMA, 2012a):

- 50,75% dos municípios dispõem seus resíduos em vazadouros;
- 22,54% em aterros controlados;
- 27,68% em aterros sanitários; sendo que apenas
- 3,79% possuem unidade de compostagem de resíduos orgânicos;
- 11,56% possuem unidade de triagem de resíduos recicláveis; e
- 0,61% possuem unidade de tratamento por incineração.

Apesar dos dados referirem-se ao contexto de seis anos atrás, o quadro continua crítico ao se tomar em consideração que o Brasil produz diariamente mais de 183 mil toneladas de lixo urbano (MMA, 2011).

As consequências começam a ser vistas no descarte inadequado, nocivo para a saúde pública e o meio ambiente. Outro agravante é a condição socioeconômica das famílias que utilizam esse material como fonte de sustento: são milhares de catadores que extraoficialmente sobrevivem do lixo descartado, existindo apenas aproximadamente 34 mil pessoas vinculadas a associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis (MMA, 2011; 2012a). Os 13 anos de existência do Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis confirmam os desafios da geração de renda e oportunidades para o desenvolvimento humano.

Os números apresentados tornam evidente que o efetivo manejo dos resíduos sólidos vem sendo executado de maneira inadequada. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, em média, apenas 13% dos resíduos secos são reciclados – número esse que poderia alcançar a casa dos 30% – (MMA, 2011) e, como fator complicador, a maioria das Prefeituras Municipais ainda não dispõe de recursos técnicos e financeiros para solucionar os problemas ligados à gestão de seus resíduos sólidos (MMA, 2012a).

Quanto à geração de resíduos sólidos industriais no País, os dados disponíveis não possibilitam a realização de um diagnóstico completo e atualizado, devido a alguns estados da Federação não terem elaborado seus inventários. Os que os elaboraram, não seguiram uma padronização e/ou não os atualizaram recentemente, culminando numa reformulação da metodologia para obtenção do Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais (PNRS, 2011).

Portanto, apesar de ainda serem percebidas situações sociais, econômicas e ambientais desfavoráveis, resultantes do manejo inadequado de resíduos sólidos, atitudes vêm sendo tomadas no sentido do enfrentamento desses problemas. Há diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos que, entre outras deliberações, determinam como se deve dar a atuação do setor empresarial na correta disposição de seus resíduos, além de exigir dos entes governamentais uma adequada gestão pública dos resíduos sólidos (MMA, 2011; 2012).

Nesse contexto, a questão do gerenciamento envolve a sociedade como um todo, em níveis encadeados de responsabilidade, abrangendo desde as atitudes individuais de cada consumidor – como a triagem e correta destinação dos resíduos dos produtos consumidos – até atitudes conjuntas, incentivadas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. Por exemplo, a formação de consórcios públicos entre municípios para o manejo de seus resíduos sólidos, e de acordos setoriais entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, para a implementação da logística reversa de embalagens e de produtos pós-consumo.

A indústria, portanto, assume posição de destaque como vetor de geração de resíduos. Para avaliar este montante, é necessário considerar o ciclo de vida dos produtos – isto é, desde o projeto, as matérias-primas, as formas de obtenção das mesmas e os processos fabris empregados, até, por exemplo, as possibilidades de reutilização e reciclagem dos materiais e componentes empregados, além do tratamento dos resíduos e da disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.



[Dessa forma] os esforços orientados para a otimização e redução do uso de matéria-prima; o uso de materiais renováveis, recicláveis, reciclados e energeticamente eficientes; a melhoria das técnicas de produção e dos sistemas de distribuição; e a redução do descarte de resíduos, reinserindo-os sempre que possível, na cadeia produtiva, como insumos, são iniciativas estratégicas que também poderão contribuir para a recuperação da qualidade das águas, condições sanitárias adequadas e a proteção dos biomas (PNRS, 2011a, p.2-3).

Pesquisas e estudos de caso tornam-se necessários para compreender mudanças de realidade que podem ser conformadas por visões de mundo, análise de dados, ações pontuais e outras circunstâncias. Além disso, se fazem presentes as contribuições da informática, da comunicação, da *internet*, da interdisciplinaridade e dos diálogos interinstitucionais para trabalhar posições deterministas, a construção do falso e do verdadeiro, e a do bem e do mal, manipuladas pelos agentes. Isto se aplica também na idealização de modelos matemáticos que lidam com as incertezas, baseados numa lógica difusa, que admite valores médios, revolucionando conceitos estatísticos rígidos.

Na medida em que o desenvolvimento econômico continua sendo estimulado, e conseqüentemente a produção, o meio ambiente também precisa ser inserido nessa lógica para que se possa mitigar as ações depredadoras que ocorrem concomitantemente. Pensar em ciência, tecnologia e sociedade integrada ao desenvolvimento se faz necessário. No campo da educação, novas leituras sobre a realidade socioeconômica, tecnoburocrática e práticas desenvolvimentistas têm traçado diferentes cenários para as diretrizes do ensino, pesquisa e extensão. Destaca-se em especial o Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da UTFPR, o qual possui um corpo de docentes e discentes voltados para pesquisas concentradas na área de Tecnologia e Sociedade em três linhas: trabalho, mediações e cultura e desenvolvimento.

O grande viés de discussão acontece na perspectiva da interdisciplinaridade, a qual favoreceu as escolhas de pesquisa desta Tese. Após ter cursado as disciplinas, e participado dos grupos de pesquisa “Tecnologia e Meio Ambiente” – TEMA (UTFPR), e “Grupo de Pesquisa em Lógica Fuzzy e Simulação” (UDESC), o pesquisador, juntamente com os orientadores, pôde direcionar a Tese considerando a liberdade de circulação entre diferentes áreas de conhecimento.

## 1.1 OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa foram definidos em Objetivo geral e Objetivos específicos.

### 1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um modelo baseado em lógica *fuzzy* para avaliação de desempenho ambiental do gerenciamento de resíduos sólidos industriais que auxilie a tomada de decisões.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- (i) Destacar posições de agentes especialistas sobre a iminência de ajuste entre o gerenciamento de resíduos sólidos industriais e a Política Nacional de Resíduos Sólidos;
- (ii) Fomentar, por meio da argumentação, a importância da medição de parâmetros para avaliação de desempenho ambiental;
- (iii) Conceber uma modelagem *fuzzy* para avaliação de desempenho ambiental do gerenciamento de resíduos sólidos industriais.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O advento da Política Nacional de Resíduos Sólidos intensificou a busca por soluções para o destino das coisas feitas, fabricadas, produzidas, tendo em vista que delas procedem rejeitos. Por isso, o controle dos materiais e dos resíduos, resultantes dos processos fabris e produtos, tornou-se imprescindível, já que o *homo faber* é transformador de matérias-primas e de recursos naturais.

A iminência de ajuste entre o gerenciamento de resíduos sólidos industriais e a Política Nacional de Resíduos Sólidos requer estudos de natureza interdisciplinar sejam eles com conteúdos teóricos ou práticos, na forma de modelos de gestão e avaliação, de Educação Ambiental, sustentabilidade, nos aspectos jurídicos,

culturais, socioeconômicos – relatos de experiência, ensaios, estudos de caso, pesquisas de campo, observação participante.

O modelo proposto para Avaliação de Desempenho Ambiental de Organizações Industriais vai ao encontro da demanda gerada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, a partir da qual as indústrias (como geradoras de resíduos sólidos) deverão apresentar um plano de gerenciamento desses resíduos aos órgãos competentes. Há também a obrigatoriedade de obedecer a seguinte ordem de priorização para a gestão de seus resíduos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010b; BRASIL, 2012; MMA/ICLEI, 2012).

“A principal diretriz da Política Nacional de Resíduos Sólidos para os resíduos sólidos industriais é a eliminação completa dos resíduos industriais destinados de maneira inadequada ao meio ambiente” (PNRS, 2011). Logo, cabe às empresas rever seus procedimentos e dar continuidade a programas mitigadores das consequências negativas da destinação inadequada dos rejeitos.

Dessa forma, as indústrias precisam elaborar seus planos de gerenciamento de resíduos, os quais devem também conter metas de redução da quantidade de materiais remanescentes dos processos fabris encaminhados para disposição final ambientalmente adequada, devendo ainda vislumbrar “medidas destinadas a reduzir o volume e a periculosidade dos resíduos sob sua responsabilidade, bem como aperfeiçoar seu gerenciamento” (PNRS, 2011).

Por conseguinte, justifica-se um estudo aprofundado das ações que precisam decorrer das diretrizes da PNRS. São necessárias ações de mensuração, de avaliação e apreciação que detalhem um dimensionamento específico para os resíduos sólidos industriais. O modelo desenvolvido neste trabalho, com estrutura de texto qualitativa e quantitativa, corrobora com estas diretivas, visto que ele tem como meta subsidiar a tomada de decisão para melhorias no desempenho ambiental das indústrias por meio de indicadores e índices pré-determinados.

A importância e a originalidade da pesquisa desta Tese estão na configuração de um modelo intitulado Índice de Desempenho Ambiental da Gestão de Resíduos Sólidos Industriais (IDEA PNRS+L) que considera, na constituição de seus indicadores, não só a geração de resíduos provenientes dos processos fabris da indústria em questão (geração interna), mas também a geração anterior (referente aos insumos adquiridos) e a geração posterior (referente aos produtos

produzidos) englobando todo o ciclo de vida dos produtos (incluindo o período de utilização dos produtos e o manejo dos produtos pós-consumo).

A utilização da lógica *fuzzy* com foco nos resíduos sólidos industriais é outro diferencial deste modelo. Na literatura foi encontrado apenas um trabalho acadêmico também voltado especificamente aos resíduos sólidos industriais. O autor criou o “Índice de Destinação dos Resíduos Sólidos Industriais” (COELHO, 2011) trabalhado com a lógica clássica quanto ao tratamento matemático dos dados. Além disso, apresentou abordagens de maneira distinta do modelo IDEA PNRS+L, a exemplo do acentuado foco na destinação dos resíduos, dos diferentes indicadores utilizados, entre outras situações.

### 1.3 METODOLOGIA DA TESE

A pesquisa que embasou a discussão proposta é de natureza qualitativa e quantitativa porque ela fez uso de análises textuais que versam sobre o tema dos resíduos sólidos industriais, foi realizada pesquisa de campo para a coleta de dados e aplicação dos mesmos no modelo, que utiliza lógica *fuzzy* para a agregação das variáveis. Foram utilizadas referências englobando Teses, dissertações, monografias, livros técnicos, normas, leis e decretos, além de artigos de eventos e periódicos (GIL, 2002; MENEZES E SILVA, 2005; LAKATOS E MARCONI, 2006). Dentre as principais referências estão os documentos oficiais disponíveis nos sites, as normas e os trabalhos sobre as ferramentas de avaliação de desempenho ambiental.

Os esforços para organizar as ideias da proposta do modelo de avaliação concentram-se na análise, interpretação e identificação de indicadores e índices de desempenho ambiental envolvendo ações de geração, aproveitamento e disposição final de resíduos. Essas etapas, quando visualizadas isoladamente, orientam-se para especificidades que detalham a complexidade de cada ação, evitando generalizações e definindo caminhos para tomada de decisão.

## 1.4 DIVISÃO DE CAPÍTULOS

O trabalho está estruturado em cinco capítulos de modo a apresentar a parte teórica e prática sobre o tema dos resíduos sólidos industriais. A pesquisa está contextualizada no capítulo 1, no qual são apresentados: a conjuntura motivadora da presente pesquisa; os objetivos almejados; a justificativa da confecção do trabalho; uma síntese do método científico utilizado e a estrutura do trabalho, aqui descrita.

O capítulo 2 apresenta o marco teórico do trabalho envolvendo temas da Política Nacional de Resíduos Sólidos, Produção mais Limpa, Logística Reversa, Sistema de Gestão Ambiental ISO 14001, *Ecodesign*, Rotulagem ambiental, Avaliação de Desempenho Ambiental e Lógica *Fuzzy*.

O capítulo 3 detalha a pesquisa de campo e seus passos, desde o modo como foram coletados os dados até a criação dos indicadores e índices, perpassando pelo seu escopo, ontologia, premissas e desdobramentos. Um pequeno ensaio de aplicação da ferramenta IDEA PNRS+L pode ser apreciado no capítulo 4, que exemplificou os resultados que podem ser obtidos e analisados com a ferramenta na avaliação do desempenho ambiental. As considerações finais e as sugestões para futuros trabalhos encontram-se no capítulo 5.

## 2 MARCO TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados componentes do arcabouço teórico que embasam o modelo proposto, bem como uma análise complementar inter-relacionando-os. Trata-se de um conjunto de argumentos que envolvem Política Nacional de Resíduos Sólidos, Produção mais Limpa, Logística Reversa, Sistema de Gestão Ambiental ISO 14001, *Ecodesign*, Rotulagem ambiental, Avaliação de Desempenho Ambiental e Lógica *Fuzzy*.

### 2.1 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 - define as diretrizes gerais para a gestão dos resíduos no Brasil. A regulamentação dessa lei ocorreu por meio do Decreto nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010, que traz como principal ferramenta de ação o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Tanto a Política quanto o Plano englobam o país em níveis hierárquicos de responsabilidade encadeada: na esfera federal, estadual e municipal. Dentro desta última instância encontram-se enquadradas as organizações industriais, com a incumbência da correta gestão de seus resíduos (BRASIL, 2010; 2010a; 2010b; 2012).

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, em seu Artigo 13, os “resíduos industriais” são definidos como aqueles gerados nos processos produtivos e instalações industriais. Dentre os resíduos industriais, na classificação, estão incluídos também materiais perigosos que precisam de tratamento especial devido ao seu alto potencial de impacto à saúde e ao meio ambiente (BRASIL, 2010b; 2012; PNRS, 2011). A Resolução CONAMA nº 313/2002, ao definir Resíduo Sólido Industrial, menciona a técnica e a tecnologia como instrumentos de apoio para decisões de tratamento para resíduos de grande impacto:

[...] é todo o resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido, gasoso - quando contido, e líquido - cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição (CONAMA, 2002).

As soluções propostas pelos agentes sociais, que utilizam técnicas, tecnologias e ciência, perpassam por mudanças de hábitos, comportamentos e atitudes, as quais também são mencionadas, de maneira sucinta, nos objetivos constantes da Política Nacional de Resíduos Sólidos, no que tange as organizações industriais (FIESP, 2012):

- Adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;
- O gerenciamento de resíduos conforme a seguinte ordem de prioridades: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão empresarial ambiental;
- Gestão integrada de resíduos sólidos;
- Estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;
- Redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;
- Incentivo à indústria da reciclagem.

Este processo de adaptação às novas regras incide na obrigatoriedade da declaração de informações sobre os resíduos gerados nas organizações (tipologias, quantidades, fluxos, estoques, etc.) e a elaboração de um plano para o gerenciamento desses resíduos (BRASIL, 2010; 2010a; 2010b; 2012). A razão desta exigência se deve ao cumprimento da principal diretriz da Política, que é dispor corretamente os resíduos industriais, de modo a contribuir para o meio ambiente (PNRS, 2011).

Dessa forma, todas as empresas industriais geradoras de resíduos sólidos (perigosos e não perigosos) precisam elaborar seus planos de gerenciamento de resíduos, articulados com as normas, seguindo a ordem de priorização estabelecida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos em seu Artigo 9º, devendo enquadrar

50% dos seus resíduos até 2015, e 100% dos seus resíduos até 2019 (PNRS, 2011). A Figura 1 ilustra a hierarquia da gestão de resíduos preconizada pelo artigo 9º da Política Nacional de Resíduos Sólidos, que orienta a elaboração dos planos.



**Figura 1 - Hierarquia da gestão de resíduos**  
**Fonte: Brasil (2012)**

A Lei nº 12.305/2010 estabelece, nesse sentido, em seus artigos 24 e 20-I, respectivamente, que o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos é parte integrante do processo de licenciamento ambiental e deve ser elaborado pelos geradores dos resíduos sólidos nos processos produtivos e instalações industriais (BRASIL, 2010b; PNRS, 2011).

Além disso, visando a redução da quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada, nos Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos deverão ser assinaladas metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, devendo também ser adotadas medidas para a redução do volume e da periculosidade dos resíduos sob a responsabilidade das organizações, bem como aperfeiçoar o gerenciamento (PNRS, 2011).

Assim, o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos poderá servir como um mecanismo fiscalizador da adesão das empresas às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Simultaneamente, também como um instrumento de planejamento visando ações de pesquisa e desenvolvimento, com destaque para a ecoeficiência, no sentido de ampliar a reutilização e reciclagem dos resíduos sólidos industriais (PNRS, 2011). Para contribuir com a construção de políticas ambientais, existem programas importantes para consolidar o sistema de gestão de resíduos nas organizações, dentre eles as práticas de Produção mais Limpa, que têm trazido



resultados satisfatórios para o meio empresarial (competitividade, prevenção, economia). É um dos elementos norteadores para as ações necessárias nesse sentido, tendo em vista seu embasamento nos preceitos da ecoeficiência e sua afinidade com a sequência de prioridades preconizada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos no tocante ao trato dos resíduos sólidos industriais.

### 2.1.1 Produção mais Limpa

Como estratégia de gestão para a implementação da ecoeficiência, dentre outros instrumentos, a Produção mais Limpa (P+L), permite às empresas solucionar problemas ambientais na origem e criar novas oportunidades de negócio (BERTÉLI e PESSIN, 2009).

De maneira sucinta, a ecoeficiência pode ser entendida como o “trabalho direcionado a minimizar impactos ambientais, devido ao uso minimizado de matérias-primas: produzir mais com menos” (GIANNETTI e ALMEIDA, 2006); produzir mais bens e/ou serviços com menos recursos naturais e menos poluição (ALMEIDA, 2002; FEAM, 2009).

Para viabilizar o alcance dos objetivos da ecoeficiência, devem ser considerados aspectos envolvendo resultados econômicos, visando à garantia da permanência da organização num ambiente de mercado competitivo, resultados ambientais, tendo em vista a integração dos objetivos socioambientais na estratégia de negócio do empreendimento, e a busca de um sistema de melhoria contínua (FEAM, 2009).

Nesse ínterim, a P+L explora o processo produtivo e as demais atividades de uma empresa e avalia a utilização de materiais e energia. A partir disso, são criteriosamente examinados os produtos, as tecnologias e os materiais, com a intenção de diminuir os resíduos, as emissões e os efluentes, e descobrir modos de reutilizar os resíduos inevitáveis (CNTL, 2002).

Logo, considerando a geração de resíduos como fruto da ineficiência dos processos, a P+L evidencia-se como instrumento de fomento à melhoria contínua das atividades produtivas, podendo abarcar desde as tecnologias empregadas nos processos até a própria gestão da empresa (LIMA e RUTKOWSKI, 2009).

A sistematização das ações de P+L segue como sequência lógica de atitudes a minimização dos resíduos e emissões e a reutilização e reciclagem dos resíduos e emissões que não puderam ser evitados (níveis 1, 2 e 3). A Figura 2 ilustra a abordagem da P+L com ênfase nesta sequência de prioridades e possibilidades de atitudes em cada nível de atuação.



**Figura 2 - Abordagem esquemática da Produção mais Limpa**  
**Fonte: Adaptado de CNTL (2002).**

Dentre os três níveis da P+L o nível 1 deve ser tomado como objetivo principal, mudando-se para os níveis 2 e 3, respectivamente, apenas quando todas as opções do nível anterior forem tecnicamente descartadas (CNTL, 2003a; BECKER, 2007; FAGUNDES, 2010).

O nível 1 da P+L enfoca a redução na fonte englobando as melhorias que possam ser alcançadas decorrentes tanto de modificações no processo quanto de modificações no produto (CNTL, 2003a; FAGUNDES, 2010).

As modificações no processo são as mais comumente aplicadas em programas de P+L abrangendo todo o sistema de produção dentro da empresa. Elas podem ser decorrentes de medidas envolvendo boas práticas operacionais, substituição de matérias-primas e mudança de tecnologia (CNTL, 2003a; FAGUNDES, 2010).

As modificações no produto buscam eliminar características que sejam ecologicamente indesejáveis (RAUPP, 2007). Alterações nesse nível possuem uma

abordagem complexa, pois abarcam a aceitação por parte dos consumidores de um produto novo ou renovado (CNTL, 2003a), podendo apresentar alterações (positivas ou negativas) quanto aos padrões de qualidade e durabilidade (MELLO, 2002) sendo, portanto, geralmente adotadas somente após terem sido esgotadas as opções mais simples (CNTL, 2003a).

O nível 2 da P+L enfoca a reciclagem interna, englobando as melhorias que possam ser alcançadas decorrentes da recuperação de materiais já utilizados no processo (matérias-primas, materiais auxiliares e insumos), dentro da própria planta industrial (CNTL, 2003a; RAUPP, 2007), podendo ser usados novamente para o mesmo propósito ou para propósitos diferentes dos originais (CNTL, 2003a; BECKER, 2007; FAGUNDES, 2010).

O nível 3 da P+L engloba a reciclagem externa e ciclos biogênicos, enfocando os procedimentos que possam ser executados externamente à empresa, sobre os resíduos, efluentes e emissões gerados pela própria empresa (CNTL, 2003a; BECKER, 2007; RAUPP, 2007; FAGUNDES, 2010). É possível promover a reintegração dos materiais ao ciclo biogênico, através da compostagem, por exemplo, e/ou o retorno desses materiais ao ciclo econômico, através da utilização dos mesmos em atividades externas à empresa que os originou (CNTL, 2003a; BECKER, 2007; FAGUNDES, 2010).

Enquanto a Produção mais Limpa está voltada para as atividades produtivas, existe um processo de planejamento e controle do fluxo de produtos e embalagens também importante para gerenciar a questão dos resíduos. A empresa pode valorar ainda mais esses itens operacionalizando a logística reversa. Essas iniciativas podem representar economias concretizadas no gerenciamento de resíduos.

### 2.1.2 Logística reversa

A logística reversa tem como ponto característico ser um processo complementar à logística tradicional no sentido da adequada completude do ciclo de vida do produto. Enquanto a logística direta tem a incumbência de levar os produtos e embalagens até os pontos de consumo, a logística reversa deve trazê-los de volta

à origem, passando por uma fase de reaproveitamento e retorno à cadeia até serem finalmente descartados (SINNECKER, 2007).

Pode-se descrever logística reversa como área da logística empresarial que busca integrar os canais de distribuição reversos de pós-venda e pós-consumo, visando agregar valor ambiental e econômico aos produtos por sua reintegração ao ciclo produtivo, sob a forma de insumo ou matéria-prima, propiciando o retorno dos mesmos a algum ponto do processo produtivo de origem ou sua aplicação em outro processo produtivo (ADLMAIER e SELLITTO, 2007).

Decorrem, portanto, possibilidades de vantagem competitiva às empresas que adotarem políticas e ferramentas de logística reversa, como as classificadas por Chaves e Batalha (2006):

- Quanto às restrições ambientais: a conscientização ambiental vem promovendo uma crescente mudança na produção e no consumo no sentido do fomento ao desenvolvimento sustentável. Nesta conjuntura, a logística reversa vislumbra a diminuição do impacto ambiental, não só dos resíduos procedentes das fases de produção e pós-consumo, mas ao longo do ciclo de vida dos produtos;

- Quanto à redução de custo: a possibilidade de ganhos com o reaproveitamento de materiais estimula o desenvolvimento e melhorias dos processos de logística reversa. Com isso as empresas podem produzir matéria-prima por meio da reciclagem de produtos descartados, possibilitando processá-los a custos menores do que se fosse extrair da natureza o mesmo material;

- Quanto às razões competitivas: uma forma de aumento de vantagem competitiva frente aos adversários é a utilização de estratégias que minimizem os obstáculos no retorno e troca de produtos, fidelizando assim os clientes. Com isso as empresas podem se sobressair no mercado, pelo fato de proporcionarem atendimento diferenciado dos seus concorrentes; e

- Quanto à diferenciação da imagem corporativa: posicionar-se como empresa-cidadã utilizando estrategicamente a logística reversa no auxílio aos menos favorecidos (a exemplo das cooperativas de catadores de material reciclável), conseguindo com isso agregar valor à sua marca, e também aos seus produtos.

Corroboram com as ideias desses autores as autoridades políticas que instrumentalizam não só a PNRS, mas também o Plano Nacional sobre Mudança do Clima. A logística reversa é um instrumento que contribui para instituir a responsabilidade compartilhada da geração de resíduos. Ela prevê as ações, os

procedimentos e os meios necessários para a coleta e a devolução dos resíduos sólidos ao setor empresarial – para reaproveitamento em seu ciclo, em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada – vislumbrando desenvolvimento econômico e social (BRASIL, 2010b, MMA, 2012a). Por isso, ela subsidia tanto o Plano quanto à Política Nacional de Resíduos Sólidos, com suas determinações prioritárias para os seis tipos de resíduos, a saber:

Art. 33. São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:

I - agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso;

II - pilhas e baterias;

III - pneus;

IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;

V - lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;

VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

§ 1º Na forma do disposto em regulamento ou em acordos setoriais e termos de compromisso firmados entre o poder público e o setor empresarial, os sistemas previstos no caput serão estendidos a produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro, e aos demais produtos e embalagens, considerando, prioritariamente, o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados (BRASIL, 2010b).

No tocante à logística reversa dos demais tipos de resíduos – ainda não contemplados pela PNRS – é necessário trabalhar com as ideias de responsabilidade compartilhada e acordos setoriais. Cabe enfatizar o papel das empresas nestes tipos de parcerias quanto ao seu planejamento para as questões ambientais. Sinnecker (2007) sugere atitudes empresariais que podem modificar as relações entre produção, meio ambiente e vantagens competitivas a partir de um estudo obtido na década de 1990 pelo *Council of Logistics Management*:

- Atitude reativa: caracterizada pelo simples cumprimento da legislação em vigor, demonstrando que a preocupação com o impacto ambiental de seus produtos e/ou processos fabris não faz parte das suas estratégias empresariais;

- Atitude proativa: as corporações buscam se antecipar às normas e legislações, desenvolvendo suas redes logísticas reversas, a fim de evitar impactos ambientais negativos de seus produtos, gerando assim um diferencial competitivo;

- Atitude de busca de valor: é a forma de agregar valor aos seus produtos ou serviços por meio de uma postura empresarial voltada para a ética social e ambiental, deixando esses objetivos evidentes à sociedade e aos clientes. Empresas que adotam essa estratégia alcançam maior sucesso empresarial e muitas vezes são líderes em seus campos de negócios. Elas preparam suas estratégias fundamentadas na visão holística do novo ambiente empresarial, conseguindo retornos com diminuições dos custos operacionais, aumento de competitividade e benefício à sua imagem corporativa. Suas fundamentais atuações estratégicas são: o apoio às diversas áreas especializadas na criação e operação de redes de distribuição reversas e em parcerias nas cadeias reversas.

Sinnecker (2007) caracteriza as atitudes reativas como aquelas que reduzem a importância da obediência à legislação quando diz que ela não faz parte das estratégias ambientais da empresa. Este tipo de agente idealizado cumpriria as normas sem se envolver diretamente com as questões ambientais nos processos produtivos. A interpretação da classificação do autor remete a um suposto desinteresse empresarial pela melhora de seus processos produtivos por meio da adoção de ferramentas e instrumentos de gestão ambiental.

Todavia, isto pode não ser real, na medida em que as empresas, obedecendo as normas, passam a trocar experiências, tecnologias e idealizarem novos cenários para os resíduos, avançando para outras classificações organizadas pelo autor.

Vale ressaltar que estas atitudes reativa, proativa e valorativa, quando contextualizadas, precisam estar complementadas por políticas e programas de sustentabilidade ambiental. Na medida em que cresce o papel das empresas como atores sociais ativos, uma vez que eles são agentes causadores de impactos ao meio ambiente, e paralelamente aumenta o número de consumidores mais críticos, elas tendem a adotar mecanismos de boas práticas encontrados também nas certificações, que projetam critérios, regras e práticas com a finalidade de reduzir os danos.

## 2.2 ABORDAGENS ENVOLVENDO NORMAS DA SÉRIE ISO 14000

A ISO 14000 compreende uma série de normas internacionais de Gestão Ambiental que vislumbra vários aspectos dentro dessa temática. Motivada pela necessidade de mitigação dos impactos ambientais adversos, a ISO 14000 visa apoiar a gestão ambiental no mundo, por meio das diretrizes estabelecidas em suas documentações (BRASIL/PNUMA, 2013).

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o órgão responsável pela tradução para a língua portuguesa, discussão e publicação das documentações ISO correspondentes – a exemplo das Normas Brasileiras ABNT NBR ISO e Relatórios Técnicos ABNT ISO/RT<sup>1</sup> – por meio do Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental ABNT/CB-38 (BRASIL/PNUMA, 2013).

O CB-38 possui atualmente nove subcomitês, que abordam os seguintes temas: Sistemas de gestão ambiental, Auditorias ambientais, Rotulagem ambiental, Desempenho ambiental, Avaliação de ciclo de vida, Termos e definições, Mudanças climáticas, Comunicação ambiental e Integração de Aspectos Ambientais no Projeto e Desenvolvimento de Produtos (BRASIL/PNUMA, 2013).

Discorre-se, a seguir, quatro temas relevantes para a pesquisa que envolvem normas da série ISO 14000 incluindo também elementos e considerações complementares, pertinentes ao escopo desta Tese. São eles: 1- Sistemas de gestão ambiental, 2- Integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos, 3- Rotulagem ambiental e 4- Avaliação de desempenho ambiental.

### 2.2.1 Sistemas de Gestão Ambiental

A ISO 14001 é a estrutura mais reconhecida de Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) no mundo. Ela orienta as organizações a gerenciar melhor tanto os impactos ambientais de suas atividades quanto demonstrar a boa Gestão Ambiental e foi adotada como padrão em mais da metade dos 164 membros nacionais da ISO (BRASIL/PNUMA, 2013).

---

<sup>1</sup> Relatórios Técnicos são documentos informativos que fornecem material de apoio às normas (BRASIL/PNUMA, 2013).

A norma ABNT NBR ISO 14001:2004 assim define Sistema da Gestão Ambiental: “a parte de um sistema da gestão de uma **organização**, utilizada para desenvolver e implementar sua **política ambiental** e para gerenciar seus **aspectos ambientais**” (ABNT, 2004b). Então, de acordo com a norma, entende-se por:

- Organização: empresa, corporação, firma, empreendimento, autoridade ou instituição, ou parte ou uma combinação desses, incorporada ou não, pública ou privada, que tenha funções e administração próprias;

- Política ambiental: intenções e princípios gerais de uma organização em relação ao seu desempenho ambiental conforme formalmente expresso pela alta administração;

- Aspectos ambientais: elemento das atividades ou produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente (ABNT, 2004b).

Além de um efetivo gerenciamento e melhorias ambientais, minimizando a ocorrência de impactos ambientais adversos, a implantação desse sistema de gestão pode proporcionar às organizações, a garantia aos clientes do atendimento às legislações ambientais. Além disso, traz, entre outras vantagens, maior controle dos processos produtivos, eliminação de barreiras comerciais impostas por mercados internacionais e reflexos econômicos positivos decorrentes de benefícios à sua imagem perante a sociedade (REIS; QUEIROZ, 2004). O autor identifica seis elementos-chave em um Sistema de Gestão Ambiental baseado na norma ISO 14001:

- a) Política Ambiental: aborda [...] os requisitos para atender a esta política, através dos objetivos, metas e programas ambientais.
- b) Planejamento: a análise dos aspectos ambientais das organizações, incluindo seus processos, produtos e serviços, assim como os bens e serviços usados pela organização.
- c) Implementação e Operação: implementação e organização dos processos para controlar e melhorar as atividades operacionais que são críticas do ponto de vista ambiental. Devem ser considerados os produtos e serviços da organização.
- d) Verificação e Ação Corretiva: [...] incluindo o monitoramento, medição e registro das características e atividades que podem ter um impacto significativo no ambiente.
- e) Análise Crítica pela Administração: [...] assegurar a contínua adequação e efetividade do sistema.
- f) Melhoria Contínua: [...] é um componente-chave do sistema de gestão ambiental, pois através dele a norma ISO 14001 pretende estimular a melhoria do desempenho (REIS; QUEIROZ, 2004, p.26).



Vistos esses seis elementos sintetizados na Figura 3, o autor procurou mostrar para o leitor possibilidades dinâmicas de interação entre eles.



**Figura 3 - Elementos-chave do Sistema de Gestão Ambiental baseado na norma ISO 14001.**  
Fonte: Adaptado de Cajazeira (1998).

O sistema de gestão ambiental ISO 14001, composto dessa forma, amplia as possibilidades de aplicação para diferentes tipos e portes de organização, bem como oferta facilidades para a adequação aos contextos, condições geográficas, culturais e sociais nos quais eles se inserem (ABNT, 2004b).

### 2.2.2 Integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos

Outras normalizações da ISO se atêm aos aspectos ambientais necessários para inserir qualidade aos produtos. O relatório técnico ABNT ISO/RT 14062:2004 aponta como meta da integração dos aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto “a redução dos impactos ambientais adversos do produto por todo o seu ciclo de vida” (ABNT, 2004c).

De acordo com o relatório, entende-se por aspecto ambiental elementos das atividades, produtos ou serviços de uma organização que podem interagir com o meio ambiente. Qualquer modificação do meio ambiente adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização pode ser interpretada como um impacto (ABNT, 2004c).

Todos os produtos, isto é, todos os bens ou serviços, provocam impactos sobre o meio ambiente – podendo ou não ser significativos, ter curta ou longa duração e serem locais, regionais e/ou globais. Esse fato, que pode acontecer em qualquer um ou em todos os estágios do ciclo de vida do produto – aquisição de matéria-prima, fabricação, distribuição, uso e disposição final – acentua a importância da integração de aspectos ambientais à concepção dos mesmos (ABNT, 2004c; BRASIL/PNUMA, 2013).

Dentre as possíveis formas de mensuração de aspectos ambientais, destacam-se:

- Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): é um processo de análise relativamente mais demorado e que envolve maior custo que os demais;

- Utilização de indicadores ambientais desenvolvidos para este fim: é um processo relativamente mais rápido e de menor custo, e sua precisão vai depender da seleção dos indicadores ambientais mais significativos para o produto em questão;

- Utilização de diretrizes qualitativas: redução da quantidade de material no produto; facilitação da reciclagem do produto; uso de materiais reciclados; redução do consumo de energia durante a vida útil do produto; aumento da vida útil do produto; uso de serviços ao invés da aquisição de bens para o mesmo fim (BRASIL/PNUMA, 2013).

Além da melhoria do desempenho ambiental das organizações, também decorrem – da integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos – benefícios econômicos oriundos, por exemplo, da diferenciação do produto, da redução do consumo de energia, água, matérias-primas e redução da quantidade de resíduos para serem tratados e/ou dispostos (ABNT, 2004c; BRASIL/PNUMA, 2013).

No projeto e desenvolvimento de produto há um conjunto de processos que transforma requisitos em características determinadas ou na especificação de um produto, processo ou sistema. O processo de integração dos aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto é contínuo e flexível, incentiva a criatividade e potencializa inovações e oportunidades para a melhoria ambiental. O processo em si se compõe de um conjunto de atividades inter-relacionadas ou interativas, que transformam entradas em saídas (ABNT, 2004c).

Para o projeto e desenvolvimento de um produto, algumas variáveis importantes devem ser consideradas, tais como: função; aparência/estilo; custo; qualidade e durabilidade; segurança; facilidade de produção, montagem, desmontagem, reparo e manutenção; disponibilidade de matérias primas, equipamentos e componentes; confiabilidade; vida útil e conformidade com requisitos legais. Além destas, cabem também considerações sobre impactos ambientais; facilidade de reciclagem; eficiência energética; embalagens necessárias; tipos de transporte e de armazenamento empregados (BRASIL/PNUMA, 2013).

Nessa conjuntura, de acordo com o Instituto Brasil PNUMA, a integração dos aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos é geralmente denominada *Ecodesign* (BRASIL/PNUMA, 2013).

O conceito de *ecodesign* teve sua origem a partir do conceito de projeto para o meio ambiente (*Design for Environment – DfE*) tendo como foco o desenvolvimento de projetos que fossem ambientalmente menos prejudiciais, vindo a ser utilizado nas organizações como programa de gestão ambiental e de prevenção à poluição, englobando produtos, processos e serviços (NASCIMENTO; VENZKE, 2010; PEARSON, 2011).

Os princípios para a implantação do *ecodesign* foram definidos pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) compreendendo oito fases, a saber:

- Desenvolvimento de novos conceitos: desmaterialização do produto; uso compartilhado do produto; integração de funções; otimização funcional do produto ou componente;
- Seleção de materiais de baixo impacto: materiais não agressivos; renováveis; reciclados; de baixo conteúdo energético; recicláveis;
- Redução de materiais: redução de peso; volume; racionalização de transportes;
- Otimização das técnicas de produção: técnicas de produção alternativas; redução de etapas de processo de produção; redução do consumo e uso racional de energia; uso de energias mais limpas; redução da geração de refugos/resíduos; redução e uso racional de insumos de produção;
- Otimização dos sistemas de transporte: redução e uso racional de embalagens; uso de embalagens mais limpas; uso de sistemas de transporte eficientes; logística eficiente;

- Redução do impacto de uso: assegurar o baixo consumo energético; uso de fontes de energias mais limpas; uso racional e redução de insumos durante a aplicação; utilizar insumos limpos; prevenir desperdícios por meio do *design*;
- Otimização do tempo de vida útil: confiabilidade e durabilidade; fácil manutenção e reparo; estrutura modular do produto; utilizar design clássico, no sentido de estilo; zelo do usuário com o produto;
- Otimização do fim da vida útil: reutilização do produto; recondicionamento e remanufatura; reciclagem de materiais; incineração limpa; reaproveitamento energético (OLIVEIRA; MARTINS; CÂNDIDO, 2011).

Devido ao uso, por diversos autores, de diferentes nomes para a aplicação do conceito *DfE* – considerando a inclusão de questões ambientais na concepção de projetos de novos produtos, estendendo-se também a processos e serviços – pode-se encontrar na literatura os termos *design for environment*, *ecodesign*, *green design*, *design* de fabricação ambientalmente consciente, entre outros, como expressões congêneres (NASCIMENTO; VENZKE, 2010). Outros termos frequentemente associados ao *ecodesign* são: *design* ambiental, *design* verde, *design* ecológico, *design* ambientalmente consciente e *lifecycle design* (GARCIA, 2007). No entanto, não necessariamente esses termos podem ser considerados sinônimos (KUBOTA; CAMPOS; MIGUEL, 2014).

### 2.2.3 Rotulagem ambiental

Além da normalização que rege a integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos, existe outra ferramenta da gestão ambiental também direcionada aos produtos, que são os rótulos e declarações ambientais. Esta rotulagem fornece informações acerca de um produto ou serviço em termos de suas características ambientais gerais, ou de um ou mais aspectos ambientais específicos (ABNT, 2002). A norma ABNT NBR ISO 14020:2002 assim define o objetivo dos rótulos e declarações ambientais:

A meta geral dos rótulos e declarações ambientais é, através de comunicação e informações precisas e verificáveis, que não sejam enganosas, sobre os aspectos ambientais de produtos e serviços, promover a demanda e o fornecimento dos produtos e serviços que causem menor impacto ambiental, estimulando, assim, o potencial para uma melhoria ambiental contínua, ditada pelo mercado (ABNT, 2002).

Existem três tipos de rotulagem ambiental especificadas pela ISO que foram analisadas de acordo com as considerações à análise do ciclo de vida do produto (ACV), corroborando com Santiago (2007). Enquanto a rotulagem tipo II pode ser considerada dentre as três existentes a que menos associa aspectos ambientais, a do tipo I fica numa posição intermediária e a do tipo III a que mais acrescenta informações ao produto.

- **Rotulagem Tipo II:** com determinações orientadas pela norma ABNT NBR ISO 14021:2013 (ABNT, 2013), os rótulos tipo II ou auto declarações ambientais são concebidos por entidades vinculadas diretamente à fabricação e venda dos produtos em questão a exemplo de fabricantes, importadores, distribuidores e varejistas ou por qualquer pessoa que tenha a probabilidade de obter benefícios com a referida rotulagem.

As auto declarações ambientais apresentam mais comumente os seguintes termos (ABNT, 2013):

- **Compostável:** característica de um produto, embalagem ou componente associado que permite a sua biodegradação, originando uma substância similar ao húmus, relativamente homogênea e estável;

- **Degradável:** característica de um produto ou embalagem que, considerando condições específicas, possibilita que este se decomponha até certo ponto, num prazo determinado;

- **Projetado para desmonte:** característica do projeto de um produto que possibilita a desmontagem ao final de sua vida útil, de tal forma que seus componentes e suas peças possam ser reutilizados, reciclados, reutilizados como fonte de energia ou ser, de alguma outra forma, desviados do fluxo de resíduos;

- **Vida útil prolongada:** produto projetado para desempenhar um uso prolongado, baseado na melhoria da durabilidade ou característica de atualização, que acarrete no uso reduzido de recursos ou na redução de resíduos;

- Energia recuperada: característica de um produto que foi feito utilizando energia recuperada oriunda de materiais ou fontes de energia que teriam sido descartadas como resíduo, mas que, ao invés disso, foram coletadas por meio de processos gerenciados;

- Reciclável: característica de um produto, da embalagem ou de um componente associado que possibilita seu desvio do fluxo de resíduos por meio de processos e de programas disponíveis, podendo ser coletado, processado e retornado para o uso na forma de matérias-primas ou de produtos;

- Conteúdo reciclado: proporção em massa de material reciclado em um produto ou embalagem;

- Consumo de energia reduzido: diminuição na quantidade de energia associada à utilização de um produto que desempenha a função para a qual foi projetado, quando comparada com a energia consumida por outros produtos que desempenham uma função equivalente;

- Uso reduzido do recurso: diminuição da quantidade de material, de energia ou de água utilizada para produzir ou distribuir um produto, embalagem ou determinado componente associado;

- Consumo de água reduzido: diminuição no consumo de água associada ao uso de um produto que desempenha uma função para a qual foi projetado, quando comparada com a quantidade de água utilizada por outros que desempenham a mesma função;

- Reutilizável: característica de um produto ou embalagem, à qual que foi projetado para cumprir dentro de seu ciclo de vida, que permite um determinado número de viagens, revezamentos ou utilizações com o mesmo propósito para o qual foi concebido;

- Recarregável: característica de um produto ou embalagem que pode ser carregado com o mesmo produto ou produto similar mais de uma vez, em sua forma original e sem processamento adicional, com exceção de requisitos especificados, como limpeza ou lavagem;

- Redução de resíduos: diminuição na quantidade (massa) ou material que entra na composição de resíduos como resultado de uma alteração no produto, processo ou embalagem;

- Material renovável: material composto de biomassa de uma fonte viva e que pode ser reabastecida continuamente;

- Energia renovável: energia derivada de fontes que são não esgotáveis ou que são capazes de reabastecimento contínuo. As fontes de energia renováveis incluem, mas não se limitam a, luz solar, energia eólica, biomassa e fontes geotérmicas;

- Pegada de carbono: entende-se por “pegada de carbono” do produto a quantidade líquida de emissões de gases de efeito estufa (GEE) durante o ciclo de vida. Também inclui remoções líquidas de CO<sub>2</sub> a longo prazo;

- Carbono neutro: a designação “carbono neutro” exige que todas as emissões de GEE de todas as fases do ciclo de vida do produto, e dentro do sistema especificado do produto, tenham sido reduzidas, removidas ou levadas em conta por meio de um sistema de compensações, de créditos, ou por outros meios<sup>2</sup>.

Exemplifica-se por meio de textos, como se apresenta a rotulagem tipo II nos produtos: "Não contém CFC", Ciclo de *Möbius* (símbolo da reciclagem), "Alumínio Reciclável", "Aço Reciclável", "Vidro Reciclável", "Embalagem Reciclável", entre outros (BARBOZA, 2001; CEMPRE. 2008).

De acordo com Santiago (2007), apenas um aspecto ambiental já permite que um produto obtenha o rótulo tipo II, não sendo demandada a realização de uma análise do ciclo de vida (ACV), o que acarretaria em custos adicionais e prazos maiores para que a demanda da parte interessada fosse atendida.

- **Rotulagem Tipo I:** conforme orienta a norma ABNT NBR ISO 14024:2004 (ABNT, 2004), seguindo critérios estabelecidos especificamente para cada diferente grupo de produtos que tem funções equivalentes, os rótulos tipo I são concedidos por meio de certificação aos produtos ambientalmente preferíveis quando comparados a outros da mesma categoria.

Sua solicitação é voluntária e os procedimentos para a certificação são realizados sob a responsabilidade de entidades desvinculadas da fabricação ou venda dos produtos em questão - entidades públicas ou privadas, de natureza nacional, regional ou internacional.

---

<sup>2</sup> Vale observar que para a Rotulagem tipo II, o textos ou gráficos explicativos para os termos utilizados nas auto declarações ambientais podem fazer-se necessários e o uso de símbolos é opcional. Além disso, a norma fornece qualificações para o uso de cada termo e descreve metodologias e métodos específicos de avaliação e verificação para as auto declarações selecionadas (ABNT, 2013; BRASIL/PNUMA, 2013).

A rotulagem ambiental do tipo I compreende um processo interativo que integra consulta às partes interessadas, seleção das categorias de produto, desenvolvimento, revisão e modificação dos critérios ambientais de produto, identificação das características funcionais do produto e estabelecimento dos procedimentos de certificação e de outros elementos administrativos do programa (ABNT, 2004). Ao final, o selo é concedido aos produtos que satisfaçam o conjunto de requisitos específicos estabelecidos por meio desse processo (BRASIL/PNUMA, 2013).

São exemplos de rótulos tipo I os seguintes selos ambientais (ou selos verdes): *Blue Angel* (Alemanha), *Eco-Logo* (Canadá), *Green Seal* (EUA), Beija-flor (Rótulo Ecológico ABNT - Brasil); e também: FSC (*Forest Stewardship Council*), *Rainforest Alliance Certified*, Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), *Ecocert*, entre outros (BARBOZA, 2001, VOLTOLINI, 2010).

De acordo com Santiago (2007), a norma ISO 14024 recomenda a consideração da análise do ciclo de vida (ACV) para a definição dos critérios de avaliação dos produtos e seus valores limite, devendo haver múltiplos critérios identificados e padronizados, ao menos os mais relevantes nas fases do ciclo de vida, facilitando assim a avaliação e reduzindo os custos de certificação.

- **Rotulagem Tipo III:** orientada pela norma ISO 14025, a rotulagem tipo III lista critérios de impactos ambientais para os produtos por meio da avaliação do ciclo de vida (ACV). As categorias de informação apresentadas não têm por objetivo julgar os produtos, e sim expô-los à apreciação dos consumidores (não sendo estabelecidos valores limite). Os procedimentos são da responsabilidade de entidades não diretamente vinculadas à fabricação ou comercialização do produto, a exemplo de associações ligadas a um determinado setor industrial ou organismos independentes (BARBOZA, 2001; SANTIAGO, 2007; VOLTOLINI, 2010).

Exemplo de rótulo tipo III: "Algodão orgânico" (BARBOZA, 2001). No Brasil, esta rotulagem ainda está limitada à norma original, não contando com uma norma correspondente nacional, como nos casos da rotulagem tipo I e II.



#### 2.2.4 Avaliação de Desempenho Ambiental

Partindo da premissa de que não se pode controlar parâmetros sem mensurá-los, a necessidade da medição do desempenho ambiental, de acordo com Cavenaghi et al. (2009), vem sendo cada vez mais abordada no setor industrial como resposta às crescentes pressões legais e públicas, relativas às questões ambientais. Desempenho ambiental é definido pela norma ABNT NBR ISO 14001:2004 como sendo: “resultados mensuráveis da gestão de uma organização sobre seus aspectos ambientais” (ABNT, 2004b). Já o termo Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA) é definido pela norma ABNT NBR ISO 14031:2004 como sendo:

Processo para facilitar as decisões gerenciais com relação ao desempenho ambiental de uma organização e que compreende a seleção de indicadores, a coleta e análise de dados, a avaliação da informação em comparação com critérios de desempenho ambiental, os relatórios e informes, as análises críticas periódicas e as melhorias deste processo (ABNT, 2004a).

Uma ampla revisão dos instrumentos e métodos disponíveis para a Avaliação do Desempenho Ambiental veio a mostrar que todos deixam a critério das empresas a definição do que poderia representar, para elas, um caminho adequado ao autoconhecimento e à comunicação dos resultados (FRANK e GROTHE-SENF, 2006). Dessa forma,

Como não existem parâmetros especificados, o resultado da avaliação do desempenho ambiental não esclarece muito em termos de um nível “bom” ou “ruim” para o ambiente global e na comparação com resultados de outras empresas. O desempenho é medido pelo grau de alcance dos próprios objetivos, não sendo, portanto, comparável (FRANK e GROTHE-SENF, 2006).

Buscando superar essas limitações, o desempenho ambiental poderia ser definido como o cumprimento de objetivos globais, nacionais e específicos da empresa, no sentido do desenvolvimento sustentável (FRANK e GROTHE-SENF, 2006).

A importância da avaliação de desempenho ambiental e seus indicadores pertinentes, portanto, tornam-se objeto de considerável atenção para empresários e

pesquisadores, haja vista que, em nível micro, os indicadores de desempenho ambiental registram a performance da empresa com relação ao meio ambiente e, em nível macro, condicionam as oportunidades de êxito do desenvolvimento sustentável global (OLIVEIRA, BORGES e JABBOUR, 2005).

Dentre os modelos de avaliação ambiental existentes, aplicáveis ao setor industrial, cabe citar alguns: GAIA - método de Gerenciamento de Aspectos e Impactos Ambientais (LERÍPIO, 2001); MECAIA - Modelo Econômico de Controle e Avaliação de Impactos Ambientais (KRAEMER, 2002); ACV - Análise do Ciclo de Vida (SETAC, 1998), também enfatizada no trabalho denominado Avaliação Ambiental de Processos Industriais (SANTOS, 2006); MAICAPI - Metodologia para Avaliação de Impactos e Custos Ambientais em Processos Industriais (SILVA; AMARAL, 2006, 2009); MAASPI - Modelo para Avaliação Ambiental em Sistemas Produtivos Industriais (SILVA e AMARAL, 2011) e também o trabalho denominado Modelo para Avaliação e Apoio ao Gerenciamento de Resíduos Sólidos de Indústrias (COELHO, 2011), com ênfase na metodologia de Produção mais Limpa.

Contudo, essas ferramentas de análise acabam, em alguns casos, inserindo as questões relacionadas ao meio ambiente dentro de um contexto muito amplo, prejudicando análises mais focadas (a exemplo da Avaliação de Impactos Ambientais) e, em outros casos, por questões de recursos necessários e/ou complexidade para a implementação, vêm a inviabilizar sua aplicação em empresas de menor porte (SILVA e AMARAL, 2011).

Nesse contexto, destaca-se a importância da avaliação de desempenho como ferramenta facilitadora do processo de decisão em relação à gestão ambiental da organização. Os indicadores de ecoeficiência, por apresentarem parâmetros da eficiência do desempenho ambiental da empresa (OLIVEIRA, BORGES e JABBOUR, 2005), permitem a possibilidade de utilização de *benchmarks* nacionais e internacionais de boas práticas de sustentabilidade ambiental, voltados ao objeto de estudo (TAUCHEN e BRANDLI, 2006).

Nesse sentido, a FIESP/CIESP (2004) classifica em dois grupos os indicadores de desempenho ambiental na indústria: Indicadores de Desempenho Operacional (IDO) e Indicadores de Desempenho Gerencial (IDG).

Os Indicadores de Desempenho Operacional (IDO) relacionam-se diretamente com a:

Entrada de materiais (matéria-prima; recursos naturais, materiais processados, reciclados e/ou reutilizados);  
Fornecimento de insumos para as operações da indústria;  
Projeto, instalação, operação (incluindo situações de emergência e operações não rotineiras) e manutenção das instalações físicas e dos equipamentos;  
Saídas (principais, produtos, subprodutos, materiais reciclados e reutilizados), serviços, resíduos (sólidos, líquidos, perigosos, não perigosos, recicláveis, reutilizáveis), e emissões (emissões para a atmosfera, efluentes para água e solo, ruído) resultantes das operações;  
Distribuição das Saídas resultantes das operações (FIESP/CIESP, 2004).

Já os Indicadores de Desempenho Gerencial (IDG) incluem atendimento aos requisitos legais, utilização eficiente dos recursos, treinamento de equipes e investimento em programas ambientais (FIESP/CIESP, 2004).

Cabe salientar que a norma ABNT NBR 14031:2004 (Gestão Ambiental – Avaliação de Desempenho Ambiental – Diretrizes) orienta o foco dos indicadores de ecoeficiência (ou de Produção mais Limpa) para o estabelecimento de Indicadores de Desempenho Operacional (IDO) abrangendo as seguintes áreas: energia, fornecimento e distribuição, instalações físicas e equipamentos, materiais, produtos, resíduos e emissões, serviços de apoio às organizações e serviços fornecidos pela organização (FEAM, 2009).

Destaca-se, portanto, a importância da eleição dos indicadores mais adequados, atentando também, entre outras considerações, aos critérios de escolha e as formas de obtenção de cada indicador/índice para que a Avaliação do Desempenho Ambiental possa cumprir satisfatoriamente os objetivos pretendidos.

Nessa conjuntura, considerando as dificuldades inerentes ao estabelecimento de formas de agregação de aspectos difusos – como os que envolvem a gestão de resíduos sólidos industriais – esta pesquisa optou pela utilização do conceito de lógica *fuzzy* como critério para a escolha da ferramenta para a Avaliação de Desempenho Ambiental. Essa escolha se justifica pelo fato da lógica *fuzzy* ter aplicabilidade bastante apropriada ao trato de variáveis que envolvem incerteza e subjetividade, menor precisão e maior significância, de forma a reproduzir o “raciocínio aproximado”, intrínseco ao pensamento humano (CAMPOS FILHO, 2004; GANGA, CARPINETTI, POLITANO, 2011; INFORM, 2014a).

### 2.3 LÓGICA FUZZY

Aristóteles (filósofo grego que viveu entre 384 e 322 antes de Cristo) foi o fundador da ciência da lógica. Em sua teoria, foi estabelecido um conjunto de regras rígidas para que conclusões pudessem ser aceitas como logicamente válidas, baseando-se em premissas e conclusões. Às afirmações eram atribuídos valores, visando classificá-las (numa linha de raciocínio bivalente) como verdadeiras ou falsas, não cabendo, portanto, a possibilidade de serem parcialmente verdadeiras e parcialmente falsas ao mesmo tempo (MALUTTA, 2004; CAMPOS FILHO, 2004; SILVA FILHO, 2006; CRUZ, 2011).

Seguindo essa linha de raciocínio (bivalente), em 1847, George Boole (matemático e filósofo britânico), atribuiu o valor numérico 1 (um) para premissas verdadeiras e 0 (zero) para premissas falsas (no livro "*The Mathematical Analysis of Logic*"). Com operações fundamentadas nesses dois valores, Boole criou a álgebra booleana, vindo a influenciar praticamente toda a lógica tradicional de controle e/ou computação (CAMPOS FILHO, 2004).

A influência da lógica aristotélica também pode ser percebida na nossa forma de pensar, tornando-se quase como uma "lei do raciocínio", trazendo reflexos em nossas tradições e comportamento ético, favorecendo a exclusão dos "meios-termos" – por exemplo: a pessoa é confiável ou não confiável, é amiga ou inimiga (CAMPOS FILHO, 2004).

Entretanto, "muitas das experiências humanas não podem ser classificadas simplesmente como verdadeiras ou falsas, sim ou não, branco ou preto. Um sim ou um não como resposta a estas questões é, na maioria das vezes, incompleto" (MALUTTA, 2004, p.74).

Nesse sentido, ainda no século XIV, Willian de Ockham (frade franciscano e filósofo inglês), utilizou em sua obra uma lógica baseada em informações que não eram "totalmente verdadeiras, nem totalmente falsas", entendendo que na natureza nem tudo se comporta de forma dicotômica como verdadeiro ou falso (CAMPOS FILHO, 2004; SILVA FILHO, 2006).

De fato, entre o mundo real e a nossa visão bivalente do mesmo existe um considerável descompasso. No mundo real, por exemplo, entre as cores preta e branca existe um número infinito de sombreamentos e graus de cinza (CAMPOS FILHO, 2004; MALUTTA, 2004).

Num diagnóstico médico, para que o profissional possa descrever qual a doença do paciente, existe a necessidade da contabilização de um número enorme de fatores diferentes, e por vezes até contraditórios. Em decisões judiciais, o júri e o juiz se veem envolvidos em uma situação de apreciação do quão culpado é o acusado. Evidencia-se, portanto que, no mundo real, tudo é uma questão de ponto de vista ou de graduação, ou seja, tudo depende das escolhas (CAMPOS FILHO, 2004; MALUTTA, 2004).

Dessa forma, é notório que, para muitas situações, a álgebra booleana apresenta-se como uma ferramenta incompleta, em razão da sua característica exclusivamente bivalente, havendo, portanto, a necessidade da utilização de uma ferramenta que seja capaz de considerar as nuances e subjetividades inerentes a cada caso. Nesse contexto, a lógica *fuzzy* se destaca como uma das principais ferramentas aplicáveis.

### 2.3.1 Conjuntos *fuzzy*

Concebida por Lofti Asker Zadeh em 1965, a lógica *fuzzy*<sup>3</sup> teve como base as considerações do lógico polonês Jan Lukasiewicz – que formulou, em 1920, os princípios da lógica multivalor, na qual as afirmações podem assumir um valor fracionário de verdade entre 0 (totalmente falso) e 1 (totalmente verdadeiro) – e do filósofo Max Black – que, em 1937, aplicou lógica multivalor a conjuntos de objetos e gerou a primeira série de curvas “indistintas”, vindo a batizar esse tipo de conjunto como “vago” – proporcionando uma forma para se trabalhar com valores e categorias imprecisas (ROONEY, 2012).

Uma parte da matemática dos conjuntos convencionais se aplica a conjuntos *fuzzy*. Nos conjuntos *fuzzy*, um objeto pode ser membro de dois conjuntos complementares, enquanto que na teoria convencional dos conjuntos isso é impossível. A única restrição é que seu valor total de participação, considerando os dois conjuntos, deve ter 1 como resultado – por exemplo: 0,2 falso e 0,8 verdadeiro (ROONEY, 2012). Ou seja, o objeto tem grau de pertinência de 0,2 ao conjunto “falso” e 0,8 ao conjunto “verdadeiro”. A Figura 4 ilustra esse exemplo.

---

<sup>3</sup> Lógica *fuzzy*: apropriada para lidar com situações de incerteza e subjetividade; menos precisão, mais significância; “raciocínio aproximado” (CAMPOS FILHO, 2004; GANGA, CARPINETTI, POLITANO, 2011; INFORM, 2014a).

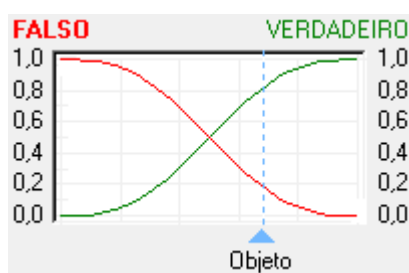


Figura 4 - Exemplo de graus de pertinência de um objeto a dois conjuntos (pertinência de 0,2 ao conjunto “falso” e 0,8 ao conjunto “verdadeiro”)

Fonte: Elaborado pelo autor

Cabe ressaltar que os graus de pertinência de valor 1 ao conjunto “falso” ou 1 ao conjunto “verdadeiro” são as únicas situações em que o objeto considerado pertencerá a um só conjunto.

Tal qual nos conjuntos convencionais, os conjuntos *fuzzy* possuem propriedades que regem as relações entre seus conjuntos.

Considerando os conjuntos  $\tilde{A}$ ,  $\tilde{B}$  e  $\tilde{C}$  como conjuntos *fuzzy* do universo de discurso  $U$ , seguem algumas propriedades dos conjuntos *fuzzy* (CAMPOS FILHO, 2004):

- Propriedade comutativa:  $\tilde{A} \cup \tilde{B} = \tilde{B} \cup \tilde{A}$  e  $\tilde{A} \cap \tilde{B} = \tilde{B} \cap \tilde{A}$ ;
- Propriedade associativa:  
 $(\tilde{A} \cup \tilde{B}) \cup \tilde{C} = \tilde{A} \cup (\tilde{B} \cup \tilde{C})$  e  $(\tilde{A} \cap \tilde{B}) \cap \tilde{C} = \tilde{A} \cap (\tilde{B} \cap \tilde{C})$ ;
- Idempotência:  $\tilde{A} \cup \tilde{A} = \tilde{A}$  e  $\tilde{A} \cap \tilde{A} = \tilde{A}$ ;
- Distributividade em relação à união:  $\tilde{A} \cup (\tilde{B} \cap \tilde{C}) = (\tilde{A} \cup \tilde{B}) \cap (\tilde{A} \cup \tilde{C})$ ;
- Distributividade em relação à intersecção:  $\tilde{A} \cap (\tilde{B} \cup \tilde{C}) = (\tilde{A} \cap \tilde{B}) \cup (\tilde{A} \cap \tilde{C})$ ;
- Conjunto *fuzzy* e seu complemento:  $\tilde{A} \cup \neg\tilde{A} = U$  e  $\tilde{A} \cap \neg\tilde{A} = \emptyset$ ;
- Conjunto *fuzzy* e o conjunto nulo:  $\tilde{A} \cup \emptyset = \tilde{A}$  e  $\tilde{A} \cap \emptyset = \emptyset$ ;
- Conjunto *fuzzy* e o conjunto universal:  $\tilde{A} \cup U = U$  e  $\tilde{A} \cap U = \tilde{A}$ ;
- Involução:  $\neg(\neg\tilde{A}) = \tilde{A}$ ;
- Teorema de Morgan:  $\neg(\tilde{A} \cup \tilde{B}) = \neg\tilde{A} \cap \neg\tilde{B}$  e  $\neg(\tilde{A} \cap \tilde{B}) = \neg\tilde{A} \cup \neg\tilde{B}$ .

A utilização de variáveis linguísticas é outra característica da lógica *fuzzy*. De acordo com Ganga, Carpinetti e Politano (2011), variáveis linguísticas são valores expressos qualitativamente por termos linguísticos (que fornecem um conceito às variáveis) e quantitativamente por uma função de pertinência.

O desempenho ambiental da reutilização de resíduos, por exemplo, é uma variável linguística utilizada nesta Tese cujos valores – ou termos linguísticos – são: “péssimo”, “ruim”, “regular”, “bom” e “ótimo”. Todavia, no exemplo da Figura 4, foram utilizados apenas dois termos linguísticos: “falso” e “verdadeiro”.

### 2.3.2 Cálculo *fuzzy*

Basicamente, o cálculo *fuzzy* pode ser dividido em três fases genéricas: fuzzificação, inferência das regras *fuzzy* e defuzzificação (INFORM, 2014a).

#### 2.3.2.1 Fuzzificação

A fuzzificação é o primeiro passo para a determinação de um sistema *fuzzy* e deve ser realizada para cada variável de entrada (INFORM, 2014a).

Valores *crisp*<sup>4</sup> de entrada são traduzidos em conceitos linguísticos, representados por conjuntos *fuzzy*. Estes conceitos são chamados de variáveis linguísticas. Graus de pertinência para todos os valores de entrada são atribuídos (INFORM, 2014a).

Cabe salientar que a colaboração de especialistas – na área do fenômeno a ser modelado – para a construção das funções de pertinência é de fundamental importância para a descrição das entradas (GANGA; CARPINETTI; POLITANO, 2011).

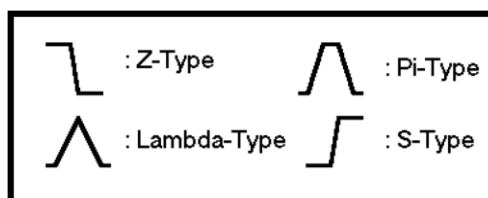
O grau em que valores *crisp* pertencem a um determinado conjunto *fuzzy* é representado por uma função conhecida como função de pertinência. Ela pode ser numérica, gráfica ou tabulada, e atribui valores de pertinência *fuzzy* aos valores discretos de uma variável. Normalmente, o intervalo numérico de todos os possíveis valores reais que uma variável específica pode assumir – denominado universo do discurso – é representado no eixo horizontal da função, e os graus de pertinência no eixo vertical (GANGA; CARPINETTI; POLITANO, 2011; INFORM, 2014a).

Embora as publicações científicas tenham sugerido diversos tipos de funções de pertinência para a lógica *fuzzy*, funções de pertinência padrão são

---

<sup>4</sup> Valor *crisp*: valor numérico bem definido; limite claro e definido; variável discreta (CAMPOS FILHO, 2004; GANGA, CARPINETTI, POLITANO, 2011; INFORM, 2014a).

utilizadas em aplicações mais práticas. Os tipos de funções de pertinência padrão são: Z, Lambda, Pi e S (INFORM, 2010). A Figura 5 ilustra os tipos de funções de pertinência padrão.



**Figura 5 - Funções de pertinência padrão: Z, Lambda, Pi e S**  
**Fonte: INFORM (2010)**

### 2.3.2.2 Inferência das regras *fuzzy*

Basicamente, a inferência das regras *fuzzy* é um cálculo que consiste das seguintes etapas: agregação, composição e agregação de resultado.

A maioria dos sistemas baseados em lógica difusa usa regras de produção para representar as relações entre as variáveis linguísticas e derivar ações das entradas. Regras de produção consistem em uma pré-condição “SE” e uma consequência “ENTÃO”. A condição “SE” pode consistir em mais do que uma condição prévia ligadas por junções linguísticas como “E” e “OU” (INFORM, 2010).

As regras de produção – geralmente estabelecidas a partir da opinião de especialistas na área envolvida – relacionam logicamente as informações que formam a base de conhecimentos do sistema *fuzzy* (GANGA; CARPINETTI; POLITANO, 2011). Os Apêndices F, G e H constituem exemplos de regras de produção utilizadas nesta Tese, agrupadas em blocos de regras.

A primeira etapa da inferência *fuzzy*, denominada “agregação”, determina o grau em que a condição completa “SE” da regra é cumprida. Operadores *fuzzy* especiais são usados para agregar os graus de suporte<sup>5</sup> das várias condições prévias. São exemplos de operadores para agregação: Min-Max, Min-Avg, GAMMA (INFORM, 2010).

O operador *fuzzy* mínimo (Min) promove a intersecção dos graus de pertinência de entrada, ou seja, considera o menor valor; já o operador *fuzzy*

<sup>5</sup> Grau de suporte (Degree of Support – DoS): grau de cumprimento de uma regra disparada (INFORM, 2010)



máximo (Max) promove a união dos graus de pertinência de entrada, considerando, portanto, o maior valor (ISLAM; METTERNICHT, 2005, INFORM, 2010).

O produto algébrico *fuzzy*  $[\prod \mu_i]$  é diferente do operador *fuzzy* mínimo pois resulta num valor de pertinência de saída menor ou igual ao menor valor de pertinência de entrada, devido a multiplicação de valores menores que 1; e a soma algébrica *fuzzy*  $[1 - \prod(1 - \mu_i)]$  é diferente do operador *fuzzy* máximo pois resulta num valor de pertinência de saída maior ou igual ao maior valor de pertinência de entrada (ISLAM; METTERNICHT, 2005).

O operador *fuzzy* GAMMA é definido em termos de produto algébrico *fuzzy* e soma algébrica *fuzzy*. A agregação dos graus de pertinência das pré-condições (SE) de cada regra se procede da seguinte maneira:  $(\text{soma algébrica fuzzy})^\gamma \cdot (\text{produto algébrico fuzzy})^{1-\gamma}$ , em que  $\gamma$  é um parâmetro escolhido entre 0 e 1. Se  $\gamma = 0$  a combinação é a mesma que produto algébrico *fuzzy* e se  $\gamma = 1$  a combinação é a mesma que soma algébrica *fuzzy* (ISLAM; METTERNICHT, 2005, INFORM, 2010).

A utilização do operador *fuzzy* GAMMA permite, portanto, a obtenção de um valor de saída que considera a proporção desejada entre a tendência de minimização do produto algébrico *fuzzy* e a tendência de maximização da soma algébrica *fuzzy* (ISLAM; METTERNICHT, 2005).

A segunda etapa de cálculo para cada regra de produção, denominada “composição”, utiliza os graus de suporte das condições prévias “SE” para calcular o suporte das consequências “ENTÃO”. São exemplos de métodos de inferência para a etapa de composição: Max-Min e Max-PROD – nesses métodos, a consequência de uma regra é considerada igualmente tão verdadeira quanto a condição (INFORM, 2010).

Na terceira etapa de inferência *fuzzy*, denominada “agregação de resultado”, se mais de uma regra produz a mesma consequência, uma operação deve agregar os resultados dessas regras. A etapa de agregação de resultado determina o grau máximo de suporte para cada consequência. Ele será utilizado para todos os processamentos posteriores. Para a etapa de “agregação de resultado” são exemplos de operadores: Max e BSUM. Considerando os resultados referentes ao mesmo termo linguístico, o operador Max elege o maior grau de pertinência dentre os resultantes apresentados e o operador BSUM promove a soma desses valores (INFORM, 2010).

### 2.3.2.2.1 Máquina de inferência fuzzy

Máquina de inferência é a designação dada ao módulo que realiza o processamento *fuzzy* propriamente dito. Nesse módulo, por meio das técnicas de “raciocínio aproximado”, cada proposição *fuzzy* é traduzida matematicamente e os operadores matemáticos são escolhidos com o propósito de determinar a relação *fuzzy* que modela a base de regras. A máquina de inferência é imprescindível para o sucesso do sistema *fuzzy*, uma vez que fornece a saída a partir de cada entrada *fuzzy* e da relação definida pela base de regras (GANGA; CARPINETTI; POLITANO, 2011).

Dentre os métodos de inferência *fuzzy* existentes, destacam-se os métodos de Mamdani e de Takagi-Sugeno-Kang, que são comentados a seguir.

Método de inferência *fuzzy* de Mamdani: foi um dos primeiros sistemas de controle construído usando a teoria dos conjuntos *fuzzy* e é o mais comumente visto. Baseando-se num artigo de Lotfi Asker Zadeh, publicado em 1973 – sobre algoritmos difusos para sistemas complexos e processos de decisão – Ebrahim Mamdani propôs, em 1975, um sistema para controlar uma máquina a vapor e uma caldeira mista sintetizando um conjunto de regras de controle linguístico obtido a partir de experientes operadores humanos (MATHWORKS, 2014).

Vantagens do Método de Mamdani: é intuitivo, tem aceitação generalizada, é bem adequado a valores de entrada “humanos” (MATHWORKS, 2014).

Método de inferência *fuzzy* de Takagi-Sugeno-Kang: introduzido em 1985, é semelhante ao método de Mamdani em muitos aspectos. As duas primeiras partes do processo de inferência *fuzzy* – fuzzificando as entradas e aplicando os operadores *fuzzy* – são exatamente as mesmas. A principal diferença entre Mamdani e Sugeno é que as funções de pertinência de saída do método de Sugeno são linear ou constante.

Vantagens do Método de Sugeno: é computacionalmente eficiente, funciona bem com técnicas lineares (por exemplo, controle PID), funciona bem com otimização e técnicas adaptativas, tem garantida a continuidade da superfície de saída, é bem adequado à análise matemática (MATHWORKS, 2014).

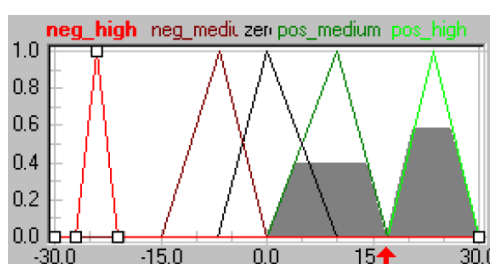
Mamdani *versus* Sugeno: por proporcionar uma representação mais compacta e eficiente computacionalmente do que o sistema Mamdani, o sistema Sugeno permite a utilização de técnicas adaptativas para a construção de modelos *fuzzy*, a exemplo da possibilidade de customização das funções de pertinência (MATHWORKS, 2014), favorecendo assim uma maior aproximação do sistema *fuzzy* ao comportamento real dos fenômenos que se deseja modelar.

### 2.3.2.3 Defuzzificação

Na defuzzificação, o resultado da inferência *fuzzy* é reconvertido de um conceito linguístico a um valor de saída *crisp* (INFORM, 2014a).

Os métodos mais conhecidos para a defuzzificação são o método do centro de área (*CoA*); o método dos centros máximos (*CoM*); e o método da média dos máximos (*MoM*) (GANGA, CARPINETTI; POLITANO, 2011).

Método do centro de área (*Center of Area – CoA*): é o método de defuzzificação mais utilizado em sistemas *fuzzy* (INFORM, 2010). Calcula uma saída *crisp* por meio do valor médio entre os pontos centrais das áreas nos termos linguísticos com graus de suporte, conforme ilustra a Figura 6.



**Figura 6 - Exemplo de defuzzificação pelo método do centro de área (CoA)**  
 Fonte: Adaptado de INFORM (2010)

Método do centro de máximos (*Center of Maximum – CoM*): calcula uma saída *crisp* por meio da média ponderada dos graus de suporte máximos dos termos linguísticos que compõem a variável linguística em questão (INFORM, 2010), conforme ilustra a Figura 7.

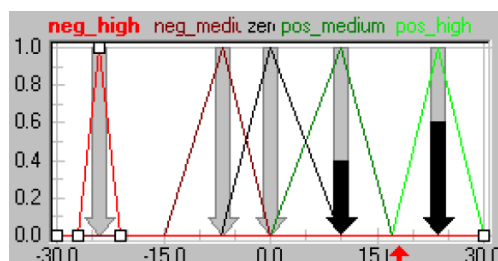


Figura 7 - Exemplo de defuzzificação pelo método do centro de máximos (*CoM*)  
Fonte: Adaptado de INFORM (2010)

Método da média dos máximos (*Mean of Maximum – MoM*): calcula uma saída *crisp* para a variável linguística em questão, apenas para o termo linguístico com o maior grau de suporte. Se o valor máximo não for único, calcula-se a média do intervalo de maximização (INFORM, 2010). A Figura 8 ilustra esse método.

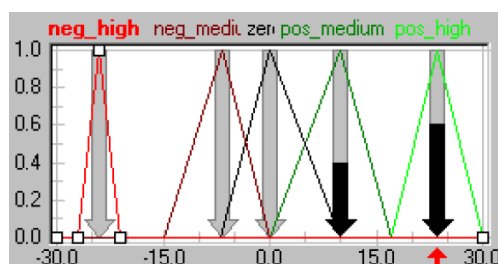


Figura 8 - Exemplo de defuzzificação pelo método da média dos máximos (*MoM*)  
Fonte: Adaptado de INFORM (2010)

### 2.3.3 Aplicações da lógica *fuzzy*

A lógica *fuzzy* aplica os conjuntos *fuzzy* em tomadas de decisão e programas computacionais. É utilizada em muitos sistemas de controle de engenharia, sistemas especializados, inteligência artificial e aplicações como reconhecimento de voz e *softwares* de processamento de imagem – buscando minimizar a intervenção humana necessária em um sistema e aproximar o julgamento humano (ROONEY, 2012).

Exemplos de aplicação da lógica *fuzzy*:

- Câmeras digitais: ajuste do foco e exposição correta da imagem, a partir da detecção dos níveis de luz e das bordas dos objetos que o fotógrafo provavelmente quer focalizar;

- Máquinas de lavar: determinação da quantidade de sabão, água, temperatura e tempo de lavagem mais apropriado, a partir da quantidade de roupa e do quão suja ela estiver;

- Medicina diagnóstica: avaliar a possibilidade de diferentes diagnósticos, a partir dos sintomas relatados ou monitorados em um paciente;

- Operação de trens (metrô de Sendai, no Japão): controle da aceleração, velocidade de cruzeiro e frenagem, considerando segurança, conforto, eficiência do combustível e precisão para parar nas plataformas das estações (ROONEY, 2012).

Envolvendo a área ambiental, também podem ser citados alguns trabalhos que fizeram uso da lógica *fuzzy*: Método para apoio à decisão na verificação da sustentabilidade de uma unidade de conservação, usando lógica *fuzzy* (CAMPOS FILHO, 2004); Método de apoio à tomada de decisão sobre a adequação de aterros sanitários utilizando a lógica *fuzzy* (MALUTTA, 2004); Desenvolvimento de um índice global para a avaliação do desempenho ambiental de sistemas de transporte de carga (CRUZ, 2011); Prognóstico de sustentabilidade como apoio à decisão no licenciamento ambiental - desenvolvimento de método utilizando dinâmica de sistemas, lógica *fuzzy* e *backcasting* (BOCLIN, 2014).

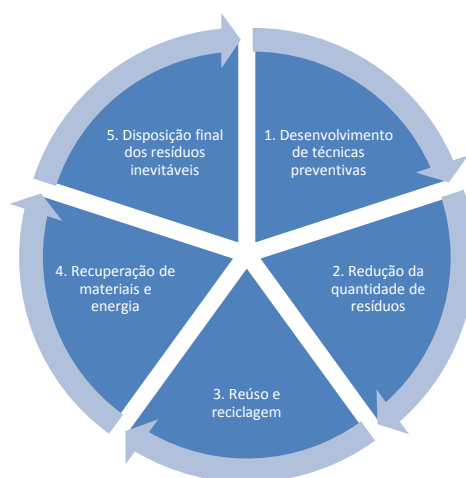
## 2.4 ALINHAMENTOS ESTRATÉGICOS

Os tópicos apresentados no marco teórico desta Tese reúnem assuntos de grande importância para a gestão de resíduos, sendo considerados pela pesquisa como elementos-base para a construção de modelos que busquem a Avaliação de Desempenho Ambiental desse tipo gestão de forma holística.

Por conseguinte, de modo a incrementar, com subsídios complementares, as relações entre os temas abordados, este tópico apresenta estes alinhamentos compilados em três unidades de análise: prevenção à poluição, visão holística da gestão de resíduos e Avaliação de Desempenho Ambiental por meio da lógica *fuzzy*.

### 2.4.1 Prevenção à poluição

Ao observar a hierarquia da gestão de resíduos, preconizada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, por exemplo, em seu artigo 9º, que destaca a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos, constata-se uma relação de alinhamento entre estas diretrizes com as já consolidadas estratégias de prevenção à poluição, conforme ilustra a Figura 9.



**Figura 9 - Estratégias para prevenção à poluição**  
**Fonte: Adaptado de Pearson (2011)**

Essa combinação favorável de medidas estratégicas em alinhamento com as questões de sustentabilidade pode ser aplicada, de forma lógica e encadeada, por meio da integração de práticas de Produção mais Limpa e de Controle “fim-de-tubo”.

As atitudes de P+L, abarcam três níveis hierárquicos de atuação: redução na fonte, reciclagem interna e externa. Por sua vez, as atitudes de Controle “fim-de-tubo”, contemplam desde o tratamento dos resíduos inevitáveis até a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Estes aspectos evidenciam-se como necessários e complementares entre si na seguinte sequência de prioridades: da Prevenção à poluição ao Controle “fim-de-tubo”.

A Figura 10 representa, de forma esquemática, as técnicas para redução da poluição enfatizando o sentido de aplicação, que segue uma escala do “muito desejável” ao “pouco desejável”, sob o ponto de vista ambiental posicionando, portanto, a P+L como uma ferramenta essencial para as estratégias de prevenção/redução à poluição.



**Figura 10 - Técnicas para redução da poluição**  
Fonte: Adaptado de LaGrega, Buckingham e Evans (1994)

Contudo, ainda existem alguns entraves que impedem a implantação da Produção mais Limpa de forma mais abrangente: de acordo com Moura et al. (2005), as maiores barreiras para a implantação da P+L, de um modo geral, acontecem em função da resistência à modificação; da compreensão errônea (ausência de informação sobre a técnica e a relevância oferecida ao ambiente natural); de empecilhos econômicos (alocação indevida dos custos ambientais e investimentos); de empecilhos técnicos (novas tecnologias) e também em função da não existência de políticas nacionais que ofereçam suporte às atividades de P+L.

Considerando essas dificuldades, em especial no tocante ao último quesito citado, cabe salientar que, nos países da América do Norte, com destaque aos Estados Unidos, essa estratégia preventiva é conhecida como *Pollution Prevention* (Prevenção da Poluição) também chamada de *PP (P2)*. Embora contenha os mesmos objetivos básicos de “reduzir ou eliminar os resíduos e poluentes em suas fontes de geração” (NPPC, 1995) e utilize princípios que se identificam com os propostos para a P+L pela UNIDO, o Programa *P2* norte-americano tem uma

diferença substancial: aprovado em 1990 pelo Congresso americano no *Pollution Prevention Act*, a prevenção à poluição tornou-se uma obrigação legal. Deste modo, a promoção da P2 nos EUA não é feita por ONGs, associações ou agências de fomento ou desenvolvimento científico e tecnológico, mas pela própria Agência de Proteção Ambiental Americana - *USEPA* (FEAM, 2009).

Portanto, uma das formas para melhor promover a aceitação e procura das empresas pela P+L é a incorporação desta ferramenta dentro das políticas públicas relacionadas à gestão ambiental das atividades produtivas (SILVA et. al, 2011).

Embora persistam certas dificuldades e resistência das empresas para a adoção da P+L, as políticas públicas podem contribuir para a mudança desse cenário. Nesse sentido, a Política Nacional de Resíduos Sólidos é grande incentivadora para a maior adoção da P+L nas atividades produtivas (SILVA et. al, 2011); haja vista a sinergia existente entre as Estratégias para prevenção à poluição (Figura 9), as Técnicas para redução da poluição (Figura 10), e a Hierarquia da gestão de resíduos preconizada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.

#### 2.4.2 Visão holística da gestão de resíduos

Torna-se necessário que as organizações atentem aos aspectos ambientais referentes aos produtos produzidos entendendo que resíduos podem ser gerados em todas as fases do ciclo de vida de um produto, não restringindo-se apenas ao gerenciamento dos resíduos oriundos dos processos fabris para a obtenção dos mesmos.

Considerando as empresas como sistemas abertos os quais, além de processar materiais (processamentos produtivos e de resíduos) e liberar materiais processados de volta ao meio (na forma de produtos, resíduos e rejeitos), também recebem materiais do meio (insumos) e devem ter ciência do desempenho ambiental de seus produtos durante e depois do seu consumo, pois, após isso, ocorre uma mudança de *status* de produto para resíduo. Dessa forma, a gestão de resíduos transfigura-se a um nível de interação – e de responsabilidade – muito mais amplo com o meio.

Nessa conjuntura, cabe enfatizar a importância dos assuntos abordados no marco teórico desta Tese, que contemplam todas as fases do ciclo de vida do



produto, explanando suas contribuições nas quatro situações supracitadas – envolvendo as atividades das empresas e as interações com o meio – na seguinte ordem cíclica de sucessão: i) recebimento de materiais do meio, ii) processamento de materiais para a obtenção do produto, iii) liberação de materiais processados de volta ao meio e iv) desempenho ambiental dos produtos durante e depois do seu consumo.

#### 2.4.2.1 Recebimento de materiais do meio

O recebimento de materiais do meio traduz-se na aquisição de insumos para utilização nos processos fabris que concebem os produtos. Essas aquisições podem advir de terceiros e a responsabilidade ambiental acerca das ações dessas organizações, de acordo com a **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, deve ser compartilhada com a empresa aquisitora, ou seja, a escolha dos fornecedores pode ter influência positiva ou negativa no desempenho ambiental de seus contratantes.

Portanto, faz-se necessário constatar o comprometimento dos fornecedores quanto ao meio ambiente, com especial atenção ao tema dos resíduos industriais. Para isso, esta pesquisa sugere como indicadores desse comprometimento a certificação **ISO 14001** dessas empresas - por englobar a gestão de resíduos em seu conteúdo - e as **rotulagens ambientais** dos insumos produzidos por elas - por disponibilizar informações de forma a permitir intercomparações possibilitando a tomada de decisão em prol da escolha dos insumos menos impactantes ao meio ambiente.

De maneira complementar, no tocante ao recebimento de materiais do meio, também devem ser consideradas as ações da própria empresa fabricante de produtos quanto à **logística reversa** dos seus produtos pós-consumo, de modo a oportunizar uma sistematização para a destinação mais apropriada desses resíduos.

#### 2.4.2.2 Processamento de materiais para a obtenção do produto

O processamento de materiais – recebidos do meio – para a obtenção do produto é contemplado no marco teórico desta Tese pelos conceitos de **Produção mais Limpa** que, conforme exposto no tópico 2.4.1, quando associados às **técnicas**

**de controle fim-de-tubo** abarcam as já consolidadas **estratégias para prevenção à poluição**, em consonância com preceitos da **Política Nacional de Resíduos Sólidos** em seu artigo 9º, que estabelece uma hierarquia para a gestão de resíduos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Por sua abordagem preventiva à geração de resíduos (buscando prioritariamente a redução nas fontes geradoras) a P+L traz enfoque especial aos processos produtivos de uma organização, tendo como um de seus pontos mais fortes a análise técnica, ambiental e econômica vinculada à detecção das oportunidades de melhoria, fomentando assim o desenvolvimento sustentável e configurando-se, portanto, como uma importante ferramenta de apoio à Gestão ambiental das organizações e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (FAGUNDES, 2010).

Nesse contexto, cabe exaltar que a adoção de medidas baseadas nos conceitos da Produção mais Limpa tem efeito sinérgico à melhoria do desempenho ambiental das organizações, que caminham no sentido do desenvolvimento sustentável por meio da adoção de processos ecoeficientes (BERTÉLI e PESSIN, 2009).

#### 2.4.2.3 Liberação de materiais processados de volta ao meio

A liberação de materiais processados de volta ao meio reflete as atitudes ambientais das empresas quanto ao recebimento de materiais do meio (tópico 2.4.2.1) e o processamento desses materiais para a obtenção do produto (tópico 2.4.2.2), pois esses materiais são liberados na forma de produtos, resíduos e/ou rejeitos.

A eficiência das atitudes ambientais das empresas é que determina quanto dos insumos recebidos é convertido em produtos, em resíduos e em rejeitos, podendo estender-se também à análises de cunho qualitativo envolvendo, por exemplo, os níveis de periculosidade dos materiais liberados após esses processamentos industriais.

Portanto, torna-se desejável: a) que todo insumo seja convertido em produto; b) na impossibilidade disso, que todo resíduo possa ser reutilizado e/ou reciclado e

c) que todo rejeito seja classificado como inerte (classe II-B) antes de sua disposição final ambientalmente adequada.

#### 2.4.2.4 Desempenho ambiental dos produtos durante e pós-consumo

O desempenho ambiental dos produtos durante e depois do consumo é outro fator determinante para as considerações acerca dos materiais liberados de volta ao meio, pois este desempenho repercute as considerações ambientais previstas no projeto dos mesmos por meio de ferramentas apropriadas – a exemplo do ***Ecodesign***.

Cabe salientar que a **integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos** traz reflexos positivos a todo o ciclo de vida do produto. Dentre eles, estão os princípios de Redução do impacto de uso, Otimização do tempo de vida útil e Otimização do fim da vida útil. Estes benefícios adicionais envolvem as atividades das empresas – aqui exemplificadas como sistemas abertos que interagem com o meio, recebendo, processando e liberando materiais. Citam-se exemplos como o Desenvolvimento de novos conceitos, Seleção de materiais de baixo impacto, Redução de materiais, Otimização das técnicas de produção e Otimização dos sistemas de transporte, constituindo-se como elementos indispensáveis de apoio à gestão de resíduos.

#### 2.4.3 Avaliação de Desempenho Ambiental por meio da lógica *fuzzy*

Conforme exposto no marco teórico desta Tese, a **Avaliação de Desempenho Ambiental** tem como propósito mensurar o atendimento a objetivos definidos – dentro dessa área temática – por meio da utilização de indicadores.

Nesse sentido, esta pesquisa desperta a necessidade da criação de indicadores que contemplem uma visão mais ampla da gestão de resíduos, envolvendo insumos, processos produtivos e produtos produzidos.

Considerando os aspectos que abrangem a gestão de resíduos sólidos industriais e o caráter difuso que os permeiam, optou-se pela utilização do conceito de **lógica fuzzy** como critério para a escolha da ferramenta para a avaliação de desempenho.

Ao utilizar modos de raciocínio aproximados, ao invés de exatos, a lógica *fuzzy* reporta muito mais informações quando comparada à lógica clássica, pois permite a descrição de um determinado fato com maior riqueza de detalhes – devido às gradações apresentadas – favorecendo menor perda de informações e maior coerência com a realidade em questão. Além disso, viabiliza a solução de problemas até então intratáveis por técnicas clássicas, pois permite redução da complexidade (MALUTTA, 2004). A lógica *fuzzy* melhora o projeto do sistema convencional ao fazer uso de uma descrição linguística autoexplicativa da estratégia de controle, contornando a necessidade de modelagem matemática rigorosa (INFORM, 2014).

A lógica *fuzzy* é um conceito matemático moderno utilizado, por exemplo, em inteligência artificial, redes neurais, automação, e principalmente em apoio à decisão quando as variáveis não são discretas, qualificando-a, portanto, como opção fortemente elegível para a Avaliação de Desempenho Ambiental pretendida por esta pesquisa.

### 3 DETALHAMENTO DA PESQUISA

Para atender aos objetivos propostos pela presente pesquisa foram desenvolvidas atividades na seguinte ordem de sucessão:

- (i) Levantamento bibliográfico para a elaboração da modelagem *fuzzy* e avaliação de desempenho ambiental do gerenciamento de resíduos sólidos industriais;
- (ii) Compreensão da delimitação espacial e temporal desta modelagem;
- (iii) Definição do escopo do modelo e elaboração da sua ontologia, premissas e desdobramentos em consonância com as orientações recebidas no momento da qualificação desta Tese;
- (iv) Seleção e criação de indicadores e índices para a composição da modelagem *fuzzy*;
- (v) Validação dos índices por meio da aplicação de questionário elaborado pelo pesquisador;
- (vi) Utilização do método Delphi para compilar as opiniões dos especialistas respondentes quanto à influência das variáveis componentes dos índices;
- (vii) Refinamento dos resultados obtidos para a geração dos blocos de regras dos índices do questionário;
- (viii) Modelagem do Índice de Desempenho Ambiental da Gestão de Resíduos Sólidos Industriais (IDEA PNRS+L) no *software fuzzyTECH*<sup>®</sup>;
- (ix) Simulações e testes do modelo;
- (x) Aplicação do IDEA PNRS+L fazendo uso de dados fornecidos por uma indústria e análise dos resultados.

#### 3.1 INSTRUMENTOS DE PESQUISA E ANÁLISE

Com o intuito de conferir maior credibilidade aos índices de desempenho ambiental empregados no modelo IDEA PNRS+L, foi elaborado um instrumento de pesquisa na forma de questionário (vide Apêndice B) constituído por dez perguntas

sobre geração, aproveitamento, disposição final e gestão de resíduos industriais. O instrumento visou coletar a opinião de especialistas na área ambiental quanto à importância dos itens componentes de índices de desempenho ambiental.

Para a análise, uma escala do tipo Likert foi utilizada com nove categorias, combinando a direção e a intensidade das respostas, tendo no intervalo variações de escolha limitadas pela importância “nula” em um extremo e a importância “alta” em outro. Há casos em que o uso deste recurso metodológico reduz a confiabilidade e a validação dos resultados, e demandam novas pesquisas. Existindo ou não uma distribuição aleatória das respostas na escala de mensuração, a escala tipo Likert permite a agregação de outros métodos complementares que ampliam a análise (VIEIRA; DALMORO, 2008).

Com a intenção de avançar e explorar os dados da Tese de outras formas, tendo em vista o público respondente e o escopo da pesquisa, buscou-se na literatura estudos de caso ilustrativos os quais permitiram conhecer o método Delphi. Este pode ser usado de modo associativo com a escala Likert, com foco na convergência de dados qualitativos, e na redução da dispersão das respostas.

Em linhas gerais, no método Delphi, a consulta deve acontecer em um grupo selecionado de especialistas que tenha afinidade com os conteúdos do tema de pesquisa. Depois de organizado o questionário, ele é endereçado individualmente aos respondentes que retornam suas respostas para o pesquisador. Este faz a avaliação dos dados e conforme os resultados, reenvia para os respondentes com a finalidade de diminuir a dispersão das respostas. Este processo repete-se quantas vezes forem necessárias até que se obtenha a convergência desejada (WHIGHT e GIOVINAZZO, 2000; CANDIDO et al., 2007).

Ao longo desse processo obrigatório, devem ser respeitados três requisitos básicos: o anonimato dos respondentes, a representação estatística da distribuição dos resultados obtidos e o *feedback* das respostas do grupo para reavaliação na(s) rodada(s) seguinte(s) (MARTINO, 1993; WHIGHT e GIOVINAZZO, 2000; LINSTONE e TUROFF, 2002).

Esta técnica, apesar do empenho demandado pelos respondentes, possibilita chegar mais rapidamente a um consenso coletivo de opiniões, o qual é mais representativo do que as opiniões individualizadas. Outra vantagem do método Delphi remete à ausência de argumentações entre os especialistas como ocorre em situações presenciais. As tendências da presença de opiniões líderes podem

predominar sobre as demais, interferindo nos resultados coletivos (GIOVINAZZO, 2001).

### 3.1.1 Aplicação e resultados do instrumento de pesquisa

**Primeira rodada do questionário** – ocorrida entre setembro e outubro de 2014, foram criteriosamente selecionados 32 especialistas na área ambiental, dos quais 24 deles responderam os questionários (75%). Dentre os respondentes, foram 14 pesquisadores (12 doutores e dois mestres), oito gestores industriais (dentre eles, um mestre e um doutor) e dois representantes de órgãos ambientais (sendo um deles mestre). O grau de instrução e os setores de atuação dos especialistas favorecem a credibilidade das opiniões prestadas.

**Segunda rodada do questionário** – foram reenviados os questionários para os 24 respondentes entre novembro e dezembro de 2014 sendo solicitada uma reavaliação. Neste questionário foram registrados pelo pesquisador os percentuais de resposta do grupo para cada questão, a fim de que os respondentes pudessem escolher entre manter a mesma posição assumida primeiramente ou se reposicionar frente aos percentuais de resposta apresentados.

Do total de questionários enviados 22 foram respondidos (91,7%), contendo a opinião de 14 pesquisadores (12 doutores e dois mestres), seis gestores industriais (dentre eles, um doutor) e dois representantes de órgãos ambientais (sendo um deles mestre).

Quanto aos resultados obtidos, em relação ao primeiro questionário enviado, ocorreu uma redução significativa na dispersão das respostas. Dos 22 índices de desempenho ambiental, distribuídos nas 10 questões do questionário, em apenas dois deles a dispersão das respostas se manteve igual a do primeiro questionário. Nas demais (20 respostas) houve uma redução da dispersão das opiniões que variou entre 25% e 57%. Conseqüentemente, houve um maior alinhamento das opiniões dos especialistas consultados. A menção deste resultado da pesquisa valida o pressuposto fundamental do método Delphi, de composição de concordâncias para um conjunto de opiniões.

### 3.1.2 Refinamento dos resultados obtidos

A aplicação do método Delphi agrega aos resultados mais qualidade e confiabilidade devido à possibilidade de reavaliação da opinião de cada especialista frente às opiniões dos demais participantes. Assim sendo, na pesquisa de campo da Tese, as respostas compiladas entre as nove posições disponíveis na escala do tipo Likert sintetizaram, de maneira mais consistente, as opiniões do grupo de respondentes para cada item do questionário.

Fazendo uso dos resultados obtidos nas respostas da segunda rodada do questionário por meio do método Delphi, observou-se que a influência de cada variável que compõe cada índice é definida por uma das nove posições disponíveis na respectiva escala do tipo Likert. Estas posições foram consideradas definidas para efeitos de análise final, de modo que houvesse a convergência desejada para a maioria das respostas.

Dependendo da finalidade almejada por uma pesquisa, a utilização dos resultados pode não ser a mais apropriada. Cabe salientar que, nesse método, em não havendo consenso de 100% dos respondentes nas respostas, as opiniões que divergem da maioria são descartadas. No entanto, para a aplicação na ferramenta *fuzzy* utilizada nesta pesquisa para os resultados das opiniões do grupo, torna-se oportuno considerar todas as opiniões compiladas na escala do tipo Likert, mesmo as de menor expressão, devido à possibilidade delas influenciarem – em maior ou menor grau – no resultado final da pesquisa, independente do número de respondentes.

A determinação da influência ou importância de cada variável componente é fundamental para embasar a geração dos blocos de regras dos índices do questionário com mais qualidade. Portanto, tornou-se desejável uma consideração mais abrangente das opiniões acerca de cada variável não se limitando estritamente à opinião da maioria. A intenção foi abranger todas as nuances dos posicionamentos do grupo de respondentes, para que os blocos de regras fossem concebidos de maneira mais afinada.

Para isso, buscou-se na literatura maneiras de obtenção de valores mais precisos para cada variável, que considerassem as opiniões de todos os respondentes e chegou-se ao cálculo do Ranking Médio (RM), proposto por Oliveira (2005). Nesse método de análise são atribuídos valores unitários crescentes para



cada posição da escala de Likert e calcula-se a média ponderada entre esses valores e os respectivos resultados da pesquisa. O Quadro 1 apresenta um exemplo desse cálculo.

| Exemplo de cálculo do Ranking Médio (RM) utilizado na pesquisa da Tese |   |   |   |   |   |   |   |   |   |        |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|
| Questões   | Ponderações atribuídas e Frequências de resposta              |   |   |   |   |   |   |   |   | R<br>M |
|  | Qual a importância do Índice "A" na composição do Índice "C"? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |        |

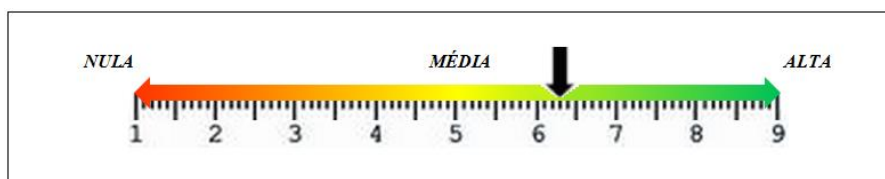
$$\text{Média ponderada} = (2 \times 5) + (4 \times 6) + (3 \times 7) + (1 \times 8) = 63$$

$$\text{Logo RM} = 63 / (2+4+3+1) = 6,3$$

**Quadro 1- Exemplo de cálculo do Ranking Médio (RM)**

Fonte: Adaptado de Oliveira (2005)

Nesse exemplo, o valor do RM obtido na escala do tipo Likert com nove posições é então transferido para uma escala graduada que abrange o valor mínimo "um" (importância nula) e o valor máximo "nove" (importância alta), conforme apresenta a Figura 11.



**Figura 11 - Posicionamento do cursor na escala de importância de um índice**

Fonte: Elaborado pelo autor.

O posicionamento do cursor é então reproduzido – obedecendo a mesma proporção com a escala graduada exemplificada na Figura 11 – para o seu respectivo índice, conforme apresenta o Quadro 2.

| Exemplo ilustrativo da influência das variáveis que compõem um índice |                 |
|---|-----------------|
| <i>Graus de influência dos índices "A" e "B" sobre o Índice "C":</i>  | NULA MÉDIA ALTA |
| Índice de Desempenho Ambiental "A"                                    | ↑               |
| Índice de Desempenho Ambiental "B"                                    | ↑               |

**Quadro 2 - Exemplo ilustrativo da influência das variáveis que compõem um índice**

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados deste tratamento feito com os dados, conforme o exemplo acima, são apresentados no Apêndice E – influências das variáveis que compõem os índices do IDEA PNRS+L.

### 3.2 MODELO PROPOSTO

O Índice de Desempenho Ambiental da Gestão de Resíduos Sólidos Industriais (IDEA PNRS+L) é uma ferramenta que possibilita um tipo de avaliação de desempenho ambiental de empresas, com foco na gestão dos resíduos sólidos industriais.

Considerando temas abordados pela série de normas ISO 14000 e temas inerentes à Política Nacional de Resíduos Sólidos, o IDEA PNRS+L foi concebido para estimular a melhoria contínua do gerenciamento dos resíduos sólidos industriais. Ele está inter-relacionado com as estratégias de prevenção e redução da poluição, conceitos de Produção mais Limpa (P+L), controle Fim-de-Tubo e *Ecodesign*.

### 3.3 ESCOPO

Metodologias com foco na gestão de resíduos industriais remetem, tradicionalmente, à aplicação de conceitos mais fortemente direcionados aos resíduos oriundos dos processos produtivos de empreendimentos. Estas deixam de considerar, ou, por vezes, consideram de forma muito superficial, questões referentes à gestão de resíduos anterior e posterior aos processos produtivos (insumos adquiridos e produtos produzidos).

A incorporação destes aspectos analíticos mais amplos agrega grande relevância à gestão de resíduos industriais, acentuadamente quando se tem por objetivo a avaliação do desempenho ambiental de empreendimentos nesse contexto. Dessa forma, em cada empreendimento, observando a fase anterior e a fase posterior à geração do seu produto, abranger-se-á todo o ciclo de vida dos mesmos e, simultaneamente, estará sendo estimulada a melhoria contínua da gestão dos resíduos industriais.

Para que a fase anterior (a gestão de resíduos anterior) influencie positivamente no desempenho ambiental da gestão de resíduos de um

empreendimento, gera-se a necessidade da avaliação e escolha cuidadosa das empresas fabricantes de insumos, por meio de comprovações que as qualifique como fornecedoras sustentáveis, como por exemplo a certificação por sistema de gestão ambiental e rótulos ambientais dos insumos produzidos, trazendo assim evidências acerca da gestão de resíduos praticada por essas empresas.

Na fase posterior (na gestão de resíduos posterior), por sua vez, são avaliadas as melhorias de desempenho ambiental referentes ao período de utilização dos produtos fabricados (a exemplo da redução de consumo de combustível em um motor) e também as atitudes no sentido da reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos e/ou disposição final ambientalmente adequada de rejeitos dos próprios produtos pós-consumo.

A proposta de aprofundamento do tema desenvolve uma ideia sistêmica, conectada à corresponsabilidade acerca dos insumos utilizados e produtos produzidos, e influenciada pela gestão de resíduos aplicada a ambos. Logo esta pesquisa propõe um modelo para a avaliação de desempenho ambiental de empreendimentos (IDEA PNRS+L) com foco exclusivo nos resíduos sólidos industriais.

O modelo vai além das considerações convencionais, fortemente vinculadas aos processos produtivos de um empreendimento, pois promove uma apreciação mais aprofundada no tocante aos insumos adquiridos e aos produtos produzidos pelo empreendimento estudado. Resumindo, ele contempla de forma mais abrangente a gestão de resíduos sólidos industriais de cada empreendimento avaliado, considerando três níveis encadeados de responsabilidade:

- A gestão de resíduos anterior à confecção do produto (englobando os insumos adquiridos pelo empreendimento estudado);
- A gestão de resíduos da confecção do produto (englobando os processos produtivos do empreendimento estudado); e
- A gestão de resíduos posterior à confecção do produto (englobando o produto após a sua produção pelo empreendimento estudado).

### 3.4 ONTOLOGIA

Visando um maior detalhamento quanto à concepção do IDEA PNRS+L, cabe enfatizar o alinhamento existente entre a hierarquia da gestão de resíduos preconizada pela PNRS e as já consolidadas estratégias para prevenção à poluição. Este alinhamento, por conseguinte, permite uma combinação de diretrizes diferenciadas que seguem uma sequência racional de prioridades, de forma lógica e encadeada, em prol da prevenção à poluição: Não geração e Redução de resíduos; Reutilização e Reciclagem de resíduos; Tratamento de resíduos e Disposição final ambientalmente adequada de rejeitos.

Nessa conjuntura, após análise do arcabouço conceitual pertinente, essa sequência racional de prioridades pôde também ser estabelecida por meio da integração das práticas de Produção mais Limpa e de Controle fim-de-tubo. Vale destacar que ambas são complementares (nessa ordem sequencial), englobando desde a (não) geração de resíduos na fonte até a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Os Quadros 3, 4, 5 e 6 apresentam a possibilidade de alinhamento entre a Hierarquia da gestão de resíduos, níveis de atuação da Produção mais Limpa e técnicas de Controle fim-de-tubo.

#### 3.4.1 Hierarquia da gestão de resíduos e Produção mais Limpa (Nível 1)

A analogia apresentada no Quadro 3 sugere, em síntese, como primordiais objetivos da Hierarquia da gestão de resíduos e da Produção mais Limpa: **eliminar ou minimizar resíduos onde são gerados.**

| Alinhamento entre o 1º e 2º itens da Hierarquia da gestão de resíduos (conforme art. 9º da Política Nacional de Resíduos Sólidos) e o Nível 1 de atuação da Produção mais Limpa (P+L) |                                 |                                  |   |
|---|---------------------------------|----------------------------------|---|
| Hierarquia da gestão de resíduos  |                                 | Produção mais Limpa              |   |
| 1º  | Não geração de resíduos sólidos | Nível 1 da P+L: redução na fonte | <p><b>Redução na Fonte:</b> “estratégia para redução da poluição que envolve prevenir a geração de resíduos no processo onde estes surgem, ao invés de limpá-los, tratá-los ou reciclá-los após terem sido gerados” (CNTL,2003a);</p> <p>Na P+L “deve ser dada prioridade a medidas que busquem <b>eliminar ou minimizar resíduos</b>, efluentes e emissões no processo produtivo onde são gerados. A <b>principal meta</b> é encontrar medidas que <b>evitem a geração de resíduos</b> na fonte (nível 1). Estas podem incluir modificações tanto no processo de produção quanto no próprio produto” (CNTL,2003a);</p> <p><b>Modificações no produto:</b> visam eliminar características ecologicamente indesejáveis, obtendo um produto novo ou renovado (CNTL, 2003a);</p> <p><b>Modificações no processo:</b> abrangem todo o sistema de produção dentro da empresa, são as mais comumente aplicadas em programas de P+L e podem ser decorrentes de medidas envolvendo boas práticas operacionais; substituição de matérias-primas e materiais auxiliares; e mudança de tecnologia (CNTL, 2003a).</p> |
| 2º  | Redução de resíduos sólidos     |                                  |   |

**Quadro 3 - Alinhamento entre o 1º e 2º itens da Hierarquia da gestão de resíduos e o Nível 1 de atuação da Produção mais Limpa**  
**Fonte: Dados da pesquisa**

Ressalta-se que a não geração de resíduos sólidos (primeiro item e principal meta na hierarquia da gestão de resíduos) se constitui também como a principal meta da Produção mais Limpa, residindo no nível 1 da P+L as ações nesse sentido (eliminar a geração de resíduos na fonte), evidenciando, dessa forma, o forte alinhamento entre ambas nesse quesito.

Da mesma forma, a redução de resíduos sólidos (segundo item na hierarquia da gestão de resíduos), é contemplada pelo nível 1 da P+L (minimizar a geração de resíduos na fonte), reafirmando esse alinhamento com a P+L por meio da determinação de ações nesse sentido, envolvendo modificações no produto e no processo.

### 3.4.2 Hierarquia da gestão de resíduos e Produção mais Limpa (Nível 2)

A analogia apresentada no Quadro 4 sugere, em síntese, a atualização do significado do termo “reciclagem interna” (quando utilizado na definição do Nível 2 da P+L) para: **minimizar resíduos por meio da reutilização dos mesmos.**

| Alinhamento entre o 3º item da Hierarquia da gestão de resíduos (conforme art. 9º da Política Nacional de Resíduos Sólidos) e o Nível 2 de atuação da Produção mais Limpa (P+L) |   |   |   |
|---|---|---|---|
| Hierarquia da gestão de resíduos  |   |   | Produção mais Limpa   |
| <b>3º</b>   | <b>Reutilização de resíduos sólidos</b> | <p><b>“Reutilização:</b> processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama<sup>[1]</sup> e, se couber, do SNVS<sup>[2]</sup> e do Suasa<sup>[3]</sup>” (BRASIL, 2010b – Art.3º/Alínea XVIII).</p> | <p><b>Reciclagem interna:</b> “refere-se a todos os processos de recuperação de matérias-primas, materiais auxiliares e insumos que são feitos dentro da planta industrial” (CNTL, 2003a).</p> <p>São exemplos: utilização de matérias-primas ou produtos novamente para o mesmo propósito (<i>centrifugação de limalha para recuperação de óleo de corte</i>); utilização de matérias-primas ou produtos usados para um propósito diferente (<i>uso de resíduos de verniz para pinturas de partes não visíveis de produtos</i>); utilização adicional de um material para um propósito inferior ao seu uso original (<i>aproveitamento de resíduos de papel para enchimentos</i>) (CNTL, 2003a).</p> |
|   |   | <b>Nível 2 da P+L: reciclagem interna</b>   |   |

<sup>[1]</sup>Sisnama – Sistema Nacional do Meio Ambiente;

<sup>[2]</sup>SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária;

<sup>[3]</sup>Suasa – Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária.

**Quadro 4 - Alinhamento entre o 3º item da Hierarquia da gestão de resíduos e o Nível 2 de atuação da Produção mais Limpa**  
**Fonte: Dados da pesquisa**

Ressalta-se que a definição e os exemplos referentes ao nível 2 da P+L, disponibilizados pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL), direcionam ao entendimento do termo “reciclagem interna” como equivalente ao item 3º da hierarquia da gestão de resíduos da PNRS: “reutilização de resíduos sólidos”.

Além disso, levando em conta que a reutilização é uma das estratégias para prevenção à poluição, torna-se indiferente, considerando o efeito ambiental, se a reutilização dos resíduos sólidos gerados internamente ocorra no âmbito interno ou externo à empresa.

### 3.4.3 Hierarquia da gestão de resíduos e Produção mais Limpa (Nível 3)

A analogia apresentada no Quadro 5 sugere, em síntese, a atualização do significado do termo “reciclagem externa” (quando utilizado na definição do Nível 3 da P+L) para: **minimizar resíduos por meio da reciclagem dos mesmos.**

| Alinhamento entre o 4º item da Hierarquia da gestão de resíduos (conforme art. 9º da Política Nacional de Resíduos Sólidos) e o Nível 3 de atuação da Produção mais Limpa (P+L) |                                       |  |  |
|---|---------------------------------------|--|--|
| Hierarquia da gestão de resíduos  |                                       | Produção mais Limpa  |  |
| <b>4º</b>   | <b>Reciclagem de resíduos sólidos</b> | <p><b>“Reciclagem:</b> processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama<sup>[1]</sup> e, se couber, do SNVS<sup>[2]</sup> e do Suasa<sup>[3]</sup>” (BRASIL, 2010b – Art.3º/Alínea XIV).</p> | <p style="text-align: center; vertical-align: middle;"><b>Nível 3 da P+L:<br/>reciclagem externa</b></p> <p><b>Reciclagem externa:</b> envolve “medidas de reciclagem de resíduos, efluentes e emissões fora da empresa”, podendo “acontecer na forma de reciclagem externa ou de uma reintegração ao ciclo biogênico (por exemplo: compostagem)” dos resíduos gerados internamente (CNTL, 2003a).</p> <p>São exemplos: <i>compostagem fechada; segregação de aparas de papel para revenda e reciclagem externa</i> (CNTL, 2003a).</p> |

<sup>[1]</sup>Sisnama – Sistema Nacional do Meio Ambiente;

<sup>[2]</sup>SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária;

<sup>[3]</sup>Suasa – Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária.

**Quadro 5 - Alinhamento entre o 4º item da Hierarquia da gestão de resíduos e o Nível 3 de atuação da Produção mais Limpa**  
**Fonte: Dados da pesquisa**

Ressalta-se que a definição e os exemplos referentes ao nível 3 da P+L, disponibilizados pelo CNTL, direcionam ao entendimento do termo “reciclagem externa” como equivalente ao item 4º da hierarquia da gestão de resíduos da PNRS: “reciclagem de resíduos sólidos”.

Além disso, levando em conta que a reciclagem é uma das estratégias para prevenção à poluição, torna-se indiferente, considerando o efeito ambiental, se o processo de reciclagem dos resíduos sólidos gerados internamente ocorra no âmbito interno ou externo à empresa.

### 3.4.4 Hierarquia da gestão de resíduos e Controle fim-de-tubo

A analogia apresentada no Quadro 6 sugere, em síntese, como principal objetivo das técnicas de controle fim-de-tubo (tratamento de resíduos e/ou disposição final de rejeitos): **reduzir o impacto ambiental dos resíduos**.

| Alinhamento entre o 5º e 6º itens da Hierarquia da gestão de resíduos (conforme art. 9º da Política Nacional de Resíduos Sólidos) e Técnicas de controle fim-de-tubo |   |  |   |
|--|---|--|---|
| Hierarquia da gestão de resíduos   |   |  | Técnicas de controle fim-de-tubo  |
| 5º   | Tratamento dos resíduos sólidos                       | <b>Tratamento de resíduos sólidos:</b> qualquer processo que altere as características, composição ou propriedades do resíduo, de forma a tornar menos impactante sua disposição no solo ou simplesmente sua destruição (LORA, 2002); encapsulamento, neutralização, calcinação e incineração são alguns exemplos de tratamento de resíduos sólidos (IBAMA, 2013).   | <b>Controle fim-de-tubo</b>   |
| 6º   | Disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos | <p><b>“Disposição final ambientalmente adequada:</b> distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos” (BRASIL, 2010b – Art.3º/Alínea VIII);</p> <p><b>“Rejeitos:</b> resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2010b – Art.3º/Alínea XV).</p> |   |
|  |   |  | <p><b>Controle fim-de-tubo:</b> estratégia de controle ambiental que concentra suas ações na redução do impacto ambiental dos resíduos ao dar-lhes tratamento, sendo, portanto, uma alternativa focada na remediação dos efeitos adversos (FAGUNDES, 2010; CNTL, 2003a; OLIVEIRA FILHO, 2001);</p> <p><b>“Fim-de-tubo</b> é a prática de tratar substâncias poluidoras ao fim do processo produtivo, quando todos os produtos e serviços foram feitos e os resíduos estão sendo dispostos” (CNTL, 2003a).</p> |

**Quadro 6 - Alinhamento entre o 5º e 6º itens da Hierarquia da gestão de resíduos e Técnicas de controle fim-de-tubo**

**Fonte: Dados da pesquisa**

Deve-se ressaltar que as atitudes de Controle fim-de-tubo são necessárias e complementares às atitudes de P+L, pois, depois de eliminadas todas as possibilidades nos níveis 1, 2 e 3 da P+L, cabe às técnicas de Controle fim-de-tubo o tratamento dos resíduos que não puderam ser evitados. Como última instância, ocorre o encaminhamento dos rejeitos à disposição final ambientalmente adequada, contemplando, dessa forma, os itens 5º e 6º da hierarquia da gestão de resíduos.



### 3.5 PREMISSAS E DESDOBRAMENTOS

A partir das análises dos Quadros 3, 4, 5 e 6, foram delineadas três premissas que fundaram as bases do IDEA PNRS+L, envolvendo a **eliminação ou minimização de resíduos onde são gerados** (Geração), a **minimização de resíduos por meio da reutilização e/ou reciclagem dos mesmos** (Aproveitamento) e a **redução do impacto ambiental dos resíduos** (Tratamento e Disposição final).

De maneira a complementar esse embasamento, no sentido de ampliar as considerações envolvendo gestão de resíduos no tocante aos produtos produzidos, cabe enfatizar a inerente questão do ciclo de vida do produto.

Conforme exposto no Quadro 3, a premissa de “eliminar ou minimizar resíduos onde são gerados” (que abarca o Nível 1 da P+L) aborda modificações no produto vislumbrando, de acordo com CNTL (2003a), a exclusão de características ecologicamente indesejáveis, obtendo assim um produto novo ou renovado.

Salienta-se, portanto, a importância da consideração de aspectos ambientais no desenvolvimento de produtos, englobando todo o ciclo de vida dos mesmos, visando assim minimizar a geração de impactos ambientais. Dentre as diversas possibilidades, pode-se incluir: escolha de matérias-primas com menor teor de impurezas; com menor possibilidade de gerar subprodutos indesejáveis; biodegradáveis; que tenham um ciclo de vida conhecido e que facilitem o sistema de fim de vida de produtos (CNTL, 2003a).

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, o ciclo de vida do produto engloba uma “série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final” (BRASIL, 2010b – Art.3º/Alínea IV).

Nessa conjuntura, entendendo que, após seu consumo, os produtos gerados pelas indústrias também podem ser considerados resíduos, cabe ressaltar a responsabilidade de seus geradores (as indústrias) no gerenciamento desses resíduos.

No tocante a isso, a Política Nacional de Resíduos Sólidos tem como um de seus princípios a “responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos” (BRASIL, 2010b – Art.6º/Alínea VII) e como um de seus instrumentos “a coleta

seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos” (BRASIL, 2010b – Art.8º/Alínea III).

Contribuindo para a conclusão dessa linha de raciocínio, considerando os resíduos industriais e o retorno dos produtos pós-consumo aos seus respectivos geradores, Leite (2009) engloba como constituintes dos canais reversos de pós-consumo: os bens de consumo (duráveis, semiduráveis e descartáveis) – que, de alguma forma, foram disponibilizados ou descartados por seus proprietários depois de extinto seu uso original – e os resíduos industriais.

Assim sendo, entendendo que um produto pode causar impactos ambientais adversos por meio da (maior ou menor) geração de resíduos durante todo seu tempo de vida útil e, do mesmo modo, com o seu descarte, o IDEA PNRS+L considera também as possíveis destinações a serem dadas aos produtos pós-consumo por meio de seus fabricantes: reutilização, reciclagem, tratamento e/ou disposição final.

Ao abarcar as considerações até aqui delineadas e incluindo o compromisso com o desenvolvimento de um modelo abrangente, foi possível elaborá-lo de forma a permitir sua aplicação em indústrias de qualquer segmento. Ele é suficientemente específico, por proporcionar a caracterização de diferentes tipos de resíduo, fazendo uso de informações básicas. É holístico porque leva em consideração não somente as questões de desempenho ambiental referentes às atividades desenvolvidas internamente em cada indústria, mas também as atividades anteriores e possíveis implicações posteriores dessas atividades. Os Quadros 7, 8 e 9, a seguir, apresentam as premissas constituintes deste modelo - o IDEA PNRS+L - bem como seus desdobramentos.

### 3.5.1 Eliminar ou minimizar resíduos onde são gerados

Considera-se, no contexto desta premissa, a geração de resíduos: Externa anterior (referente aos Insumos adquiridos); Interna (referente aos Processos produtivos); e Externa posterior (referente aos Produtos produzidos), conforme Quadro 7.

| IDEA PNRS+L  |  |
|--|--|
| Premissa   | Desdobramentos da premissa   |
| <p><b>Eliminar ou minimizar resíduos onde são gerados</b></p> <p><i>Considera-se, no contexto desta premissa, a geração de resíduos:</i></p> <p><i>Externa anterior (referente aos Insumos adquiridos);</i></p> <p><i>Interna (referente aos Processos produtivos);</i></p> <p><i>e</i></p> <p><i>Externa posterior (referente aos Produtos produzidos).</i></p> | <p><b>Eliminar ou minimizar a geração externa de resíduos (anterior*)</b></p> <p><i>*anteriormente à geração interna: eliminar ou minimizar os resíduos gerados pelos Insumos adquiridos.</i></p> <p>Entendendo que numa avaliação de desempenho ambiental a empresa avaliada/estudada deva ser corresponsável pelo desempenho ambiental dos insumos que venha a adquirir, e que o gerenciamento dos resíduos oriundos das operações realizadas anteriormente a essa aquisição impactam diretamente no desempenho ambiental de seus produtos, este desdobramento considera também a gestão de resíduos das empresas fornecedoras.</p> <p>Este desdobramento, portanto, faz menção ao <u>desempenho ambiental</u> referente aos insumos adquiridos, envolvendo as empresas fornecedoras desses insumos no que tange a gestão de resíduos das mesmas.</p> <p>Dessa forma, a avaliação deste desdobramento se procede por meio da <u>averiguação de controles</u> pertinentes aos <u>insumos adquiridos pela empresa avaliada</u> e à <u>gestão dos resíduos produzidos pelas empresas fornecedoras desses insumos</u>.</p> |
|  | <p><b>Eliminar ou minimizar a geração interna de resíduos*</b></p> <p><i>*eliminar ou minimizar os resíduos gerados pelos Processos produtivos.</i></p> <p>Este desdobramento está atrelado às modificações em processos produtivos abrangendo o sistema de produção como um todo dentro da empresa. As alterações podem ser decorrentes de medidas envolvendo boas práticas operacionais, substituição de matérias-primas e materiais auxiliares, e mudança de tecnologia (CNTL, 2003a).</p>  |
|  | <p><b>Eliminar ou minimizar a geração externa de resíduos (posterior*)</b></p> <p><i>*posteriormente à geração interna: eliminar ou minimizar os resíduos gerados pelos Produtos produzidos.</i></p> <p>Este desdobramento considera as modificações nos produtos produzidos, visando eliminar características ecologicamente indesejáveis, obtendo assim um produto novo ou renovado (CNTL, 2003a); está, portanto, também atrelado ao conceito de “<i>Ecodesign</i>”, ou seja, às <u>melhorias de desempenho ambiental</u> proporcionadas pelas mudanças efetuadas nos <u>produtos produzidos</u>.</p>   |

**Quadro 7 - IDEA PNRS+L: eliminar ou minimizar resíduos onde são gerados (premissa)**

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir são apresentados alguns exemplos e informações complementares referentes aos desdobramentos da premissa “eliminar ou minimizar resíduos onde são gerados”.

### **Desdobramento: eliminação ou minimização da geração externa anterior de resíduos**

- Exemplos de insumos que possam ser adquiridos pela empresa: matérias-primas, recursos naturais, energia, componentes individuais, conjuntos de componentes (montados, soldados), entre outros.

- Exemplo de controle referente à gestão dos resíduos produzidos pelas empresas fabricantes de insumos: nível de certificação do Sistema de Gestão Ambiental (empresa não certificada, em certificação ou certificada pela ISO 14001). Observação: esse controle inclui a Gestão de Resíduos Sólidos desses empreendimentos e torna essa averiguação mais simples e direta.

- Exemplo de controle referente aos insumos adquiridos pela empresa: nível de rotulagem ambiental dos insumos adquiridos (insumo adquirido sem rotulagem, insumo adquirido com rotulagem tipo I, II ou III). Observação: esse controle reflete a qualidade das informações divulgadas a respeito dos insumos fornecidos.

### **Desdobramento: eliminação ou minimização da geração interna de resíduos**

Informações complementares referentes às possibilidades de modificação nos processos produtivos, visando a eliminação ou redução da geração de resíduos:

- Boas práticas operacionais (eliminação ou redução da geração de resíduos por meio da adoção de medidas de procedimento, técnicas, administrativas ou institucionais). Exemplos: mudança na dosagem e na concentração de produtos; maximização da utilização da capacidade do processo produtivo; eliminação de perdas devido à evaporação e a vazamentos;

- Substituição de matérias-primas e materiais auxiliares (eliminação ou redução da geração de resíduos por meio de modificações de matérias-primas e materiais auxiliares utilizados no processo produtivo). Exemplos: escolha de matérias-primas com menor teor de impurezas; com menor possibilidade de gerar subprodutos indesejáveis; biodegradáveis; que tenham um ciclo de vida conhecido e que facilitem o sistema de fim de vida de produtos;

- Mudança de tecnologia (eliminação ou redução da geração de resíduos por meio de modificações do processo produtivo e/ou dos equipamentos utilizados). Exemplos: substituições de processos termoquímicos por processos mecânicos; uso de fluxos em contracorrente; tecnologias que realizam a segregação de resíduos e de efluentes; modificação nos parâmetros de processo; utilização de calor residual; substituição completa da tecnologia (CNTL, 2003a).

### **Desdobramento: eliminação ou minimização da geração externa posterior de resíduos**

Informações complementares referentes às possibilidades de melhorias de desempenho ambiental proporcionadas por mudanças efetuadas nos produtos produzidos:

- Reduzir o uso de materiais e de energia. Exemplos: redução do peso e do volume do produto, aumento da eficiência energética e redução de insumos durante a aplicação do produto;

- Utilizar materiais, processos e fontes energéticas mais eco compatíveis. Exemplos: uso de fontes de energia e insumos mais limpos, materiais não agressivos, renováveis, reciclados, de baixo conteúdo energético, recicláveis;

- Aumentar o tempo de vida do produto. Exemplos: aumentar a confiabilidade e durabilidade, facilitar a manutenção e o reparo, estruturar o produto de forma modular a fim de promover a intercambiabilidade dos componentes (evitando a troca de todo o produto);

- Facilitar a separação/desmontagem das partes dos materiais, visando facilitar o reaproveitamento dos componentes do produto;

- Facilitar a reaplicação dos materiais descartados. Exemplos: facilitar a reutilização, condicionamento, remanufatura e reciclagem do produto, bem como facilitar a incineração limpa, o reaproveitamento energético e o descarte ecologicamente correto (MANZINI, VEZZOLI, 2002; VAN HEMEL, CRAMER, 2002, PEARSON, 2011).

### 3.5.2 Minimizar resíduos por meio do aproveitamento dos mesmos

“Aproveitamento de resíduos”, no contexto desta premissa, remete à Reutilização e à Reciclagem de resíduos, conforme aponta o Quadro 8.

| IDEA PNRS+L  |   |
|--|---|
| Premissa   | Desdobramentos da premissa  |
| <p><b>Minimizar resíduos por meio do aproveitamento dos mesmos</b></p> <p><i>“Aproveitamento de resíduos”, no contexto desta premissa, remete à Reutilização e à Reciclagem de resíduos.</i></p> | <p><b>Minimizar resíduos por meio da Reutilização de resíduos oriundos dos próprios Processos produtivos e dos próprios Produtos pós-consumo</b></p> <p>O termo Reutilização, neste contexto, aplica-se à destinação de resíduos para o mesmo propósito ou para propósitos diferentes dos originais, dentro ou fora da empresa que os gerou (ou seja, o resíduo é reutilizado como matéria-prima em aplicações no âmbito interno ou externo à empresa que o gerou).</p> |
|  | <p><b>Minimizar resíduos por meio da Reciclagem de resíduos oriundos dos próprios Processos produtivos e dos próprios Produtos pós-consumo</b></p> <p>Este desdobramento faz menção apenas à quantidade de resíduos efetivamente reciclados. Os resíduos oriundos dos processos de reciclagem, caso ocorram, devem ser contabilizados nas suas respectivas destinações posteriores: Tratamento e/ou Disposição final ambientalmente adequada.</p>                       |

**Quadro 8 - IDEA PNRS+L: minimizar resíduos por meio do aproveitamento dos mesmos (premissa)**

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.5.3 Reduzir o impacto ambiental dos resíduos

Esta premissa envolve o Tratamento dos resíduos e a Disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, em concordância com o Quadro 9.

| IDEA PNRS+L   |   |
|---|---|
| Premissa  | Desdobramentos da premissa  |
| <p><b>Reduzir o impacto ambiental dos resíduos</b></p> <p><i>Esta premissa envolve o Tratamento dos resíduos e a Disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.</i></p> | <p><b>Reduzir o impacto ambiental dos resíduos por meio do Tratamento e da Disposição final ambientalmente adequada dos resíduos oriundos dos próprios Processos produtivos e dos próprios Produtos pós-consumo</b></p> <p>Exemplos:</p> <p><u>Tratamento dos resíduos sólidos</u>: dentre as diversas possibilidades, pode incluir tratamento físico-químico (evaporação, secagem, calcinação, neutralização, precipitação, oxidação de cianetos, encapsulamento, fixação química, solidificação ou vitrificação) e incineração sobre o solo (tratamentos térmicos, sem reaproveitamento energético, plasma térmico) (IBAMA, 2013);</p> <p><u>Disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos</u>: dentre as diversas possibilidades, pode incluir aterramentos especialmente projetados (aterros sanitários industriais, ou em compartimentos separados, revestidos, tampados e isolados uns dos outros e do meio ambiente) e injeção profunda (injeção de resíduos bombeáveis em poços, formações salinas ou depósitos de ocorrência natural) (IBAMA, 2013).</p> |

**Quadro 9 - IDEA PNRS+L: reduzir o impacto ambiental dos resíduos (premissa)**

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir são apresentados alguns exemplos e informações complementares referentes aos desdobramentos da premissa “reduzir o impacto ambiental dos resíduos”.

**Desdobramento: redução do impacto ambiental dos resíduos por meio do Tratamento e da Disposição final ambientalmente adequada dos resíduos oriundos dos próprios Processos produtivos e dos próprios Produtos pós-consumo**

Para efeito de contabilização, esta pesquisa considera que os materiais resultantes de um mesmo tipo de processamento de resíduo podem ter denominações diferentes, dependendo da destinação que será dada aos mesmos, por exemplo: reciclados, se destinados novamente à cadeia produtiva, ou tratados, se destinados à disposição final ambientalmente adequada.

Dessa forma, devem ser contabilizados também como “tratados” os rejeitos oriundos dos processos que gerem material reciclado, devido suas distintas destinações. De maneira complementar, para efeito de contabilização total dos materiais destinados à disposição final ambientalmente adequada, também devem ser somados os resíduos não tratados.

Nesse contexto, o mencionado desdobramento alinha dois objetivos comuns ao tratamento e à disposição final ambientalmente adequada: a redução da periculosidade e da quantidade dos rejeitos. Quanto menor for a quantidade de rejeitos destinados à disposição final e menor for a periculosidade envolvendo esses rejeitos, potencialmente menores se tornarão os impactos ambientais adversos. Portanto, como elementos de influência, tem-se: a quantidade de rejeitos destinada à disposição final ambientalmente adequada e a periculosidade<sup>6</sup> envolvendo esses rejeitos.

---

<sup>6</sup> O perigo é uma característica intrínseca a uma substância, instalação ou artefato, e é definido como uma situação ou condição que tem potencial de acarretar consequências indesejáveis (SÁNCHEZ, 2008).

Visando padronizar a forma de obtenção de parâmetros, nesta pesquisa, as considerações acerca da periculosidade dos diversos tipos de resíduos se limitarão à norma ABNT NBR 10.004, que os classifica em: classe I - perigosos, classe IIA- não perigosos não inertes e classe IIB – inertes. A referida norma apresenta, em seus anexos, listagens contendo tipos de resíduos e suas respectivas classificações.

Não se avançará, portanto, para um estudo de riscos, devido às inúmeras possibilidades que podem permear cada particular situação a ser considerada, no sentido de estimar as probabilidades de

### 3.6 A ÁRVORE DO IDEA PNRS+L

Diferentes modelos são propostos para trabalhar a classificação de fenômenos, como *decision trees*, redes neurais, redes bayesianas, conjuntos *fuzzy* e modelos genéticos. Conforme o tipo dos dados, as escolhas de modelos para dar suporte à tomada de decisão se alteram. De acordo com Choudhary e Jain (2013), a preferência pelo modelo de classificação de fenômenos tipo árvore (*decision tree*) é maior porque é acessível e as regras construídas podem ser mais compreensíveis. O modelo *decision tree* é estruturado na forma de um fluxograma e permite trabalhar em escala, sobretudo quando se aplica os recursos da lógica *fuzzy*, nomeado *soft decision trees* (OLARU; WEHENKEL, 2003).

Esta foi a escolha metodológica da pesquisa. Com base no marco teórico, nos dados coletados e nas premissas e desdobramentos foi elaborada a árvore do IDEA PNRS+L (*soft decision tree*), constituída por ramificações (sub-árvores), utilizando o *software fuzzyTECH*<sup>®</sup>.

A árvore foi estruturada no sentido *top-down*, ou seja, sua construção partiu do índice final (IDEA) que, por sua vez, foi sendo decomposto em outros índices até chegar aos indicadores. Cabe salientar que os dados de entrada (*inputs*) alimentam os indicadores e a sequência de inferências sobre esses valores se dá no sentido *down-top* até chegar ao índice final (IDEA).

A Figura 12 apresenta a estrutura da árvore do IDEA PNRS+L e suas articulações com o tema da pesquisa.

---

ocorrência de um evento e a magnitude das possíveis consequências. De maneira sucinta, a título de exemplificação, a CETESB (2003) segue os seguintes passos na elaboração de estudos de análise de riscos no estado de São Paulo: 1) caracterização do empreendimento e da região; 2) identificação dos perigos e consolidação de cenários de acidentes; 3) estimativa dos efeitos físicos e análise de vulnerabilidade; 4) estimativa de frequências; 5) estimativa e avaliação de riscos; além do 6) gerenciamento de riscos.



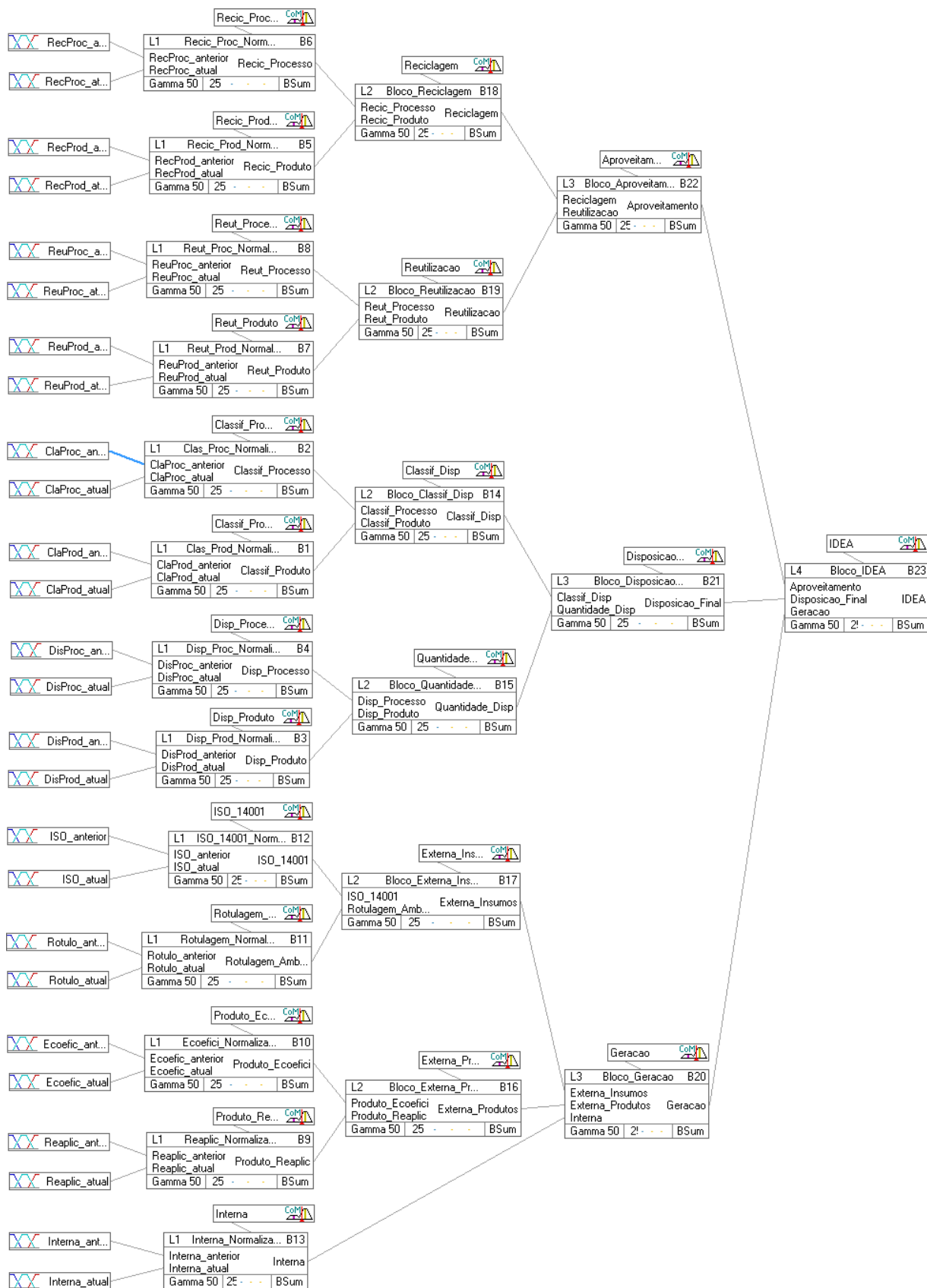


Figura 12 - Árvore do IDEA PNRS+L  
Fonte: Elaborado pelo autor

O IDEA PNRS+L possui 26 indicadores (1ª coluna à esquerda da Figura 12), 22 índices intermediários, sendo 13 primários (2ª coluna), seis secundários (3ª coluna) e três terciários (4ª coluna) e um índice final.

O Quadro 10 apresenta mais detalhes acerca da composição estrutural da Árvore do IDEA PNRS+L.

|   |     |
|---|-----|
| Variáveis de entrada ( <i>inputs</i> ) – aqui denominados “indicadores”                   | 26  |
| Variáveis de saída ( <i>outputs</i> ) – aqui denominados “índices” intermediários e final | 23  |
| Blocos de regras (em todos os índices)  | 23  |
| Regras (somatório dos 23 blocos de regras)  | 775 |

**Quadro 10 - Síntese da composição estrutural da Árvore do IDEA PNRS+L**

**Fonte: Elaborado pelo autor**

A partir dos dados fornecidos pela empresa avaliada, os indicadores são obtidos por meio de cálculos utilizando planilhas eletrônicas (Microsoft Excel®).

Os valores obtidos são então direcionados à árvore do IDEA PNRS+L (no *software fuzzyTECH*®) como dados de entrada (*inputs*), alimentando seus respectivos indicadores.

Após isso, esses valores são fuzzificados, inferidos e defuzzificados continuamente, até a obtenção do índice final.

Nas fuzzificações, por meio de métodos apropriados (neste modelo: *Compute MBF – Compute Membership Function*), são verificados os graus de pertinência do valor *crisp* (valor numérico calculado) à função de cada termo linguístico – “péssimo”, “ruim”, “regular”, “bom” e “ótimo” – pertencente à sua respectiva variável linguística (ou, em outras palavras, nas fuzzificações traduz-se para termos linguísticos o nível de Desempenho Ambiental da empresa no aspecto considerado).

Nas inferências, por meio de métodos apropriados (neste modelo: *GAMMA – Compensatory Operator for Aggregation* – e *BSUM – Bounded Sum Fuzzy Operator for Result Aggregation*), procede-se a agregação das regras *fuzzy*, a composição e o resultado da agregação.

Nas defuzzificações, também por meio de métodos apropriados (neste modelo: *CoM – Center of Maximum Defuzzification Methode*), os termos linguísticos são transformados em valores *crisp*.

A seguir são descritos os indicadores e índices que compõem o índice final IDEA PNRS+L, bem como seus procedimentos de cálculo.

### 3.6.1 Indicadores

Os indicadores são obtidos a partir dos dados fornecidos pelas empresas (vide Apêndice D).

Nesta pesquisa, os indicadores proporcionam a obtenção de valores numéricos (*crisp*) por meio de cálculo envolvendo determinadas variáveis, específicas para cada par de indicadores (um indicador referente ao ano anterior e o outro referente ao ano atual).

Esse cálculo resulta em um valor discreto (*crisp*) para cada indicador, que é então fuzzificado por meio de seu enquadramento, em termos de grau de pertinência, a cinco conjuntos numéricos, identificados pelos termos linguísticos “péssimo”, “ruim”, “regular”, “bom” e “ótimo”.

Cada termo linguístico possui uma função de pertinência (sigmoide) que, no eixo das ordenadas (eixo vertical), varia de 0 a 1 (com “zero” indicando “nenhuma pertinência ao conjunto” e “um” indicando “total pertinência ao conjunto”). Portanto, valores discretos (*crisp*) com graus de pertinência ao termo linguístico “ótimo” mais próximos a “um” são os mais desejáveis, enquanto que valores discretos com graus de pertinência ao termo linguístico “péssimo” mais próximos a “um” são os menos desejáveis.

O eixo das abcissas (eixo horizontal) abrange uma determinada faixa de valores (denominada “universo do discurso”), que varia em função das peculiaridades de cada diferente indicador, abrangendo, num extremo, o valor adotado como representativo da melhor condição para o indicador e, no outro extremo, o valor adotado como representativo da pior condição para o indicador.

Partindo-se do pressuposto de que os esforços necessários para melhorias de desempenho nos patamares superiores de um indicador (mais próximos do valor ideal do indicador) são muito maiores do que nos patamares inferiores. Nesta pesquisa, convencionou-se atribuir como padrão *crisp* de máxima pertinência para cada termo linguístico pré-determinado, percentagens da melhor condição possível para cada indicador estabelecido considerando toda a faixa adotada como “universo do discurso”, como apresentado a seguir: “ótimo” = 100%; “bom” = 85%; “regular” = 60%; “ruim” = 30% e “péssimo” = 0%. Por exemplo: se o melhor valor para um

indicador for 1 e o pior valor for 2, o valor *crisp* assumirá na máxima pertinência ao termo “ótimo” = 1,00; na máxima pertinência ao termo “bom” = 1,15; na máxima pertinência ao termo “regular” = 1,40; na máxima pertinência ao termo “ruim” = 1,70 e na máxima pertinência ao termo “péssimo” = 2,00.

Uma vez nomeados os indicadores, o pesquisador teve o cuidado com o aspecto da acentuação de palavras para a inserção dos dados no *software fuzzyTECH*<sup>®</sup>. Todavia, este programa não é compatível com os caracteres acentuados da língua portuguesa e, por esta razão, optou-se por mencioná-los na configuração do *software*.

### 3.6.1.1 ISO\_anterior e ISO\_atual

O cálculo dos indicadores de desempenho ambiental da empresa quanto ao sistema de gestão ambiental dos fabricantes dos insumos adquiridos (ISO\_anterior e ISO\_atual) considera a massa dos insumos utilizados e os níveis de certificação ISO 14001 das empresas fabricantes desses insumos, no ano em questão (ano anterior ou ano atual).

#### Métrica:

Contabiliza-se a massa dos insumos utilizados no ano em questão e os níveis de certificação ISO 14001 das empresas fabricantes desses insumos (“não certificada”, “em processo de certificação” e “certificada”).

Exemplo: utilizados “x” kg de insumos oriundos de fabricantes com certificação ISO 14001 no ano; utilizados “x” kg de insumos oriundos de fabricantes sem certificação ISO 14001 no ano.

Após contabilizar a massa de todos os insumos utilizados no ano em questão e os níveis de certificação ISO 14001 de seus fabricantes, calculam-se os percentuais em relação ao total de insumos utilizados: “x% dos insumos fabricados por empresas sem certificação”, “x% dos insumos fabricados por empresas em processo de certificação” e “x% dos insumos fabricados por empresas com certificação”.

#### Ponderação:

Em ordem crescente, as ponderações adotadas para os níveis de certificação são: “zero” para os insumos fabricados por empresas sem certificação, “um” para os insumos fabricados por empresas em processo de certificação e “dois” para os insumos fabricados por empresas certificadas.

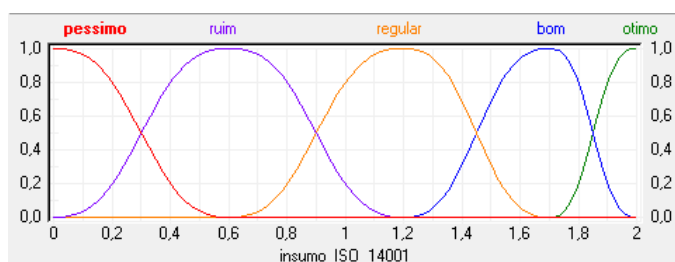
Composição dos indicadores:

**Ano anterior** = (% dos insumos fabricados por empresas sem certificação no ano anterior . 0) + (% dos insumos fabricados por empresas em processo de certificação no ano anterior . 1) + (% dos insumos fabricados por empresas com certificação no ano anterior . 2).

**Ano atual** = (% dos insumos fabricados por empresas sem certificação no ano atual . 0) + (% dos insumos fabricados por empresas em processo de certificação no ano atual . 1) + (% dos insumos fabricados por empresas com certificação no ano atual . 2).

Diagrama das funções de pertinência dos indicadores:

A Figura 13 apresenta o diagrama das funções de pertinência dos indicadores.



**Figura 13 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores ISO\_anterior e ISO\_atual**  
**Fonte: Elaborado pelo autor**

Análise dos resultados possíveis para estes indicadores:

Resultado = 2 significa que 100% dos insumos utilizados são oriundos de fabricantes com certificação ambiental ISO 14001 (**melhor possibilidade**);

0 < Resultado < 2 significa que há um percentual de insumos utilizados oriundos de fabricantes “em certificação” e/ou “certificados” pela ISO 14001;

Resultado = 0 significa que 100% dos insumos utilizados são oriundos de fabricantes sem certificação ambiental ISO 14001 (**piores possibilidades**).

### 3.6.1.2 Rotulo\_antecior e Rotulo\_atual

O cálculo dos indicadores de desempenho ambiental da empresa quanto às rotulagens ambientais dos insumos adquiridos (Rotulo\_antecior e Rotulo\_atual) considera a massa dos insumos utilizados e os níveis de rotulagem ambiental destes insumos, no ano em questão (ano anterior ou ano atual).

#### Métrica:

Contabiliza-se a massa de insumos utilizados no ano em questão e seus níveis de rotulagem (“sem rotulagem”, “rotulagem tipo II”, “rotulagem tipo I” e “rotulagem tipo III”).

Exemplo: utilizados “x” quilograma (kg) de insumos com rótulo tipo II no ano; utilizados “x” kg de insumos sem rotulagem no ano.

#### Observações:

Se um produto possuir mais de um tipo de rotulagem, considera-se, para efeito de cálculo deste indicador, somente o rótulo de maior relevância (a ordem de relevância adotada, da menor para a maior, é: “rotulagem tipo II”, “rotulagem tipo I” e “rotulagem tipo III”).

Após contabilizar a massa e o tipo de rotulagem de todos os insumos utilizados no ano em questão, calculam-se os percentuais em relação ao total de insumos utilizados: “x% dos insumos sem rotulagem”, “x% dos insumos com rotulagem tipo II”, “x% dos insumos com rotulagem tipo I” e “x% dos insumos com rotulagem tipo III”.

#### Ponderação:

Em ordem crescente, as ponderações adotadas para os níveis de rotulagem ambiental, considerando a disponibilização de informações sobre o ciclo de vida dos insumos utilizados, são: “zero” para os insumos sem rotulagem, “um” para os insumos com rotulagem tipo II, “dois” para os insumos com rotulagem tipo I e “três” para os insumos com rotulagem tipo III.

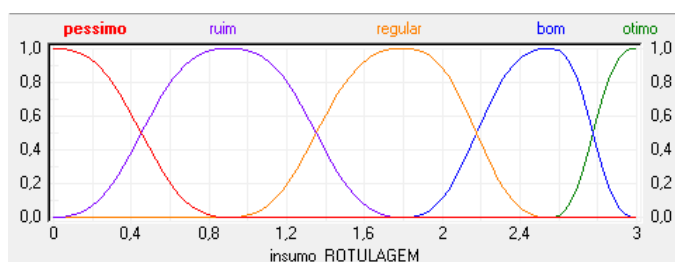
#### Composição dos indicadores:

**Ano anterior** = (% dos insumos sem rotulagem no ano anterior . 0) + (% dos insumos com rotulagem tipo II no ano anterior . 1) + (% dos insumos com rotulagem tipo I no ano anterior . 2) + (% dos insumos com rotulagem tipo III no ano anterior . 3).

**Ano atual** = (% dos insumos sem rotulagem no ano atual . 0) + (% dos insumos com rotulagem tipo II no ano atual . 1) + (% dos insumos com rotulagem tipo I no ano atual . 2) + (% dos insumos com rotulagem tipo III no ano atual . 3).

Diagrama das funções de pertinência dos indicadores:

A Figura 14 apresenta o diagrama das funções de pertinência dos indicadores.



**Figura 14 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores Rotulo\_anterior e Rotulo\_atual**

Fonte: Elaborado pelo autor

Análise dos resultados possíveis para estes indicadores:

Resultado = 3 significa que 100% dos insumos utilizados possuem rotulagem ambiental tipo III (**melhor possibilidade**);

$0 < \text{Resultado} < 3$  significa que há um percentual de insumos utilizados que possuem rotulagem ambiental “tipo II” e/ou “tipo I” e/ou “tipo III”;

Resultado = 0 significa que 100% dos insumos utilizados não possuem rotulagem ambiental (**pior possibilidade**).

### 3.6.1.3 Interna\_anterior e Interna\_atual

O cálculo dos indicadores de desempenho ambiental da empresa quanto à geração interna de resíduos industriais (Interna\_anterior e Interna\_atual) considera a relação entre a massa dos insumos utilizados e a massa dos produtos produzidos, no ano em questão (ano anterior ou ano atual).

Métrica:

Insumos = quantidade (kg) de insumos adquiridos pela empresa e efetivamente utilizados nos processos de fabricação;

Produtos = quantidade (kg) de produtos produzidos.

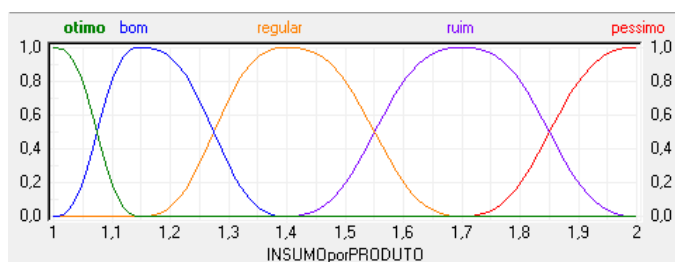
Composição dos indicadores:

**Ano anterior** = (massa total dos insumos efetivamente utilizados no ano anterior) / (massa total dos produtos produzidos pela empresa no ano anterior).

**Ano atual** = (massa total dos insumos efetivamente utilizados no ano atual) / (massa total dos produtos produzidos pela empresa no ano atual).

Diagrama das funções de pertinência dos indicadores:

A Figura 15 apresenta o diagrama das funções de pertinência dos indicadores.



**Figura 15 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores Interna\_anterior e Interna\_atual**

**Fonte: Elaborado pelo autor**

Análise dos resultados possíveis para estes indicadores:

Resultado = 1 significa que 100% da massa de insumos utilizada tornou-se produto, não havendo geração de resíduos sólidos (**melhor possibilidade**);

Resultado > 1 significa que a massa de insumos utilizada nos processos fabris foi maior que a massa dos produtos produzidos, acarretando na geração de resíduos;

Resultado  $\geq$  2 significa que a massa de insumos utilizada nos processos fabris foi equivalente ao dobro (ou mais que o dobro) da massa dos produtos produzidos, acarretando numa geração de resíduos sólidos  $\geq$  a uma vez a massa dos produtos produzidos. Na presente pesquisa, esta condição foi adotada como referência para a **pior possibilidade** deste indicador.

Observações:

Para determinados processos fabris que possibilitem o resultado deste indicador como sendo menor que 1, é aconselhável a execução de estudos, por especialistas nos segmentos industriais e produtos envolvidos, de forma a adequar este indicador para a aplicação nessas demandas pontuais.



### 3.6.1.4 Ecoefic\_anterior e Ecoefic\_atual

O cálculo dos indicadores de desempenho ambiental da empresa quanto à condição ambiental dos produtos produzidos, envolvendo eficiência, limpeza e durabilidade (Ecoefic\_anterior e Ecoefic\_atual) considera princípios de *Ecodesign* no tocante a esses aspectos dos produtos produzidos no ano em questão (ano anterior ou ano atual).

Eficiência: a melhoria desta condição ambiental implica na redução do uso de materiais e de energia (redução do peso do produto, redução do volume do produto, aumento da eficiência energética do produto, redução de insumos durante a aplicação do produto, entre outros possíveis);

Limpeza: a melhoria desta condição ambiental implica na utilização de materiais, processos e fontes energéticas mais eco compatíveis - uso de fontes de energia e insumos mais limpos para a utilização do produto, uso de materiais não agressivos, renováveis, reciclados, recicláveis, de baixo conteúdo energético na constituição do produto, entre outras possibilidades;

Durabilidade: a melhoria desta condição ambiental implica no aumento do tempo de vida dos produtos: tempo de confiabilidade do produto, durabilidade do produto, manutenção do produto, reparo do produto, e estruturar o produto de forma modular a fim de promover a intercambiabilidade dos componentes, evitando a troca de todo o produto, entre outros possíveis.

#### Métrica:

Um modelo de questionário é respondido pela empresa, por meio de respostas alternativas, em que cada opção de resposta possui uma pontuação pré-determinada (vide Apêndice C). Ao final, contabiliza-se a soma dos pontos obtidos pela empresa em cada questão.

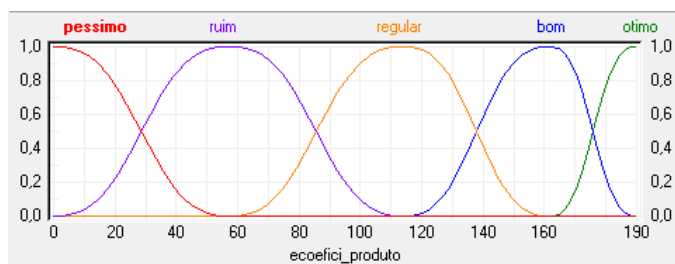
#### Composição dos indicadores:

**Ano anterior** = pontuação obtida pela empresa no ano anterior.

**Ano atual** = pontuação obtida pela empresa no ano atual.

#### Diagrama das funções de pertinência dos indicadores:

A Figura 16 apresenta o diagrama das funções de pertinência dos indicadores.



**Figura 16 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores Ecoefic\_anterior e Ecoefic\_atual**  
**Fonte: Elaborado pelo autor**

Análise dos resultados possíveis para estes indicadores:

Resultado = 190 significa que 100% dos modelos de produto produzidos atendem 100% dos requisitos ambientais questionados (**melhor possibilidade**);

$0 < \text{Resultado} < 190$  significa que há um percentual dos modelos de produto produzidos que atende a um percentual dos requisitos ambientais questionados;

Resultado = 0 significa que 100% dos modelos de produto produzidos não atendem, ou a dimensão do quanto podem estar atendendo é desconhecida, no que se refere aos requisitos ambientais questionados (**pioir possibilidade**).

Observações:

O questionário modelo apresentado no Apêndice C deve ser considerado como um exemplo orientativo sugerido pela presente pesquisa para aplicação no cálculo deste indicador. A elaboração do referido questionário compreendeu, entre outras considerações abarcadas por esta Tese, a análise crítica dos trabalhos de Echeveste, Saurin e Danilevicz (2002) e Borchardt et al. (2012).

Para maior eficácia deste indicador, é recomendável a aplicação de questionários distintos, elaborados por especialistas para atender, de forma direcionada, as especificidades de cada diferente segmento industrial e seus produtos. Assim, pode-se abranger os aspectos mais relevantes do *Ecodesign* - envolvendo eficiência, limpeza e durabilidade dos produtos produzidos - considerando a total adequação e aplicabilidade dos questionamentos ao contexto em que estiverem inseridos.

### 3.6.1.5 Reaplic\_anterior e Reaplic\_atual

O cálculo dos indicadores de desempenho ambiental da empresa (Reaplic\_anterior e Reaplic\_atual) no ano em questão, ano anterior ou ano atual,

quanto à condição ambiental dos produtos produzidos, envolve a separação/desmontagem das partes dos materiais e a reaplicação dos materiais descartados considerando princípios de *Ecodesign*.

Separação/desmontagem das partes dos materiais: a melhoria desta condição ambiental implica em facilitar o reaproveitamento dos componentes do produto, a separação dos componentes químicos dos materiais que compõem cada produto, a separação de componentes constituídos de materiais diferentes, entre outras possibilidades;

Reaplicação dos materiais descartados: a melhoria desta condição ambiental implica em facilitar a reutilização, recondicionamento, remanufatura e reciclagem do produto, a incineração limpa, o reaproveitamento energético e o descarte ecologicamente correto, entre outras alternativas.

#### Métrica:

Um modelo de questionário é respondido pela empresa, por meio de respostas alternativas, em que cada opção de resposta possui uma pontuação pré-determinada (vide Apêndice C). Ao final, contabiliza-se a soma dos pontos obtidos pela empresa em cada questão.

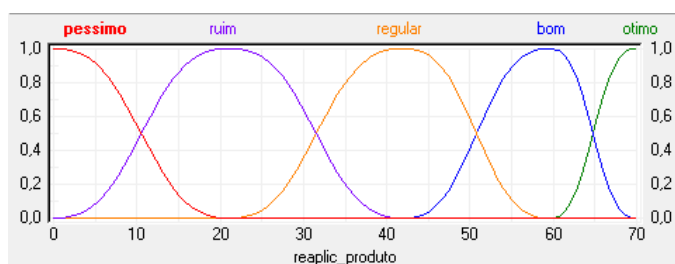
#### Composição dos indicadores:

**Ano anterior** = pontuação obtida pela empresa no ano anterior.

**Ano atual** = pontuação obtida pela empresa no ano atual.

#### Diagrama das funções de pertinência dos indicadores:

A Figura 17 apresenta o diagrama das funções de pertinência dos indicadores.



**Figura 17 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores Reaplic\_anterior e Reaplic\_atual**

**Fonte: Elaborado pelo autor**

#### Análise dos resultados possíveis para estes indicadores:

Resultado = 70 significa que 100% dos modelos de produto produzidos atendem 100% dos requisitos ambientais questionados (**melhor possibilidade**);

0 < Resultado < 70 significa que há um percentual dos modelos de produto produzidos que atendem a um percentual dos requisitos ambientais questionados;

Resultado = 0 significa que 100% dos modelos de produto produzidos não atendem, ou a dimensão do quanto podem estar atendendo é desconhecida, no que se refere aos requisitos ambientais questionados (**piores possibilidades**).

#### Observações:

O questionário modelo apresentado no Apêndice C deve ser considerado como um exemplo orientativo sugerido pela presente pesquisa para aplicação no cálculo deste indicador. A elaboração do referido questionário compreendeu, entre outras considerações abarcadas por esta Tese, a análise crítica dos trabalhos de Echeveste, Saurin e Danilevicz (2002) e Borchardt et al. (2012).

Para a maior eficácia deste indicador, é recomendável a aplicação de questionários distintos, elaborados por especialistas para atender, de forma direcionada, as especificidades de cada diferente segmento industrial e seus produtos. Assim, pode-se abranger os aspectos mais relevantes do *Ecodesign* - envolvendo a separação/desmontagem das partes dos materiais e a reaplicação dos materiais descartados dos produtos produzidos - considerando a total adequação e aplicabilidade dos questionamentos ao contexto em que estiverem inseridos.

#### 3.6.1.6 ReuProc\_anterior e ReuProc\_atual

O cálculo dos indicadores de desempenho ambiental da empresa quanto à reutilização de resíduos do próprio processo produtivo (ReuProc\_anterior e ReuProc\_atual) considera o percentual dos resíduos reutilizados - oriundos do próprio processo produtivo - frente ao total de resíduos gerados nos processos produtivos, no ano em questão (ano anterior ou ano atual).

#### Métrica:

Resíduos reutilizados oriundos dos processos produtivos = quantidade (kg) de resíduos (gerados nos processos produtivos internos da empresa) efetivamente reutilizados;

Total de resíduos gerados nos processos produtivos = [quantidade (kg) total de insumos adquiridos] - [quantidade (kg) total de produtos produzidos].

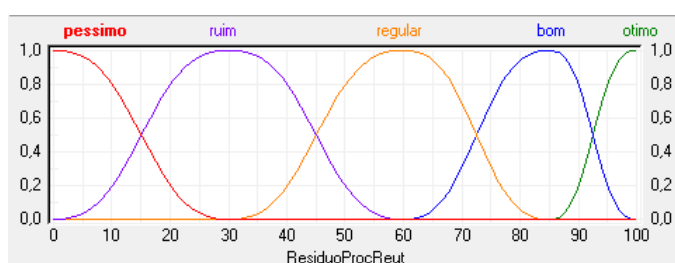
#### Composição dos indicadores:

**Ano anterior** = [(massa total dos resíduos gerados nos processos produtivos internos da empresa efetivamente reutilizados no ano anterior) / (massa total de resíduos gerados nos processos produtivos internos da empresa no ano anterior) . 100].

**Ano atual** = [(massa total dos resíduos gerados nos processos produtivos internos da empresa efetivamente reutilizados no ano atual) / (massa total dos resíduos gerados nos processos produtivos internos da empresa no ano atual) . 100].

Diagrama das funções de pertinência dos indicadores:

A Figura 18 apresenta o diagrama das funções de pertinência dos indicadores.



**Figura 18 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores ReuProc\_anterior e ReuProc\_atual**  
**Fonte: Elaborado pelo autor**

Análise dos resultados possíveis para estes indicadores:

Resultado = 100 significa que 100% dos resíduos gerados nos processos produtivos foi reutilizado (**melhor possibilidade**);

0 < Resultado < 100 significa que houve reutilização inferior a 100% dos resíduos gerados nos processos produtivos;

Resultado = 0 significa que 0% dos resíduos gerados nos processos produtivos foi reutilizado (**pior possibilidade**).

Observações:

Se a empresa não gerar nenhum resíduo em seus processos produtivos, isso caracterizará uma condição especial na qual, em não havendo resíduos gerados internamente, não haverá resíduos – oriundos dos processos produtivos da empresa – para serem reutilizados e/ou reciclados e/ou encaminhados para disposição final, acarretando, por conseguinte, no máximo desempenho ambiental de todos esses indicadores.

Dessa forma, quando satisfeita a condição supracitada (não geração interna de resíduos), o resultado deste indicador será igual a 100.

### 3.6.1.7 ReuProd\_anterior e ReuProd\_atual

O cálculo dos indicadores de desempenho ambiental da empresa quanto à reutilização de resíduos dos próprios produtos pós-consumo (ReuProd\_anterior e ReuProd\_atual) considera o percentual dos resíduos reutilizados, oriundos dos próprios Produtos Pós-Consumo, em função da estimativa do montante mínimo de resíduos pós-consumo que devem ser retornados pontualmente para cada empresa, no ano em questão (ano anterior ou ano atual).

#### Métrica:

Resíduos reutilizados oriundos dos produtos pós-consumo = quantidade (kg) de resíduos oriundos dos produtos pós-consumo efetivamente reutilizados;

Estimativa do montante mínimo de resíduos pós-consumo que devem ser retornados = quantidade mínima (kg) de resíduos de produtos pós-consumo da empresa que devem ser retornados.

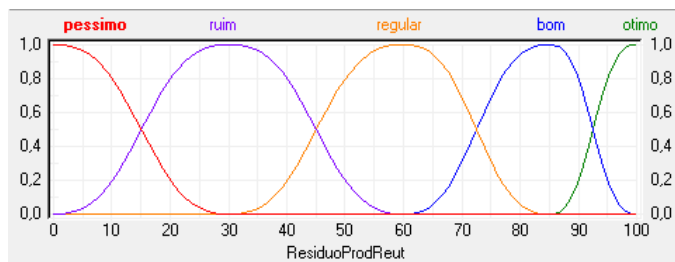
#### Composição dos indicadores:

**Ano anterior** = [(massa total dos resíduos de produtos pós-consumo da empresa efetivamente reutilizados no ano anterior) / (estimativa da massa mínima de resíduos de produtos pós-consumo da empresa que devem ser retornados, referente ao ano anterior) . 100].

**Ano atual** = [(massa total dos resíduos de produtos pós-consumo da empresa efetivamente reutilizados no ano atual) / (estimativa da massa mínima de resíduos de produtos pós-consumo da empresa que devem ser retornados, referente ao ano atual) . 100].

#### Diagrama das funções de pertinência dos indicadores:

A Figura 19 apresenta o diagrama das funções de pertinência dos indicadores.



**Figura 19 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores ReuProd\_anterior e ReuProd\_atual**  
**Fonte: Elaborado pelo autor**

Análise dos resultados possíveis para estes indicadores:

Resultado = 100 significa que o percentual de reutilização de resíduos dos produtos pós-consumo da empresa atingiu - ou superou - 100% da massa mínima de retorno estimada (**melhor possibilidade**);

$0 < \text{Resultado} < 100$  significa que houve um percentual de reutilização de resíduos dos produtos pós-consumo da empresa, mas que foi inferior a 100% da massa mínima de retorno estimada;

Resultado = 0 significa que não houve reutilização de resíduos de produtos pós-consumo (**piores possibilidades**).

Observações:

Para a determinação anual da “estimativa do montante mínimo de resíduos oriundos dos produtos pós-consumo da empresa - que devem ser retornados”, é imprescindível a avaliação de especialistas, entendendo que esse parecer deva considerar, entre outros fatores, as quantidades produzidas, as especificidades de cada diferente produto - a exemplo das diferentes estimativas de tempo de vida para cada diferente modelo de produto - e as questões comportamentais dos consumidores acerca de cada produto - a exemplo das formas de manuseio, tempo médio de utilização e preferências de destinação e/ou descarte dos mesmos frente ao lançamento de novos produtos.

Se a empresa avaliada ainda não tiver canais de logística reversa desenvolvidos para seus próprios produtos pós-consumo, ou se, caso os tenha, esteja promovendo um retorno insuficiente dos seus produtos pós-consumo, recomenda-se a elaboração de estudos que fomentem a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. De forma a proporcionar às empresas um retorno de seus próprios produtos pós-consumo ou complementar o montante retornado, indica-se que esses materiais sejam adquiridos de organizações especializadas na

coleta e triagem de produtos pós-consumo envolvendo resíduos com as mesmas características dos gerados pelos produtos produzidos pela empresa avaliada, a exemplo da compra de resíduos de cooperativas de catadores e, complementarmente, a aquisição de “Certificados” de logística reversa.

A empresa é proativa quando retorna seus produtos pós-consumo, e/ou absorve resíduos com as mesmas características dos gerados pelos produtos produzidos, em quantidade superior ao mínimo estabelecido para retorno, podendo reutilizar maiores quantidades. Essa atitude é salutar para o desempenho ambiental da empresa, uma vez que, no cálculo dos indicadores, o valor de referência utilizado para o cálculo do percentual é o do mínimo estabelecido para retorno. Como fator condicionante, estes indicadores assumirão valor 100 (cem) para quantidades reutilizadas iguais ou maiores que o mínimo estabelecido para retorno.

#### 3.6.1.8 RecProc\_anterior e RecProc\_atual

O cálculo dos indicadores de desempenho ambiental da empresa quanto à reciclagem de resíduos do próprio processo produtivo (RecProc\_anterior e RecProc\_atual) considera o percentual dos resíduos reciclados - oriundos do próprio processo produtivo – em função do total de resíduos gerados nos processos produtivos, no ano em questão (ano anterior ou ano atual).

##### Métrica:

Resíduos reciclados oriundos dos processos produtivos = quantidade (kg) de resíduos (gerados nos processos produtivos internos da empresa) efetivamente reciclados;

Total de resíduos gerados nos processos produtivos = [quantidade (kg) total de insumos adquiridos] - [quantidade (kg) total de produtos produzidos].

##### Composição dos indicadores:

**Ano anterior** = [(massa total dos resíduos gerados nos processos produtivos internos da empresa efetivamente reciclados no ano anterior) / (massa total de resíduos gerados nos processos produtivos internos da empresa no ano anterior) . 100].

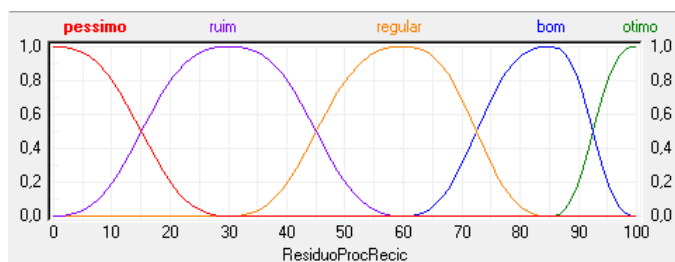
**Ano atual** = [(massa total dos resíduos gerados nos processos produtivos internos da empresa efetivamente reciclados no ano atual) / (massa total dos



resíduos gerados nos processos produtivos internos da empresa no ano atual) . 100].

Diagrama das funções de pertinência dos indicadores:

A Figura 20 apresenta o diagrama das funções de pertinência dos indicadores.



**Figura 20 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores RecProc\_anterior e RecProc\_atual**

Fonte: Elaborado pelo autor

Análise dos resultados possíveis para estes indicadores:

Resultado = 100 significa que 100% dos resíduos gerados nos processos produtivos foi reciclado (**melhor possibilidade**);

$0 < \text{Resultado} < 100$  significa que houve reciclagem inferior a 100% dos resíduos gerados nos processos produtivos;

Resultado = 0 significa que 0% dos resíduos gerados nos processos produtivos foi reciclado (**piores possibilidade**).

Observações:

Se a empresa não gerar nenhum resíduo em seus processos produtivos, isso caracterizará uma condição especial na qual, em não havendo resíduos gerados internamente, não haverá resíduos – oriundos dos processos produtivos da empresa – para serem reutilizados e/ou reciclados e/ou encaminhados para disposição final, acarretando, por conseguinte, no máximo desempenho ambiental de todos esses indicadores.

Dessa forma, quando satisfeita a condição supracitada (não geração interna de resíduos), o resultado deste indicador será igual a 100.

### 3.6.1.9 RecProd\_anterior e RecProd\_atual

O cálculo dos indicadores de desempenho ambiental da empresa quanto à reciclagem de resíduos dos próprios produtos pós-consumo (RecProd\_anterior e

RecProd\_atual) considera o percentual dos resíduos reciclados - oriundos dos próprios Produtos Pós-Consumo – em função da estimativa do montante mínimo de resíduos pós-consumo que devem ser retornados pontualmente para cada empresa, no ano em questão (ano anterior ou ano atual).

Métrica:

Resíduos reciclados oriundos dos produtos pós-consumo = quantidade (kg) de resíduos oriundos dos produtos pós-consumo efetivamente reciclados;

Estimativa do montante mínimo de resíduos pós-consumo que devem ser retornados = quantidade mínima (kg) de resíduos de produtos pós-consumo da empresa que devem ser retornados.

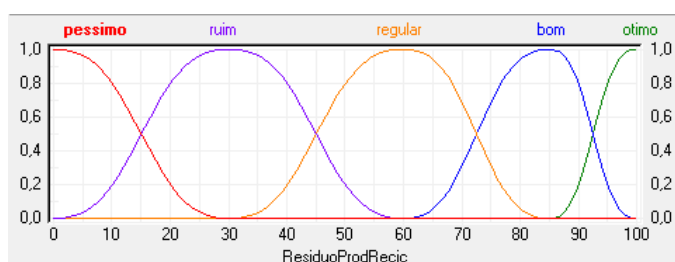
Composição dos indicadores:

**Ano anterior** = [(massa total dos resíduos de produtos pós-consumo da empresa efetivamente reciclados no ano anterior) / (estimativa da massa mínima de resíduos de produtos pós-consumo da empresa que devem ser retornados, referente ao ano anterior) . 100].

**Ano atual** = [(massa total dos resíduos de produtos pós-consumo da empresa efetivamente reciclados no ano atual) / (estimativa da massa mínima de resíduos de produtos pós-consumo da empresa que devem ser retornados, referente ao ano atual) . 100].

Diagrama das funções de pertinência dos indicadores:

A Figura 21 apresenta o diagrama das funções de pertinência dos indicadores.



**Figura 21 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores RecProd\_anterior e RecProd\_atual**

**Fonte: Elaborado pelo autor**

Análise dos resultados possíveis para estes indicadores:

Resultado = 100 significa que o percentual de reciclagem de resíduos dos produtos pós-consumo da empresa atingiu - ou superou - 100% da massa mínima de retorno estimada (**melhor possibilidade**);

0 < Resultado < 100 significa que houve um percentual de reciclagem de resíduos dos produtos pós-consumo da empresa, mas que foi inferior a 100% da massa mínima de retorno estimada;

Resultado = 0 significa que não houve reciclagem de resíduos de produtos pós-consumo (**pioir possibilidade**).

Observações:

Para a determinação anual da “estimativa do montante mínimo de resíduos - oriundos dos produtos pós-consumo da empresa - que devem ser retornados”, é aconselhável a avaliação de especialistas, e esse parecer deve considerar, entre outros fatores, as quantidades produzidas, as especificidades de cada produto - a exemplo das estimativas de tempo de vida para cada modelo de produto - e as questões de escolhas dos consumidores acerca de cada produto - a exemplo das formas de manuseio, tempo médio de utilização e preferências de destinação e/ou descarte dos mesmos frente ao lançamento de novos produtos.

Caso a empresa avaliada ainda não tenha canais de logística reversa desenvolvidos para seus próprios produtos pós-consumo, ou esteja promovendo um retorno insuficiente dos seus produtos pós-consumo, recomenda-se a elaboração de estudos que fomentem a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. De forma a proporcionar às empresas um retorno de seus próprios produtos pós-consumo ou complementar o montante retornado, indica-se que esses materiais sejam adquiridos de organizações especializadas na coleta e triagem de produtos pós-consumo envolvendo resíduos com as mesmas características dos gerados pelos produtos produzidos pela empresa avaliada, a exemplo da compra de resíduos de cooperativas de catadores e, complementarmente, a aquisição de “Certificados” de logística reversa.

Pode-se considerar que a empresa é proativa quando retorna seus produtos pós-consumo, e/ou absorve resíduos com as mesmas características dos gerados pelos produtos produzidos, em quantidade superior ao mínimo estabelecido para retorno, podendo reutilizar maiores quantidades. Essa atitude é benéfica para o desempenho ambiental da empresa, uma vez que, no cálculo dos indicadores, o valor de referência utilizado para o cálculo do percentual é o do mínimo estabelecido para retorno. Como fator condicionante, estes indicadores assumirão valor 100 (cem) para quantidades reutilizadas iguais ou maiores que o mínimo estabelecido para retorno.

### 3.6.1.10 DisProc\_anterior e DisProc\_atual

O cálculo dos indicadores de desempenho ambiental da empresa quanto aos resíduos de processo destinados à disposição final (DisProc\_anterior e DisProc\_atual) considera o percentual dos resíduos - oriundos do próprio processo produtivo - destinados à Disposição final, em função do total de resíduos gerados nos processos produtivos, no ano em questão (ano anterior ou ano atual).

#### Métrica:

Resíduos destinados à Disposição final oriundos dos processos produtivos = quantidade (kg) de resíduos (gerados nos processos produtivos internos da empresa) efetivamente destinados à Disposição final;

Total de resíduos gerados nos processos produtivos = [quantidade (kg) total de insumos adquiridos] - [quantidade (kg) total de produtos produzidos].

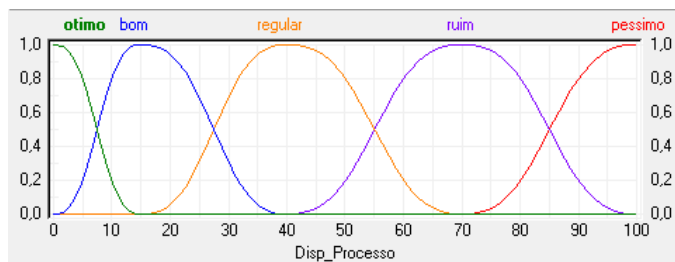
#### Composição dos indicadores:

**Ano anterior** = [(massa total dos resíduos gerados nos processos produtivos internos da empresa efetivamente destinados à Disposição final no ano anterior) / (massa total de resíduos gerados nos processos produtivos internos da empresa no ano anterior) . 100].

**Ano atual** = [(massa total dos resíduos gerados nos processos produtivos internos da empresa efetivamente destinados à Disposição final no ano atual) / (massa total dos resíduos gerados nos processos produtivos internos da empresa no ano atual) . 100].

#### Diagrama das funções de pertinência dos indicadores:

A Figura 22 apresenta o diagrama das funções de pertinência dos indicadores.



**Figura 22 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores DisProc\_anterior e DisProc\_atual**

Fonte: Elaborado pelo autor

Análise dos resultados possíveis para estes indicadores:

Resultado = 0 significa que 0% dos resíduos gerados nos processos produtivos foi destinado à Disposição final (**melhor possibilidade**);

$0 < \text{Resultado} < 100$  significa que houve destinação à Disposição final inferior a 100% dos resíduos gerados nos processos produtivos;

Resultado = 100 significa que 100% dos resíduos gerados nos processos produtivos foi destinado à Disposição final (**piores possibilidade**).

Observações:

Se a empresa não gerar nenhum resíduo em seus processos produtivos, isso caracterizará uma condição especial na qual, em não havendo resíduos gerados internamente, não haverá resíduos – oriundos dos processos produtivos da empresa – para serem reutilizados e/ou reciclados e/ou encaminhados para Disposição final, acarretando, por conseguinte, no máximo desempenho ambiental de todos esses indicadores.

Dessa forma, quando satisfeita a condição supracitada (não geração interna de resíduos), o resultado deste indicador será igual a zero (0).

### 3.6.1.11 DisProd\_anterior e DisProd\_atual

O cálculo dos indicadores de desempenho ambiental da empresa quanto aos resíduos dos próprios produtos pós-consumo destinados à disposição final (DisProd\_anterior e DisProd\_atual) considera o percentual dos resíduos - oriundos dos próprios Produtos Pós-Consumo - destinados à Disposição final, em função da estimativa do montante mínimo de resíduos pós-consumo que devem ser retornados pontualmente para cada empresa, no ano em questão (ano anterior ou ano atual).

Métrica:

Resíduos destinados à Disposição final oriundos dos produtos pós-consumo = quantidade (kg) de resíduos oriundos dos produtos pós-consumo efetivamente destinados à Disposição final;

Estimativa do montante mínimo de resíduos pós-consumo que devem ser retornados = quantidade mínima (kg) de resíduos de produtos pós-consumo da empresa que devem ser retornados.

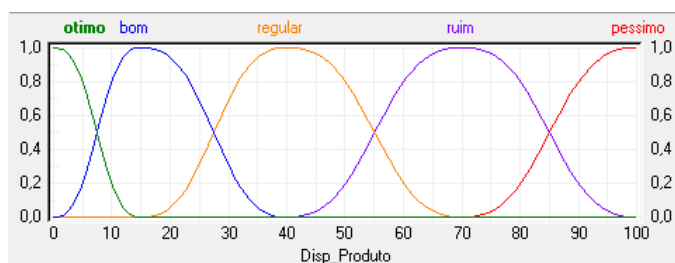
Composição dos indicadores:

**Ano anterior** = [(massa total dos resíduos de produtos pós-consumo da empresa efetivamente destinados à Disposição final no ano anterior) / (estimativa da massa mínima de resíduos de produtos pós-consumo da empresa que devem ser retornados, referente ao ano anterior) . 100].

**Ano atual** = [(massa total dos resíduos de produtos pós-consumo da empresa efetivamente destinados à Disposição final no ano atual) / (estimativa da massa mínima de resíduos de produtos pós-consumo da empresa que devem ser retornados, referente ao ano atual) . 100].

Diagrama das funções de pertinência dos indicadores:

A Figura 23 apresenta o diagrama das funções de pertinência dos indicadores.



**Figura 23 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores DisProd\_anterior e DisProd\_atual**

**Fonte: Elaborado pelo autor**

Análise dos resultados possíveis para estes indicadores:

Resultado = 0 significa que não houve Disposição final dos resíduos de produtos pós-consumo retornados pela empresa (**melhor possibilidade**);

$0 < \text{Resultado} < 100$  significa que houve um percentual de destinação à Disposição final de resíduos dos produtos pós-consumo da empresa, que foi inferior a 100% da massa mínima de retorno estimada;

Resultado = 100 significa que o percentual de Disposição final de resíduos dos produtos pós-consumo da empresa atingiu - ou superou - 100% da massa mínima de retorno estimada (**pioir possibilidade**).

Observações:

Para determinar anualmente a “estimativa do montante mínimo de resíduos oriundos dos produtos pós-consumo da empresa - que devem ser retornados”, é sugerida uma avaliação de especialistas, e esse parecer deve considerar, entre outros fatores, as quantidades produzidas, as especificidades de cada produto - a exemplo das estimativas de tempo de vida para cada modelo de produto - e as questões de escolhas dos consumidores acerca de cada produto - a exemplo das formas de manuseio, tempo médio de utilização e preferências de destinação e/ou descarte dos mesmos frente ao lançamento de novos produtos.

Na hipótese da empresa avaliada ainda não ter canais de logística reversa desenvolvidos para seus próprios produtos pós-consumo, ou esteja promovendo um retorno insuficiente dos seus produtos pós-consumo, recomenda-se a elaboração de estudos que fomentem a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. De forma a proporcionar às empresas um retorno de seus próprios produtos pós-consumo ou complementar o montante retornado, sugere-se que esses materiais sejam adquiridos de organizações especializadas na coleta e triagem de produtos pós-consumo envolvendo resíduos com as mesmas características dos gerados pelos produtos produzidos pela empresa avaliada, a exemplo da compra de resíduos de cooperativas de catadores e, complementarmente, a aquisição de “Certificados” de logística reversa.

Fatores condicionantes para a determinação do valor final destes indicadores:

Considerando  $m_{reu}$  = massa de resíduos de produtos pós-consumo retornados destinada à reutilização;  $m_{recicl}$  = massa de resíduos de produtos pós-consumo retornados destinada à reciclagem;  $m_{disp}$  = massa de resíduos de produtos pós-consumo retornados destinada à Disposição final; e  $m_{mínretorno}$  = massa mínima de retorno estimada para a empresa em questão:

Se  $[(m_{reu} + m_{recicl} + m_{disp}) < (m_{mínretorno})]$  isso significa que a empresa não atingiu o valor mínimo de retorno no ano em questão.

Se  $[(m_{\text{reu}} + m_{\text{recicl}}) < (m_{\text{mínretorno}})]$  e  $m_{\text{disp}}$  declarada pela empresa é “zero”, isso significa que, no ano em questão, não houve destinação de resíduos pós-consumo à Disposição final e também que o valor mínimo de retorno não foi alcançado.

Nos casos supracitados, adota-se, para este indicador:  $m_{\text{disp}} = [m_{\text{mínretorno}} - (m_{\text{reu}} + m_{\text{recicl}})]$ .

Esta forma de cálculo visa motivar um maior empenho das empresas no sentido de atingir o  $m_{\text{mínretorno}}$  e, complementarmente, fomentar a busca pelo aumento dos valores de  $m_{\text{reu}}$  e  $m_{\text{recicl}}$ .

Se  $[(m_{\text{reu}} + m_{\text{recicl}}) < (m_{\text{mínretorno}})]$  e  $m_{\text{disp}}$  declarada pela empresa é maior que “zero”, mesmo que seu valor seja superior a  $m_{\text{mínretorno}}$ , isso significa que a empresa foi proativa e conseguiu retornar mais produtos pós-consumo do que o mínimo estabelecido para retorno. Neste caso, adota-se, para este indicador:  $m_{\text{disp}} = [m_{\text{mínretorno}} - (m_{\text{reu}} + m_{\text{recicl}})]$ .

Dessa forma, espera-se estimular um maior empenho das empresas no sentido de superar o  $m_{\text{mínretorno}}$  e, complementarmente, impelir a busca pelo aumento dos valores de  $m_{\text{reu}}$  e  $m_{\text{recicl}}$ .

Se  $[(m_{\text{reu}} + m_{\text{recicl}}) \geq (m_{\text{mínretorno}})]$  isso significa que a empresa atingiu – ou superou – o valor mínimo estabelecido para retorno por meio de resíduos destinados à reutilização e/ou reciclagem. Neste caso, adota-se para este indicador:  $m_{\text{disp}} = 0$ .

Dessa forma, espera-se incentivar o maior empenho das empresas no sentido de obter valores significativos de  $m_{\text{reu}}$  e  $m_{\text{recicl}}$  em relação a  $m_{\text{mínretorno}}$ , possibilitando obter desempenho máximo deste indicador, mesmo que haja resíduos de produtos pós-consumo encaminhados pela empresa à Disposição final.

Analisado de forma holística, o incentivo supracitado pode trazer reflexos extremamente positivos para a Política Nacional de Resíduos Sólidos e para o setor industrial, por envolver o *Ecodesign* dos produtos produzidos (possibilitando a efetiva reutilização e/ou reciclagem de peças e materiais) além de viabilizar a Disposição final ambientalmente adequada de maior quantidade de rejeitos.



### 3.6.1.12 ClaProc\_anterior e ClaProc\_atual

O cálculo dos indicadores de desempenho ambiental da empresa quanto à classificação dos resíduos de processo destinados à Disposição final (ClaProc\_anterior e ClaProc\_atual) considera a massa dos resíduos do próprio Processo produtivo destinados à Disposição final e suas classificações de acordo com a norma ABNT NBR 10.004, no ano em questão (ano anterior ou ano atual).

#### Métrica:

Contabiliza-se a massa dos resíduos do próprio Processo produtivo destinados à Disposição final no ano em questão e suas classificações de acordo com a norma ABNT NBR 10.004 (“classe I” - perigosos, “classe IIA” - não perigosos não inertes, “classe IIB” – inertes).

Exemplo: destinados à Disposição final “x” kg de resíduos classe I no ano; destinados à Disposição final “x” kg de resíduos classe II-A no ano.

#### Observações:

Após contabilizar a massa e a classe de todos os resíduos de processo destinados a Disposição final no ano em questão, calculam-se os percentuais em relação ao total de resíduos de processo destinados a Disposição final no ano em questão: “x% dos resíduos classe I”, “x% dos resíduos classe II-A” e “x% dos resíduos classe II-B”.

#### Ponderação:

Em ordem crescente, as ponderações para os níveis de classificação dos resíduos (considerando a maior passividade dos resíduos dispostos) são: “zero” para os resíduos classe I (perigosos), “um” para os resíduos classe II-A (não perigosos – não inertes) e “dois” para os resíduos classe II-B (não perigosos – inertes).

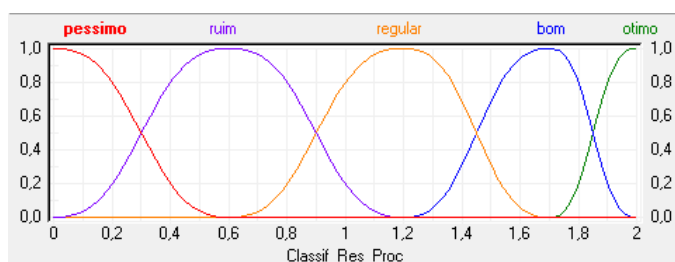
#### Composição dos indicadores:

**Ano anterior** = (% dos resíduos classe I de processo dispostos no ano anterior . 0) + (% dos resíduos classe IIA de processo dispostos no ano anterior . 1) + (% dos resíduos classe IIB de processo dispostos no ano anterior . 2).

**Ano atual** = (% dos resíduos classe I de processo dispostos no ano atual . 0) + (% dos resíduos classe IIA de processo dispostos no ano atual . 1) + (% dos resíduos classe IIB de processo dispostos no ano atual . 2).

#### Diagrama das funções de pertinência dos indicadores:

A Figura 24 apresenta o diagrama das funções de pertinência dos indicadores.



**Figura 24 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores ClaProc\_anterior e ClaProc\_atual**

**Fonte: Elaborado pelo autor**

Análise dos resultados possíveis para estes indicadores:

Resultado = 2 significa que 100% dos resíduos oriundos dos processos produtivos e destinados à Disposição final possuem classificação “classe II-B” **(melhor possibilidade)**;

$0 < \text{Resultado} < 2$  significa que há um percentual de resíduos oriundos dos processos produtivos e destinados à Disposição final que possuem classificação “classe II-A” e/ou “classe II-B”;

Resultado = 0 significa que 100% dos resíduos oriundos dos processos produtivos e destinados à Disposição final possuem classificação “classe I” **(pior possibilidade)**.

Observações:

Se a empresa não gerar nenhum resíduo em seus processos produtivos, isso caracterizará uma condição especial na qual, em não havendo resíduos gerados internamente, não haverá resíduos – oriundos dos processos produtivos da empresa – para serem reutilizados e/ou reciclados e/ou encaminhados para disposição final, acarretando, por conseguinte, no máximo desempenho ambiental de todos esses indicadores.

Dessa forma, quando satisfeita a condição supracitada (não geração interna de resíduos), o resultado deste indicador será igual a 2.

### 3.6.1.13 ClaProd\_anterior e ClaProd\_atual

O cálculo dos indicadores de desempenho ambiental da empresa quanto à classificação dos resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo destinados à

Disposição final (ClaProd\_anterior e ClaProd\_atual) considera a massa dos resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo destinados à Disposição final e suas classificações de acordo com a norma ABNT NBR 10.004, no ano em questão (ano anterior ou ano atual).

Métrica:

Contabiliza-se a massa dos resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo destinados à Disposição final no ano em questão e suas classificações de acordo com a norma ABNT NBR 10.004 (“classe I” - perigosos, “classe IIA” - não perigosos não inertes, “classe IIB” – inertes).

Exemplo: destinados à Disposição final “x” kg de resíduos classe I no ano; destinados à Disposição final “x” kg de resíduos classe II-A no ano.

Observações:

Após contabilizar a massa e a classe de todos os resíduos de produto destinados a Disposição final no ano em questão, calculam-se os percentuais em relação ao total de resíduos de produto destinados a Disposição final no ano em questão: “x% dos resíduos classe I”, “x% dos resíduos classe II-A” e “x% dos resíduos classe II-B”.

Ponderação:

Em ordem crescente, as ponderações para os níveis de classificação dos resíduos (considerando a maior passividade dos resíduos dispostos) são: “zero” para os resíduos classe I (perigosos), “um” para os resíduos classe II-A (não perigosos – não inertes) e “dois” para os resíduos classe II-B (não perigosos – inertes).

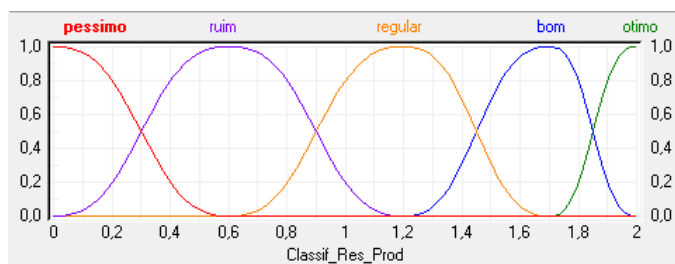
Composição dos indicadores:

**Ano anterior** = (% dos resíduos classe I de produto dispostos no ano anterior . 0) + (% dos resíduos classe IIA de produto dispostos no ano anterior . 1) + (% dos resíduos classe IIB de produto dispostos no ano anterior . 2).

**Ano atual** = (% dos resíduos classe I de produto dispostos no ano atual . 0) + (% dos resíduos classe IIA de produto dispostos no ano atual . 1) + (% dos resíduos classe IIB de produto dispostos no ano atual . 2).

Diagrama das funções de pertinência dos indicadores:

A Figura 25 apresenta o diagrama das funções de pertinência dos indicadores.



**Figura 25 - Diagrama das funções de pertinência dos Indicadores ClaProd\_anterior e ClaProd\_atual**

Fonte: Elaborado pelo autor

Análise dos resultados possíveis para os indicadores:

Resultado = 2 significa que 100% dos resíduos oriundos dos produtos pós-consumo e destinados à Disposição final possuem classificação “classe II-B” **(melhor possibilidade)**;

$0 < \text{Resultado} < 2$  significa que há um percentual de resíduos oriundos dos produtos pós-consumo e destinados à Disposição final que possuem classificação “classe II-A” e/ou “classe II-B”;

Resultado = 0 significa que 100% dos resíduos oriundos dos produtos pós-consumo e destinados à Disposição final possuem classificação “classe I” **(pior possibilidade)**.

Fatores condicionantes para a determinação do valor final destes indicadores:

Considerando  $m_{\text{reu}}$  = massa de resíduos de produtos pós-consumo retornados destinada à reutilização;  $m_{\text{recicl}}$  = massa de resíduos de produtos pós-consumo retornados destinada à reciclagem;  $m_{\text{disp}}$  = massa de resíduos de produtos pós-consumo retornados destinada à disposição final; e  $m_{\text{mínretorno}}$  = massa mínima de retorno estimada para a empresa em questão:

Se  $[(m_{\text{reu}} + m_{\text{recicl}}) \geq (m_{\text{mínretorno}})]$  e  $m_{\text{disp}}$  declarada pela empresa é “zero”, isso significa que, no ano em questão, não houve destinação de resíduos pós-consumo à Disposição final, e que o valor mínimo de retorno foi alcançado por meio de reutilização e reciclagem. Neste caso específico, adota-se, como resultado para este indicador o valor “dois” (máximo desempenho).

Se  $[(m_{\text{reu}} + m_{\text{recicl}}) < (m_{\text{mínretorno}})]$  e  $m_{\text{disp}}$  declarada pela empresa é “zero”, isso significa que, no ano em questão, não houve destinação de resíduos pós-

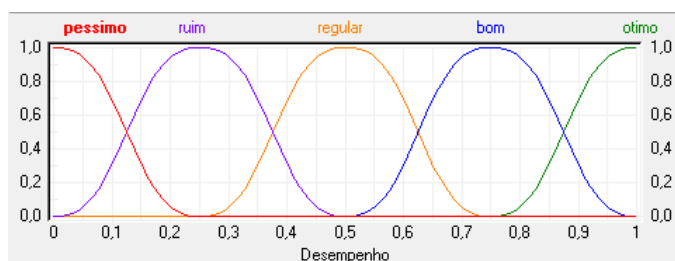
consumo à Disposição final e também que o valor mínimo de retorno não foi alcançado. Neste caso específico, adota-se o valor proporcional entre  $(m_{\text{reu}}+m_{\text{recicl}})/(m_{\text{mínretorno}})$  e  $(\text{ClaProd})/(2)$  para este indicador.

Assim, espera-se estimular o maior empenho das empresas no sentido de atingir o  $m_{\text{mínretorno}}$  e, complementarmente, incentivar a busca pelo aumento dos valores de  $m_{\text{reu}}$  e  $m_{\text{recicl}}$ , e diminuição do valor e da periculosidade de  $m_{\text{disp}}$ .

### 3.6.2 Índices Primários

Nesta pesquisa, os índices primários promovem a inferência dos valores linguísticos dos seus respectivos indicadores fuzzificados (*inputs*) – referentes ao “ano anterior” e ao “ano atual” – articulando a **normalização dos valores de saída** (*outputs*) para um “universo do discurso” entre 0 e 1, com termos linguísticos simétricos ao longo dessa faixa (valores *crisp* de máxima pertinência: “péssimo” = 0, “ruim” = 0,25, “regular” = 0,5, “bom” = 0,75 e “ótimo” = 1).

A Figura 26 apresenta um exemplo de diagrama das funções de pertinência dos índices primários da ferramenta IDEA PNRS+L.



**Figura 26 - Diagrama das funções de pertinência dos Índices Primários da ferramenta IDEA PNRS+L**

Fonte: Elaborado pelo autor

Para avaliar o desempenho ambiental dos indicadores, considerando a relação entre o “ano anterior” e o “ano atual”, um bloco de regras de causa “se” e consequência “então” foi determinado.

O Quadro 11 apresenta o bloco de regras, estabelecido nesta pesquisa, para a avaliação do desempenho ambiental dos indicadores na relação entre o “ano anterior” e o “ano atual”.

| Regra | SE<br>o indicador<br>referente ao <u>ano</u><br><u>anterior</u> foi | e | SE<br>o indicador<br>referente ao <u>ano</u><br><u>atual</u> é | = | ENTÃO<br>o desempenho ambiental da empresa<br>no período, atrelado a esse indicador,<br>foi |
|-------|---|---|--|---|---|
| 1     | ótimo   |   | ótimo  |   | Ótimo   |
| 2     | ótimo   |   | bom  |   | Regular   |
| 3     | ótimo   |   | regular  |   | Ruim  |
| 4     | ótimo   |   | ruim   |   | Péssimo   |
| 5     | ótimo   |   | péssimo  |   | Péssimo   |
| 6     | bom   |   | ótimo  |   | Ótimo   |
| 7     | bom   |   | bom  |   | Bom   |
| 8     | bom   |   | regular  |   | Ruim  |
| 9     | bom   |   | ruim   |   | Péssimo   |
| 10    | bom   |   | péssimo  |   | Péssimo   |
| 11    | regular   |   | ótimo  |   | Ótimo   |
| 12    | regular   |   | bom  |   | Ótimo   |
| 13    | regular   |   | regular  |   | Regular   |
| 14    | regular   |   | ruim   |   | Péssimo   |
| 15    | regular   |   | péssimo  |   | Péssimo   |
| 16    | ruim  |   | ótimo  |   | Ótimo   |
| 17    | ruim  |   | bom  |   | Ótimo   |
| 18    | ruim  |   | regular  |   | Bom   |
| 19    | ruim  |   | ruim   |   | Ruim  |
| 20    | ruim  |   | péssimo  |   | Péssimo   |
| 21    | péssimo   |   | ótimo  |   | Ótimo   |
| 22    | péssimo   |   | bom  |   | Ótimo   |
| 23    | péssimo   |   | regular  |   | Bom   |
| 24    | péssimo   |   | ruim   |   | Regular   |
| 25    | péssimo   |   | péssimo  |   | Péssimo   |

Quadro 11 – Bloco de regras-padrão para os índices primários  
Fonte: Elaborado pelo autor

Observações:

Em não havendo melhora ou piora dos indicadores, mantém-se o patamar em que se encontram (regras 1, 7, 13, 19 e 25);

Em havendo **melhora** do indicador do ano atual em relação ao ano anterior, assume-se o próximo patamar imediatamente mais favorável ao do indicador do ano atual. Regra 24: **regular** (pequena melhora); regras 18 e 23: **bom** (média melhora); regras 6, 11, 12, 16, 17, 21, 22: **ótimo** (grande melhora).

Pequena melhora identifica um desempenho regular do indicador, pois melhora apenas um nível acima do pior existente.

Média melhora identifica um bom desempenho do indicador, já que avança para uma condição intermediária.

Grande melhora identifica um ótimo desempenho do indicador, já que avança para uma condição superior.

Em havendo **piora** do indicador do ano atual em relação ao ano anterior, assume-se o próximo patamar imediatamente menos favorável ao do indicador do ano atual. Regra 2: **regular** (pequena piora); regras 3 e 8: **ruim** (média piora); regras 4, 5, 9, 10, 14, 15 e 20: **péssimo** (grande piora).

Pequena piora identifica um desempenho regular do indicador, pois piora apenas um nível abaixo do melhor existente.

Média piora identifica um desempenho ruim do indicador, já que regride para uma condição intermediária.

Grande piora identifica um péssimo desempenho do indicador, já que regride para uma condição inferior.

Nomeados os índices, o pesquisador teve o cuidado com o aspecto da acentuação de palavras para a inserção dos dados no *software fuzzyTECH*<sup>®</sup>. Todavia, este programa não é compatível com os caracteres acentuados da língua portuguesa e, por esta razão, optou-se por mencioná-los na configuração do *software*.

São índices primários:

- Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto ao Sistema de Gestão Ambiental dos fabricantes dos insumos adquiridos (ISO\_14001): *obtido a partir dos indicadores ISO\_anterior e ISO\_atual*;

- Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto às Rotulagens ambientais dos insumos adquiridos (Rotulagem Ambien): *obtido a partir dos indicadores Rotulo\_anterior e Rotulo\_atual*;

- Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto à Geração Interna de Resíduos Industriais (Interna): *obtido a partir dos indicadores Interna\_anterior e Interna\_atual*;

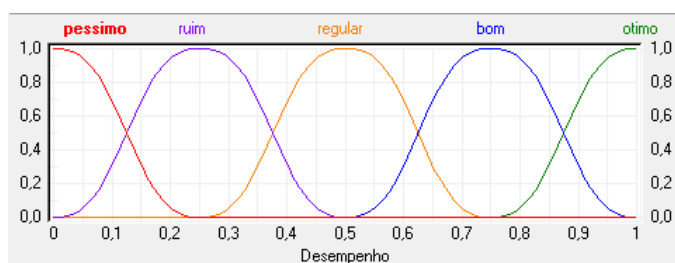
- Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto à Condição ambiental dos produtos produzidos, envolvendo eficiência, limpeza e durabilidade (**Produto\_Ecoefici**): *obtido a partir dos indicadores Ecoefic\_anterior e Ecoefic\_atual;*
- Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto à Condição ambiental dos produtos produzidos, envolvendo a separação/desmontagem das partes dos materiais e a reaplicação dos materiais descartados (**Produto\_Reaplic**): *obtido a partir dos indicadores Reaplic\_anterior e Reaplic\_atual;*
- Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto à Reutilização de resíduos do próprio Processo produtivo (**Reut\_Processo**): *obtido a partir dos indicadores ReuProc\_anterior e ReuProc\_atual;*
- Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto à Reutilização de resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo (**Reut\_Produto**): *obtido a partir dos indicadores ReuProd\_anterior e ReuProd\_atual;*
- Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto à Reciclagem de resíduos do próprio Processo produtivo (**Recic\_Processo**): *obtido a partir dos indicadores RecProc\_anterior e RecProc\_atual;*
- Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto à Reciclagem de resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo (**Recic\_Produto**): *obtido a partir dos indicadores RecProd\_anterior e RecProd\_atual;*
- Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto aos resíduos de processo destinados à Disposição final (**Disp\_Processo**): *obtido a partir dos indicadores DisProc\_anterior e DisProc\_atual;*
- Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto aos resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo destinados à Disposição final (**Disp\_Produto**): *obtido a partir dos indicadores DisProd\_anterior e DisProd\_atual;*
- Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto à classificação dos resíduos de processo destinados à Disposição final (**Classif\_Processo**): *obtido a partir dos indicadores ClaProc\_anterior e ClaProc\_atual;*
- Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto à classificação dos resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo destinados à Disposição final (**Classif\_Produto**): *obtido a partir dos indicadores ClaProd\_anterior e ClaProd\_atual.*



### 3.6.3 Índices Secundários, Terciários e Final

Os índices secundários são obtidos a partir dos índices primários; os índices terciários são obtidos a partir dos índices secundários; e o índice final, por sua vez, é obtido a partir dos índices terciários. Os índices secundários, terciários e final mantêm o “universo do discurso” entre 0 e 1, e assumem termos linguísticos simétricos ao longo dessa faixa (valores *crisp* de máxima pertinência: “péssimo” = 0, “ruim” = 0,25, “regular” = 0,5, “bom” = 0,75 e “ótimo” = 1),

A Figura 27 apresenta um exemplo de diagrama das funções de pertinência dos índices secundários, terciários e final da ferramenta IDEA PNRS+L.



**Figura 27 - Diagrama das funções de pertinência dos Índices Secundários, Terciários e Final da ferramenta IDEA PNRS+L**  
**Fonte: Elaborado pelo autor**

Nesta pesquisa, os índices secundários, terciários e final são obtidos por meio da inferência dos valores linguísticos dos seus respectivos índices componentes fuzzificados, considerando, além disso, o grau de influência de cada índice componente.

Os referidos graus de influência, apresentados no Apêndice E, foram determinados por meio de pesquisa de opinião (Método Delphi) – envolvendo especialistas na área ambiental – e refinamento dos resultados obtidos, conforme exposto no tópico 3.1 desta Tese (instrumentos de pesquisa e análise).

A partir dos graus de influência determinados pelos especialistas, foram criados blocos de regras de causa “se” e consequência “então” conforme apresenta o Apêndice F (referente aos índices secundários), Apêndice G (referente aos índices terciários) e Apêndice H (referente ao índice final).

#### 3.6.3.1 Índices Secundários

##### 3.6.3.1.1 Externa\_Insumos

O desempenho ambiental da empresa avaliada sofre a influência do desempenho ambiental acerca dos insumos que adquire para suas atividades produtivas. Dessa forma, como fator inerente ao desempenho ambiental dos insumos adquiridos pela empresa avaliada, no sentido da Não Geração e Minimização de resíduos na fonte geradora, o índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Geração Externa de Resíduos Industriais - Insumos (*Externa\_Insumos*) também leva em consideração a gestão de resíduos dos fornecedores dos insumos adquiridos.

Assim, este índice secundário é obtido pela composição dos seguintes índices primários: *ISO\_14001* e *Rotulagem\_Ambien*.

#### 3.6.3.1.2 *Externa\_Produtos*

O índice de desempenho ambiental da empresa quanto a Geração Externa de Resíduos Industriais - Produtos (*Externa\_Produtos*) considera as melhorias (ou piorias) de desempenho ambiental - proporcionadas por mudanças efetuadas nos produtos produzidos – considerando a Não geração e a Redução de resíduos industriais na fonte geradora (ou seja, considera-se como fonte geradora de resíduos o próprio produto, após sua concepção por meio dos processos produtivos). Dessa forma, avalia-se o desempenho ambiental dos produtos em si mesmos, por meio de informações autodeclaradas pela empresa (características ecológicas que determinam a condição ambiental dos produtos produzidos pela empresa).

Assim, este índice secundário é obtido pela composição dos seguintes índices primários (ambos atrelados ao conceito de “*Ecodesign*”): *Produto\_Ecoefici* e *Produto\_Reaplic*.

#### 3.6.3.1.3 *Reutilizacao*

O índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto à Reutilização de Resíduos Industriais (*Reutilizacao*) é obtido pela composição dos seguintes índices primários: *Reut\_Processo* e *Reut\_Produto*.

#### 3.6.3.1.4 *Reciclagem*

O índice de desempenho ambiental da empresa quanto a Reciclagem de Resíduos Industriais (Reciclagem) é obtido pela composição dos seguintes índices primários: *Recic\_Processo* e *Recic\_Produto*.

#### 3.6.3.1.5 *Quantidade\_Dis*

O índice de desempenho ambiental da empresa quanto à quantidade de resíduos destinada à Disposição final (*Quantidade\_Dis*) é obtido pela composição dos seguintes índices primários: *Disp\_Processo* e *Disp\_Produto*.

#### 3.6.3.1.6 *Classif\_Dis*

O índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto à classificação dos resíduos destinados à Disposição final (*Classif\_Dis*) é obtido pela composição dos seguintes índices primários: *Classif\_Processo* e *Classif\_Produto*.

### 3.6.3.2 Índices Terciários

#### 3.6.3.2.1 *Geracao*

O índice de desempenho ambiental da empresa quanto à Geração de Resíduos Industriais (*Geracao*) é obtido pela composição de três índices: *Externa\_Insumos* (índice secundário), *Interna* (índice primário) e *Externa\_Produtos* (índice secundário).

Leva em conta, portanto, os resultados obtidos pelo empreendimento no sentido da Não geração e da Redução de resíduos industriais na fonte geradora, englobando os insumos, os processos produtivos e os produtos produzidos pela empresa avaliada.

#### 3.6.3.2.2 *Aproveitamento*

O índice de desempenho ambiental da empresa quanto ao Aproveitamento de Resíduos Industriais (Aproveitamento) é obtido pela composição de dois índices secundários: *Reutilizacao* e *Reciclagem*. Leva em conta, portanto, os resultados obtidos pelo empreendimento no sentido do aproveitamento dos resíduos industriais por meio de reutilização e reciclagem.

#### 3.6.3.2.3 *Disposicao\_Final*

Partindo da premissa de que quanto menor for a quantidade de resíduos destinados à disposição final e menor for a periculosidade envolvendo esses resíduos, potencialmente menores se tornarão os impactos ambientais adversos. O índice de desempenho ambiental da empresa quanto a Disposição Final de seus Resíduos Industriais (*Disposicao\_Final*) é obtido pela composição de dois índices secundários: *Quantidade\_Disposicao* e *Classif\_Disposicao*.

#### 3.6.3.3 Índice Final

##### 3.6.3.3.1 *IDEA*

O Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto à Gestão de Resíduos Sólidos Industriais (IDEA) é obtido pela composição de três índices terciários: *Geracao*, *Aproveitamento* e *Disposicao\_Final*.

### 3.7 SIMULAÇÕES E TESTES DO MODELO

Simulações e testes foram necessários para avaliar a aplicabilidade do instrumento a fim de garantir que o comportamento idealizado concebido pelo modelo fosse efetivamente realizado na prática.

## 3.7.1 Planilha eletrônica de cálculo

Foi utilizada uma planilha eletrônica de cálculo (Microsoft Excel®), de forma a sistematizar os cálculos envolvendo os dados de entrada (dados fornecidos pelas empresas) e os indicadores que compõem o modelo. O Quadro 12 apresenta uma descrição sucinta dos dados de entrada, bem como suas unidades de medida e categorizações por grupos de informações.

| <b>DESCRIÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA DO IDEA PNRS+L</b><br><i>(são necessárias as informações referentes ao ano anterior e também ao ano atual)</i> |   |                           |   |
|--|---|---------------------------|---|
| <b>*</b>   | Dados fornecidos pelas empresas para a composição do IDEA PNRS+L (referentes ao ano em questão)   | <b>Unidade</b>            | <b>Grupos de informações</b>                                |
| <b>a</b>   | Insumos efetivamente utilizados, adquiridos de fabricantes "sem certificação ISO 14001"   | <b>kg</b>                 | <b>Insumos utilizados</b>                                   |
| <b>b</b>   | Insumos efetivamente utilizados, adquiridos de fabricantes "em processo de certificação ISO 14001"  |                           |   |
| <b>c</b>   | Insumos efetivamente utilizados, adquiridos de fabricantes "certificados ISO 14001"   |                           |   |
| <b>d</b>   | Insumos efetivamente utilizados, adquiridos "sem rotulagem ambiental"   | <b>kg</b>                 |   |
| <b>e</b>   | Insumos efetivamente utilizados, adquiridos "com rotulagem ambiental tipo II"   |                           |   |
| <b>f</b>   | Insumos efetivamente utilizados, adquiridos "com rotulagem ambiental tipo I"  |                           |   |
| <b>g</b>   | Insumos efetivamente utilizados, adquiridos "com rotulagem ambiental tipo III"  |                           |   |
| <b>h</b>   | Produtos produzidos   | <b>kg</b>                 | <b>Produtos produzidos</b>                                  |
| <b>i</b>   | Condição ambiental dos produtos produzidos, envolvendo eficiência, limpeza e durabilidade   | <b>Pontos<sup>1</sup></b> | <b>Condição Ambiental dos Produtos produzidos</b>           |
| <b>j</b>   | Condição ambiental dos produtos produzidos, envolvendo separação/desmontagem das partes dos materiais e reaplicação dos materiais descartados |                           |   |
| <b>k</b>   | Resíduos reutilizados (oriundos dos processos produtivos internos)  | <b>kg</b>                 | <b>Resíduos Reutilizados</b>                                |
| <b>l</b>   | Resíduos reutilizados (oriundos dos produtos pós-consumo)   |                           |   |
| <b>m</b>   | Resíduos reciclados (oriundos dos processos produtivos internos)  | <b>kg</b>                 | <b>Resíduos Reciclados</b>                                  |
| <b>n</b>   | Resíduos reciclados (oriundos dos produtos pós-consumo)   |                           |   |
| <b>o</b>   | Rejeitos classe I dispostos (oriundos dos processos produtivos internos)  | <b>kg</b>                 | <b>Resíduos de processo encaminhados à Disposição Final</b> |
| <b>p</b>   | Rejeitos classe IIA dispostos (oriundos dos processos produtivos internos)  |                           |   |
| <b>q</b>   | Rejeitos classe IIB dispostos (oriundos dos processos produtivos internos)  |                           |   |

|          |  |           |   |
|----------|--|-----------|---|
| <b>r</b> | Rejeitos classe I dispostos (oriundos dos produtos pós-consumo)  | <b>kg</b> | <b>Resíduos de produtos pós-consumo encaminhados à Disposição Final</b> |
| <b>s</b> | Rejeitos classe IIA dispostos (oriundos dos produtos pós-consumo)  |           |   |
| <b>t</b> | Rejeitos classe IIB dispostos (oriundos dos produtos pós-consumo)  |           |   |
| <b>u</b> | Montante mínimo de resíduos de produtos pós-consumo da própria empresa que devem ser retornados <sup>2</sup> | <b>kg</b> | <b>Mínimo de Resíduos de produtos pós-consumo a ser Retornado</b>       |

<sup>[1]</sup> As letras relacionadas aos dados fornecidos pela empresa são utilizadas no Quadro 13, a seguir, para mostrar a composição das fórmulas matemáticas dos indicadores do IDEA PNRS+L;

<sup>[1]</sup> Pontuação obtida por meio do preenchimento do “Questionário para os indicadores de *Ecodesign*” (conforme exemplo apresentado no Apêndice C);

<sup>[2]</sup> Montante mínimo obtido por meio de logística reversa dos produtos pós-consumo produzidos pela própria empresa e/ou retorno de produtos pós-consumo produzidos por outras empresas, desde que constituídos por materiais com as mesmas características dos produzidos pela própria empresa. *Esse valor é determinado por especialistas, considerando as diversas variáveis pertinentes (quantidades produzidas, especificidades de cada diferente produto - a exemplo das diferentes estimativas de tempo de vida para cada diferente modelo de produto - e as questões comportamentais dos consumidores acerca de cada produto - a exemplo das formas de manuseio, tempo médio de utilização e preferências de destinação e/ou descarte dos mesmos frente ao lançamento de novos produtos, entre outras considerações possíveis).*

#### **Quadro 12- Quadro-resumo dos dados de entrada do IDEA PNRS+L**

**Fonte: Elaborado pelo autor**

Na planilha eletrônica de cálculo, cada dado de entrada – representado pelas letras minúsculas de “a” até “u” da primeira coluna à esquerda do Quadro 12 – possui um endereço específico. Os valores inseridos nesses endereços são, por conseguinte, utilizados na composição dos indicadores do modelo.

O Quadro 13 apresenta uma síntese das características dos indicadores, relacionando os aspectos aos quais estão agrupados, os valores representativos da pior e da melhor condição estabelecida para cada indicador, a composição dos indicadores – fórmulas matemáticas utilizando os dados de entrada, que são representados pelas letras minúsculas de “a” até “u” da primeira coluna à esquerda do Quadro 12 – além dos fatores condicionantes considerados.

| IDEA PNRS+L: 26 Indicadores<br>(13 pares referentes ao ano anterior e ao ano atual) |                                  | Valor <i>crisp</i> representativo da condição do indicador |                 | *Composição do indicador                          | Fatores condicionantes considerados   |
|---|----------------------------------|--|-----------------|---|---|
| Indicadores relacionados a  | Indicadores                      | Pior condição  | Melhor condição |   |   |
| <b>Geração de resíduos</b>  | ISO_anterior e ISO_atual         | 0  | 2               | $[b/(a+b+c)] + 2[c/(a+b+c)]$                      | –   |
|   | Rotulo_anterior e Rotulo_atual   | 0  | 3               | $[e/(d+e+f+g)] + 2[f/(d+e+f+g)] + 3[g/(d+e+f+g)]$ | –   |
|   | Interna_anterior e Interna_atual | 2  | 1               | $(a+b+c) / h$                                     | SE $[(a+b+c) / h] > 2$ ENTÃO indicador=2                                      |
|   | Ecoefic_anterior e Ecoefic_atual | 0  | 190             | i   | Questionário (Apêndice C)   |
|   | Reaplic_anterior e Reaplic_atual | 0  | 70              | j   | Questionário (Apêndice C)   |
| <b>Aproveitamento de resíduos</b>   | ReuProc_anterior e ReuProc_atual | 0  | 100             | $100(k) / [(a+b+c) - h]$                          | SE $[(a+b+c) - h] = 0$ ENTÃO indicador=100                                    |
|   | ReuProd_anterior e ReuProd_atual | 0  | 100             | $100(l) / u$                                      | SE $[100(l) / u] > 100$ ENTÃO indicador=100<br>SE $u = 0$ ENTÃO indicador=100 |
|   | RecProc_anterior e RecProc_atual | 0  | 100             | $100(m) / [(a+b+c) - h]$                          | SE $[(a+b+c) - h] = 0$ ENTÃO indicador=100                                    |
|   | RecProd_anterior e RecProd_atual | 0  | 100             | $100(n) / u$                                      | SE $[100(n) / u] > 100$ ENTÃO indicador=100<br>SE $u = 0$ ENTÃO indicador=100 |
| <b>Disposição final de resíduos</b>   | DisProc_anterior e DisProc_atual | 100  | 0               | $100(o+p+q) / [(a+b+c) - h]$                      | SE $[(a+b+c) - h] = 0$ ENTÃO indicador=0                                      |

|  |                                     |     |   |                              |   |
|--|-------------------------------------|-----|---|------------------------------|---|
|  | DisProd_anterior e<br>DisProd_atual | 100 | 0 | $100(r+s+t) / u$             | SE $[(l+n) \geq u]$ ENTÃO indicador=0<br>SE $[(l+n) < u]$ ENTÃO<br>indicador= $100[ u - (l+n) ] / u$<br>SE $(r+s+t)=0$ E $(u)=0$ ENTÃO indicador=0                              |
|  | ClaProc_anterior e<br>ClaProc_atual | 0   | 2 | $[p/(o+p+q)] + 2[q/(o+p+q)]$ | SE $[(a+b+c) - h] = 0$ ENTÃO indicador=2  |
|  | ClaProd_anterior e<br>ClaProd_atual | 0   | 2 | $[s/(r+s+t)] + 2[t/(r+s+t)]$ | SE $(r+s+t) = 0$ E $[(l+n) \geq u]$ ENTÃO<br>indicador=2<br>SE $(r+s+t) = 0$ E $[(l+n) < u]$ ENTÃO<br>indicador= $[ 2(l+n) / u ]$<br>SE $(r+s+t)=0$ E $(u)=0$ ENTÃO indicador=0 |

<sup>[1]</sup> As letras utilizadas na composição de cada indicador (fórmulas matemáticas) referem-se aos dados de entrada (dados solicitados às empresas) relacionados no Quadro 12.

**Quadro 13 - Quadro-resumo dos indicadores do IDEA PNRS+L**  
Fonte: Elaborado pelo autor

Cabe salientar que os fatores condicionantes tiveram como objetivo evitar distorções nos valores dos indicadores, considerando uma visão holística do gerenciamento de resíduos.

No caso dos indicadores **ReuProc**, **RecProc**, **DisProc** e **ClaProc** foi utilizado o fator condicionante SE  $[(a+b+c) - h] = 0$  ENTÃO indicador = "melhor condição", pois se a empresa não gerar resíduo em seus processos fabris, seus indicadores de reutilização, reciclagem, disposição e classificação de resíduos deverão refletir no índice final (IDEA) essa condição de excelência da gestão.



Nos indicadores **Ecoefic** e **Reaplic** os fatores condicionantes são os questionários que geram as suas pontuações. O Apêndice C apresenta um exemplo orientativo, salientando ser desejável a elaboração de questionários específicos para cada setor industrial e seus produtos, considerada a total adequação ao contexto em que estiverem inseridos.

No indicador **Interna** o fator condicionante é a quantidade de resíduos gerada ( $a+b+c$ ) em relação a quantidade de produtos produzidos ( $h$ ), sendo adotado o valor dois (2) como pior condição (geração de 2 kg de resíduos para cada kg de produto produzido).

No caso dos indicadores **ReuProd** e **RecProd** foi utilizado o fator condicionante  $SE [ 100( \text{“quantidade”} ) / u ] > 100$  ENTÃO indicador = “melhor condição”, assim buscando incentivar a maior reutilização e reciclagem dos resíduos de produtos pós-consumo, tendo o valor de “u” como referência. Complementam-se as possibilidades de fatores condicionantes do seguinte modo:  $SE u = 0$  ENTÃO indicador = “melhor condição”.

No indicador **DisProd** os fatores condicionantes adotados buscaram evitar a distorção da valoração no caso de empresas que não tenham promovido logística reversa de seus produtos, o que culminaria erroneamente na melhor condição para o indicador caso fosse utilizada a fórmula original deste indicador:  $100(r+s+t) / u$ . Devido a isso, foram atreladas a este indicador as quantidades de resíduos de produtos pós-consumo efetivamente reutilizadas e recicladas:  $SE [ ( l + n ) \geq u ]$  ENTÃO indicador = “melhor condição” e  $SE [ ( l + n ) < u ]$  ENTÃO indicador =  $100[ u - ( l + n ) ] / u$ . Complementam-se as possibilidades de fatores condicionantes do seguinte modo:  $SE (r+s+t) = 0$  E  $(u) = 0$  ENTÃO indicador = “melhor condição”.

E no caso do indicador **ClaProd**, também visando evitar a distorção da valoração para empresas que não promovam a logística reversa de seus produtos, foram atreladas a este indicador as quantidades de resíduos de produtos pós-consumo efetivamente reutilizadas e recicladas:  $SE (r+s+t) = 0$  E  $[ ( l + n ) \geq u ]$  ENTÃO indicador = “melhor condição”; e  $SE (r+s+t) = 0$  E  $[ ( l + n ) < u ]$  ENTÃO indicador =  $[ 2( l + n ) / u ]$ . Complementam-se as possibilidades de fatores condicionantes do seguinte modo:  $SE (r+s+t) = 0$  E  $(u) = 0$  ENTÃO indicador = “melhor condição”.

Dessa forma, os fatores condicionantes contribuem para a obtenção de indicadores que retratem mais fielmente o desempenho das empresas, em consonância com os preceitos ambientais considerados nesta pesquisa.

Na planilha eletrônica de cálculo, cada indicador é calculado considerando os dados de entrada – referentes ao ano anterior e ao ano atual (representados no Quadro 12) – a composição e os seus respectivos fatores condicionantes (apresentados no Quadro 13). Após a execução das simulações e testes envolvendo o cálculo dos indicadores na planilha eletrônica, foi assegurada a confiabilidade da obtenção desses resultados a partir da inserção dos dados de entrada (informações fornecidas pelas empresas).

### 3.7.2 Software fuzzyTECH<sup>®</sup>

Os valores dos indicadores calculados na planilha eletrônica são, por sua vez, os valores *crisp* que alimentam o *software fuzzyTECH<sup>®</sup>*, compondo os índices primários de desempenho do modelo. Os índices secundários, terciários e final são desdobramentos dos índices primários fuzzificados.

Nas simulações e testes utilizando o *software fuzzyTECH<sup>®</sup>* buscou-se verificar a coerência do processamento dos dados no modelo, refletida nos valores dos índices de desempenho ambiental calculados.

Para isso, foram inseridos os valores *crisp* dos indicadores (*inputs*) no máximo grau de pertinência às funções “ótimo”, “bom”, “regular”, “ruim” e “péssimo”, para verificar seus desdobramentos nos índices (*outputs*) do modelo. As Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5 apresentam esses valores.

**Tabela 1 – Valores *crisp* dos indicadores (*inputs*) com máximo grau de pertinência à função “ótimo” e seus desdobramentos nos índices (*outputs*) do modelo**

| Inputs:          |          | Outputs:         |        |
|------------------|----------|------------------|--------|
| ClaProc_anterior | 2.0000   | Aproveitamento   | 1.0000 |
| ClaProc_atual    | 2.0000   | Classif_Dis      | 1.0000 |
| ClaProd_anterior | 2.0000   | Classif_Processo | 1.0000 |
| ClaProd_atual    | 2.0000   | Classif_Produto  | 1.0000 |
| DisProc_anterior | 0.0000   | Disp_Processo    | 1.0000 |
| DisProc_atual    | 0.0000   | Disp_Produto     | 1.0000 |
| DisProd_anterior | 0.0000   | Disposicao_Final | 1.0000 |
| DisProd_atual    | 0.0000   | Externa_Insumos  | 1.0000 |
| Ecoefic_anterior | 190.0000 | Externa_Produtos | 1.0000 |
| Ecoefic_atual    | 190.0000 | Geracao          | 1.0000 |
| Interna_anterior | 1.0000   | IDEA             | 1.0000 |
| Interna_atual    | 1.0000   | Interna          | 1.0000 |
| ISO_anterior     | 2.0000   | ISO_14001        | 1.0000 |
| ISO_atual        | 2.0000   | Produto_Ecoefici | 1.0000 |
| Reaplic_anterior | 70.0000  | Produto_Reaplic  | 1.0000 |
| Reaplic_atual    | 70.0000  | Quantidade_Dis   | 1.0000 |
| RecProc_anterior | 100.0000 | Recic_Processo   | 1.0000 |
| RecProc_atual    | 100.0000 | Recic_Produto    | 1.0000 |
| RecProd_anterior | 100.0000 | Reciclagem       | 1.0000 |
| RecProd_atual    | 100.0000 | Reut_Processo    | 1.0000 |
| ReuProc_anterior | 100.0000 | Reut_Produto     | 1.0000 |
| ReuProc_atual    | 100.0000 | Reutilizacao     | 1.0000 |
| ReuProd_anterior | 100.0000 | Rotulagem_Ambien | 1.0000 |
| ReuProd_atual    | 100.0000 |                  |        |
| Rotulo_anterior  | 3.0000   |                  |        |
| Rotulo_atual     | 3.0000   |                  |        |

Observação: conforme exposto no tópico 3.6.1, a máxima pertinência à função “ótimo” é o valor *crisp* representado pela “melhor condição” do indicador.

**Fonte: Elaborado pelo autor**

Lembrando que os índices (*outputs*) do modelo possuem universo do discurso na faixa de 0 a 1, verifica-se na Tabela 1 que as saídas respondem de forma coerente com as entradas, ambas com seus valores máximos.

Da mesma maneira, as simulações apresentadas nas Tabelas 2, 3, 4 e 5 – apresentadas a seguir – indicam respostas coerentes com as entradas, pois nos índices (*outputs*) os valores *crisp* resultantes correspondem aos valores de máxima pertinência das suas respectivas funções, simetricamente divididas no universo do discurso que varia entre 0 e 1 (“péssimo” = 0, “ruim” = 0,25, “regular” = 0,5, “bom” = 0,75 e “ótimo” = 1), assegurando a confiabilidade do processamento do modelo.

**Tabela 2 - Valores *crisp* dos indicadores (*inputs*) com máximo grau de pertinência à função “bom” e seus desdobramentos nos índices (*outputs*) do modelo**

| Inputs:          |          | Outputs:         |        |
|------------------|----------|------------------|--------|
| ClaProc_anterior | 1.7000   | Aproveitamento   | 0.7500 |
| ClaProc_atual    | 1.7000   | Classif_Dis      | 0.7500 |
| ClaProd_anterior | 1.7000   | Classif_Processo | 0.7500 |
| ClaProd_atual    | 1.7000   | Classif_Produto  | 0.7500 |
| DisProc_anterior | 15.0000  | Disp_Processo    | 0.7500 |
| DisProc_atual    | 15.0000  | Disp_Produto     | 0.7500 |
| DisProd_anterior | 15.0000  | Disposicao_Final | 0.7500 |
| DisProd_atual    | 15.0000  | Externa_Insumos  | 0.7500 |
| Ecoefic_anterior | 161.5000 | Externa_Produtos | 0.7500 |
| Ecoefic_atual    | 161.5000 | Geracao          | 0.7500 |
| Interna_anterior | 1.1500   | IDEA             | 0.7500 |
| Interna_atual    | 1.1500   | Interna          | 0.7500 |
| ISO_anterior     | 1.7000   | ISO_14001        | 0.7500 |
| ISO_atual        | 1.7000   | Produto_Ecoefici | 0.7500 |
| Reaplic_anterior | 59.5000  | Produto_Reaplic  | 0.7500 |
| Reaplic_atual    | 59.5000  | Quantidade_Dis   | 0.7500 |
| RecProc_anterior | 85.0000  | Recic_Processo   | 0.7500 |
| RecProc_atual    | 85.0000  | Recic_Produto    | 0.7500 |
| RecProd_anterior | 85.0000  | Reciclagem       | 0.7500 |
| RecProd_atual    | 85.0000  | Reut_Processo    | 0.7500 |
| ReuProc_anterior | 85.0000  | Reut_Produto     | 0.7500 |
| ReuProc_atual    | 85.0000  | Reutilizacao     | 0.7500 |
| ReuProd_anterior | 85.0000  | Rotulagem_Ambien | 0.7500 |
| ReuProd_atual    | 85.0000  |                  |        |
| Rotulo_anterior  | 2.5500   |                  |        |
| Rotulo_atual     | 2.5500   |                  |        |

Observação: conforme exposto no tópico 3.6.1, a máxima pertinência à função “bom” é o valor *crisp* representado por 85% da “melhor condição” do indicador.

Fonte: Elaborado pelo autor

**Tabela 3 - Valores *crisp* dos indicadores (*inputs*) com máximo grau de pertinência à função “regular” e seus desdobramentos nos índices (*outputs*) do modelo**

| Inputs:          |          | Outputs:         |        |
|------------------|----------|------------------|--------|
| ClaProc_anterior | 1.2000   | Aproveitamento   | 0.5000 |
| ClaProc_atual    | 1.2000   | Classif_Dis      | 0.5000 |
| ClaProd_anterior | 1.2000   | Classif_Processo | 0.5000 |
| ClaProd_atual    | 1.2000   | Classif_Produto  | 0.5000 |
| DisProc_anterior | 40.0000  | Disp_Processo    | 0.5000 |
| DisProc_atual    | 40.0000  | Disp_Produto     | 0.5000 |
| DisProd_anterior | 40.0000  | Disposicao_Final | 0.5000 |
| DisProd_atual    | 40.0000  | Externa_Insumos  | 0.5000 |
| Ecoefic_anterior | 114.0000 | Externa_Produtos | 0.5000 |
| Ecoefic_atual    | 114.0000 | Geracao          | 0.5000 |
| Interna_anterior | 1.4000   | IDEA             | 0.5000 |
| Interna_atual    | 1.4000   | Interna          | 0.5000 |
| ISO_anterior     | 1.2000   | ISO_14001        | 0.5000 |
| ISO_atual        | 1.2000   | Produto_Ecoefici | 0.5000 |
| Reaplic_anterior | 42.0000  | Produto_Reaplic  | 0.5000 |
| Reaplic_atual    | 42.0000  | Quantidade_Dis   | 0.5000 |
| RecProc_anterior | 60.0000  | Recic_Processo   | 0.5000 |
| RecProc_atual    | 60.0000  | Recic_Produto    | 0.5000 |
| RecProd_anterior | 60.0000  | Reciclagem       | 0.5000 |
| RecProd_atual    | 60.0000  | Reut_Processo    | 0.5000 |
| ReuProc_anterior | 60.0000  | Reut_Produto     | 0.5000 |
| ReuProc_atual    | 60.0000  | Reutilizacao     | 0.5000 |
| ReuProd_anterior | 60.0000  | Rotulagem_Ambien | 0.5000 |
| ReuProd_atual    | 60.0000  |                  |        |
| Rotulo_anterior  | 1.8000   |                  |        |
| Rotulo_atual     | 1.8000   |                  |        |

Observação: conforme exposto no tópico 3.6.1, a máxima pertinência à função “regular” é o valor *crisp* representado por 60% da “melhor condição” do indicador.

Fonte: Elaborado pelo autor

**Tabela 4 - Valores *crisp* dos indicadores (*inputs*) com máximo grau de pertinência à função “ruim” e seus desdobramentos nos índices (*outputs*) do modelo**

| Inputs:          |         | Outputs:         |        |
|------------------|---------|------------------|--------|
| ClaProc_anterior | 0.6000  | Aproveitamento   | 0.2500 |
| ClaProc_atual    | 0.6000  | Classif_Dis      | 0.2500 |
| ClaProd_anterior | 0.6000  | Classif_Processo | 0.2500 |
| ClaProd_atual    | 0.6000  | Classif_Produto  | 0.2500 |
| DisProc_anterior | 70.0000 | Disp_Processo    | 0.2500 |
| DisProc_atual    | 70.0000 | Disp_Produto     | 0.2500 |
| DisProd_anterior | 70.0000 | Disposicao_Final | 0.2500 |
| DisProd_atual    | 70.0000 | Externa_Insumos  | 0.2500 |
| Ecoefic_anterior | 57.0000 | Externa_Produtos | 0.2500 |
| Ecoefic_atual    | 57.0000 | Geracao          | 0.2500 |
| Interna_anterior | 1.7000  | IDEA             | 0.2500 |
| Interna_atual    | 1.7000  | Interna          | 0.2500 |
| ISO_anterior     | 0.6000  | ISO_14001        | 0.2500 |
| ISO_atual        | 0.6000  | Produto_Ecoefici | 0.2500 |
| Reaplic_anterior | 21.0000 | Produto_Reaplic  | 0.2500 |
| Reaplic_atual    | 21.0000 | Quantidade_Dis   | 0.2500 |
| RecProc_anterior | 30.0000 | Recic_Processo   | 0.2500 |
| RecProc_atual    | 30.0000 | Recic_Produto    | 0.2500 |
| RecProd_anterior | 30.0000 | Reciclagem       | 0.2500 |
| RecProd_atual    | 30.0000 | Reut_Processo    | 0.2500 |
| ReuProc_anterior | 30.0000 | Reut_Produto     | 0.2500 |
| ReuProc_atual    | 30.0000 | Reutilizacao     | 0.2500 |
| ReuProd_anterior | 30.0000 | Rotulagem_Ambien | 0.2500 |
| ReuProd_atual    | 30.0000 |                  |        |
| Rotulo_anterior  | 0.9000  |                  |        |
| Rotulo_atual     | 0.9000  |                  |        |

Observação: conforme exposto no tópico 3.6.1, a máxima pertinência à função “ruim” é o valor *crisp* representado por 30% da “melhor condição” do indicador.

Fonte: Elaborado pelo autor

**Tabela 5 - Valores *crisp* dos indicadores (*inputs*) com máximo grau de pertinência à função “péssimo” e seus desdobramentos nos índices (*outputs*) do modelo**

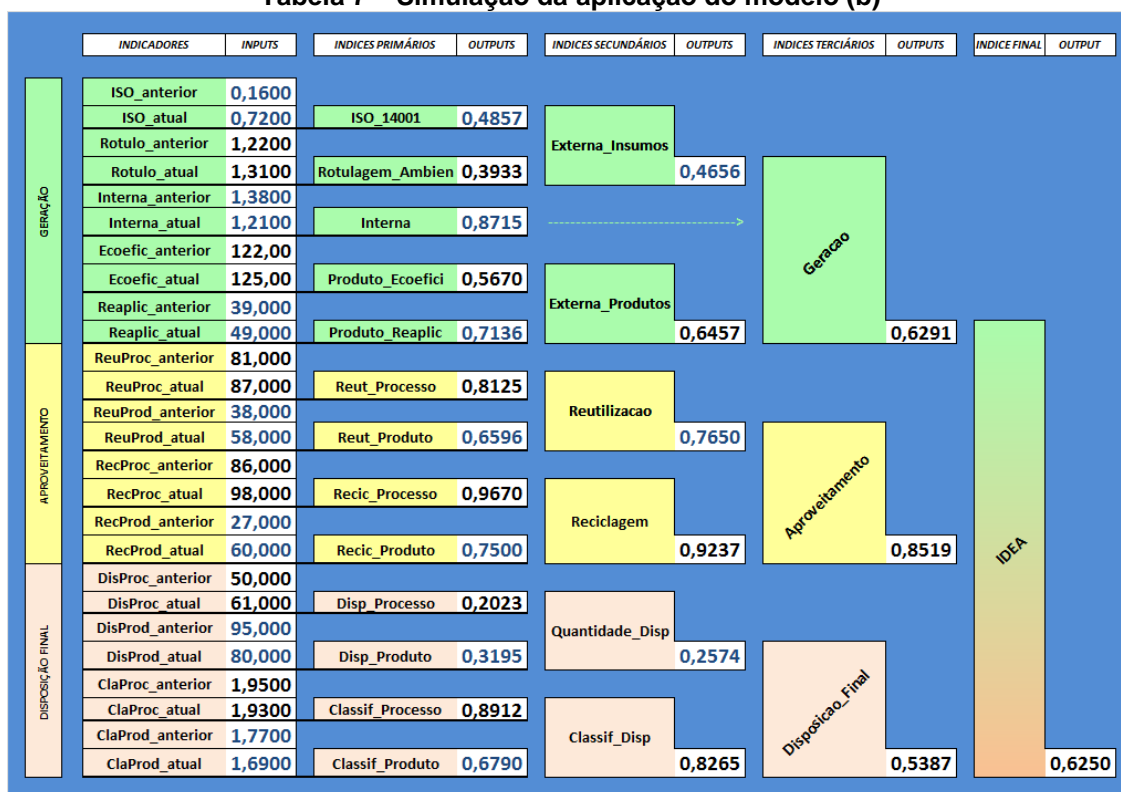
| Inputs:          |          | Outputs:         |        |
|------------------|----------|------------------|--------|
| ClaProc_anterior | 0.0000   | Aproveitamento   | 0.0000 |
| ClaProc_atual    | 0.0000   | Classif_Dis      | 0.0000 |
| ClaProd_anterior | 0.0000   | Classif_Processo | 0.0000 |
| ClaProd_atual    | 0.0000   | Classif_Produto  | 0.0000 |
| DisProc_anterior | 100.0000 | Disp_Processo    | 0.0000 |
| DisProc_atual    | 100.0000 | Disp_Produto     | 0.0000 |
| DisProd_anterior | 100.0000 | Disposicao_Final | 0.0000 |
| DisProd_atual    | 100.0000 | Externa_Insumos  | 0.0000 |
| Ecoefic_anterior | 0.0000   | Externa_Produtos | 0.0000 |
| Ecoefic_atual    | 0.0000   | Geracao          | 0.0000 |
| Interna_anterior | 2.0000   | IDEA             | 0.0000 |
| Interna_atual    | 2.0000   | Interna          | 0.0000 |
| ISO_anterior     | 0.0000   | ISO_14001        | 0.0000 |
| ISO_atual        | 0.0000   | Produto_Ecoefici | 0.0000 |
| Reaplic_anterior | 0.0000   | Produto_Reaplic  | 0.0000 |
| Reaplic_atual    | 0.0000   | Quantidade_Dis   | 0.0000 |
| RecProc_anterior | 0.0000   | Recic_Processo   | 0.0000 |
| RecProc_atual    | 0.0000   | Recic_Produto    | 0.0000 |
| RecProd_anterior | 0.0000   | Reciclagem       | 0.0000 |
| RecProd_atual    | 0.0000   | Reut_Processo    | 0.0000 |
| ReuProc_anterior | 0.0000   | Reut_Produto     | 0.0000 |
| ReuProc_atual    | 0.0000   | Reutilizacao     | 0.0000 |
| ReuProd_anterior | 0.0000   | Rotulagem_Ambien | 0.0000 |
| ReuProd_atual    | 0.0000   |                  |        |
| Rotulo_anterior  | 0.0000   |                  |        |
| Rotulo_atual     | 0.0000   |                  |        |

Observação: conforme exposto no tópico 3.6.1, a máxima pertinência à função “péssimo” é o valor *crisp* representado pela “pior condição” do indicador.

Fonte: Elaborado pelo autor



Tabela 7 – Simulação da aplicação do modelo (b)



Fonte: Elaborado pelo autor

Verificou-se que o modelo é sensível – mesmo às pequenas variações de valores de entrada – e que reproduz fielmente o comportamento pré-estabelecido em sua concepção.

#### 4 APLICAÇÃO DO MODELO NA INDÚSTRIA

A empresa que participou desta pesquisa fica localizada no estado de Santa Catarina, possui aproximadamente 2.700 colaboradores e executa operações de fundição de metal, usinagem, pintura e montagem, voltadas aos segmentos automotivo e de compressores. É certificada pela norma ABNT NBR ISO 14.001 e desenvolveu um índice de desempenho ambiental, por meio do qual gerencia indicadores considerados relevantes para a gestão ambiental da empresa.

O notório comprometimento com as questões ambientais, somado ao fato de já obter um mecanismo de verificação do cumprimento das próprias metas ambientais, foi fator facilitador à contribuição da empresa nesta pesquisa.

Para a aplicação do modelo de avaliação de desempenho ambiental IDEA PNRS+L foram solicitados dados referentes às atividades produtivas da empresa. A Tabela 8 apresenta os valores fornecidos.

**Tabela 8 – Dados fornecidos pela empresa para a composição do IDEA PNRS+L (“ano anterior” e “ano atual”)**

| <b>*</b> | <b>Dados fornecidos pela empresa para a composição do IDEA PNRS+L</b>                              | <b>Dados “ano anterior”</b> | <b>Dados “ano atual”</b> | <b>Unidade</b> |
|----------|--|-----------------------------|--------------------------|----------------|
| <b>a</b> | Insumos efetivamente utilizados, adquiridos de fabricantes "sem certificação ISO 14001"            | 2.546.372.253,12            | 2.903.077.681,27         | <b>kg</b>      |
| <b>b</b> | Insumos efetivamente utilizados, adquiridos de fabricantes "em processo de certificação ISO 14001" | 397.870.664,55              | 96.769.256,04            | <b>kg</b>      |
| <b>c</b> | Insumos efetivamente utilizados, adquiridos de fabricantes "certificados ISO 14001"                | 238.722.398,73              | 225.794.930,77           | <b>kg</b>      |
| <b>d</b> | Insumos efetivamente utilizados, adquiridos "sem rotulagem ambiental"                              | 2.616.397.490,08            | 2.580.513.494,46         | <b>kg</b>      |
| <b>e</b> | Insumos efetivamente utilizados, adquiridos "com rotulagem ambiental tipo II"                      | 445.615.144,30              | 483.846.280,21           | <b>kg</b>      |
| <b>f</b> | Insumos efetivamente utilizados, adquiridos "com rotulagem ambiental tipo I"                       | 95.488.959,49               | 129.025.674,72           | <b>kg</b>      |
| <b>g</b> | Insumos efetivamente utilizados, adquiridos "com rotulagem ambiental tipo III"                     | 25.463.722,53               | 32.256.418,69            | <b>kg</b>      |
| <b>h</b> | Produtos produzidos  | 136.453.250,35              | 143.635.000,00           | <b>kg</b>      |
| <b>i</b> | Condição ambiental dos produtos produzidos, envolvendo eficiência, limpeza e durabilidade          | 92,00                       | 92,00                    | <b>pontos</b>  |



|          |   |                |                |               |
|----------|---|----------------|----------------|---------------|
| <b>j</b> | Condição ambiental dos produtos produzidos, envolvendo separação e desmontagem das partes dos materiais e reaplicação dos materiais descartados | 22,00          | 25,00          | <b>pontos</b> |
| <b>k</b> | Resíduos reutilizados (oriundos dos processos produtivos internos)  | 491.177,74     | 451.184,00     | <b>kg</b>     |
| <b>l</b> | Resíduos reutilizados (oriundos dos produtos pós-consumo)   | 86.678,42      | 144.544,00     | <b>kg</b>     |
| <b>m</b> | Resíduos reciclados (oriundos dos processos produtivos internos)  | 3.988.978,83   | 5.017.371,00   | <b>kg</b>     |
| <b>n</b> | Resíduos reciclados (oriundos dos produtos pós-consumo)   | 10.257.374,13  | 9.822.580,00   | <b>kg</b>     |
| <b>o</b> | Rejeitos classe I dispostos (oriundos dos processos produtivos internos)  | 4.206.245,88   | 3.691.795,00   | <b>kg</b>     |
| <b>p</b> | Rejeitos classe IIA dispostos (oriundos dos processos produtivos internos)  | 40.780.341,06  | 40.412.702,00  | <b>kg</b>     |
| <b>q</b> | Rejeitos classe IIB dispostos (oriundos dos processos produtivos internos)  | 0,00           | 0,00           | <b>kg</b>     |
| <b>r</b> | Rejeitos classe I dispostos (oriundos dos produtos pós-consumo)   | 0,00           | 0,00           | <b>kg</b>     |
| <b>s</b> | Rejeitos classe IIA dispostos (oriundos dos produtos pós-consumo)   | 0,00           | 0,00           | <b>kg</b>     |
| <b>t</b> | Rejeitos classe IIB dispostos (oriundos dos produtos pós-consumo)   | 0,00           | 0,00           | <b>kg</b>     |
| <b>u</b> | Montante mínimo de resíduos de produtos pós-consumo da própria empresa que devem ser retornados   | 102.105.096,04 | 107.726.250,00 | <b>kg</b>     |

**Fonte: Elaborado pelo autor**

Cabe salientar que alguns dos dados solicitados – da forma como são solicitados – não são contemplados pelos itens comumente monitorados pela empresa, gerando a necessidade de estimar alguns valores referentes ao “ano atual”. A consequente ausência de um histórico desses valores, aliada à oportunidade de demonstração do comportamento do modelo nas situações em que haja índices com melhora, empate e piora de um ano em relação ao outro, propiciou a determinação intencional dos valores para os itens referentes ao “ano anterior”.

Devido a isso, os desdobramentos dos valores apresentados, quando traduzidos em indicadores e índices de desempenho ambiental, não representam fielmente a real situação desta empresa em particular, mas constituem um ótimo exemplo de aplicação do IDEA PNRS+L na indústria. A Tabela 9 apresenta os valores *crisp* dos indicadores e índices da empresa, a partir dos dados constantes na Tabela 8.



da melhor condição possível para o indicador, evidenciando que ainda há a necessidade de grandes melhorias nesse quesito (a escala do indicador ReuProd assume zero como pior valor e 100 como melhor valor). De forma ambígua, o indicador DisProc teve uma melhoria de 3,1% com relação ao ano anterior e passou de 98,52% para 98,57% da melhor condição possível para o indicador (a escala do indicador ReuProd assume 100 como pior valor e zero como melhor valor), evidenciando que o mesmo encontra-se numa ótima condição e muito próximo de alcançar a excelência nesse quesito.

De forma a facilitar a interpretação do desempenho dos indicadores, os índices primários agregam esses valores e posicionam os resultados numa escala (denominada universo do discurso) que assume zero como valor mínimo e um (1) como valor máximo, associando-os aos vocábulos qualitativos péssimo, ruim, regular, bom e ótimo em termos de graus de pertinência. Esse procedimento de agregação de valores *fuzzy* e as análises dos resultados são apresentados no tópico a seguir.

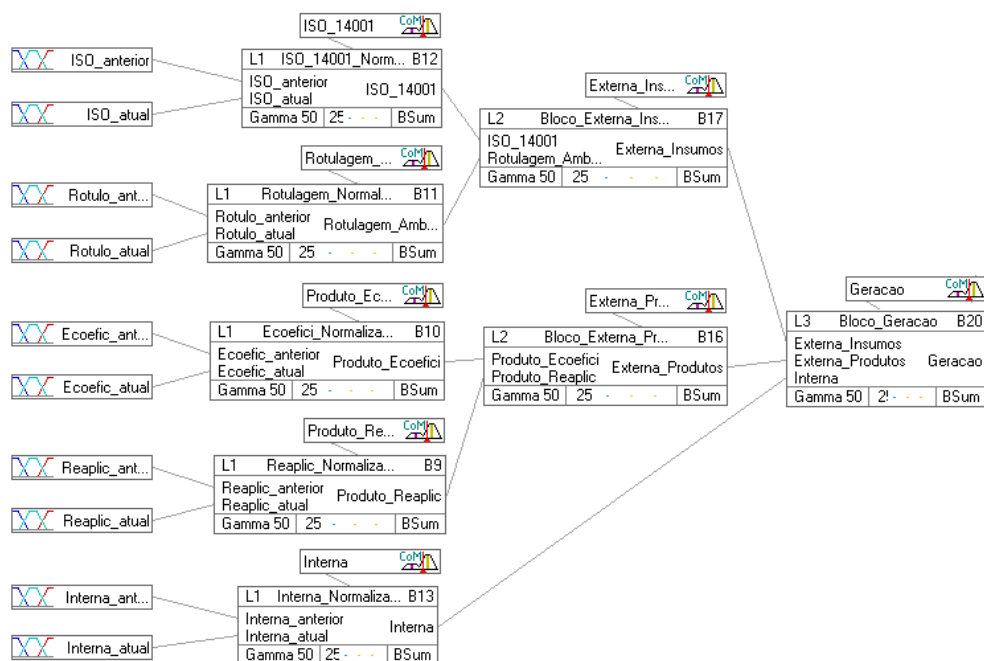
#### 4.1 ANÁLISE DOS INDICADORES E ÍNDICES DA INDÚSTRIA

Para proceder a análise dos indicadores e índices da indústria a árvore do IDEA PNRS+L foi dividida em quatro partes: 1) ramificações do índice Geracao, 2) ramificações do índice Aproveitamento, 3) ramificações do índice Disposicao\_Final e 4) ramificação concisa do IDEA PNRS+L.

No tópico referente ao índice Geracao, adicionalmente é demonstrado o cálculo de agregação *fuzzy* empregado neste modelo, bem como o da agregação dos resultados obtidos, utilizando como exemplo o índice ISO\_14001.

##### 4.1.1 Ramificações do índice Geracao

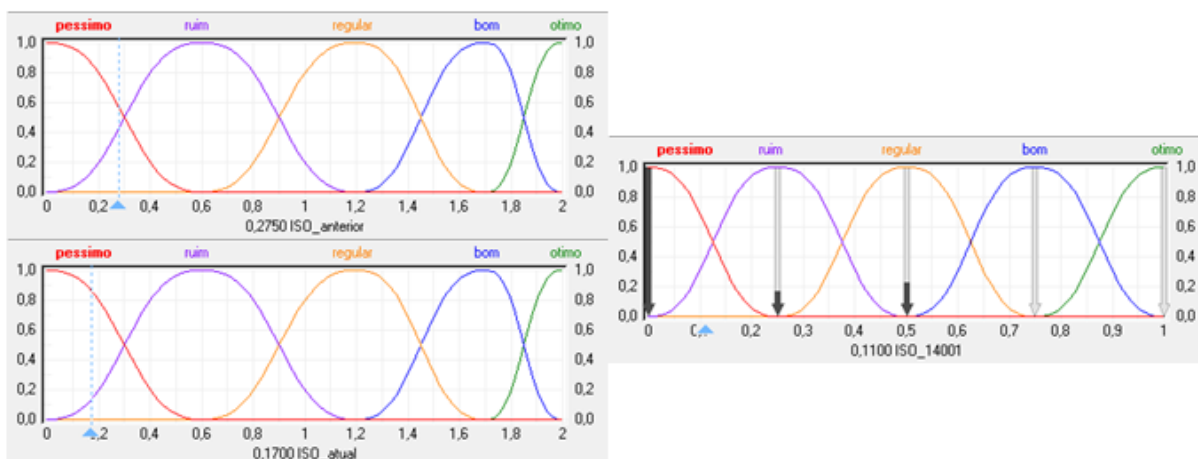
O índice Geracao é composto por dez indicadores, cinco índices primários e dois secundários. A representação arbórea deste índice é apresentada na Figura 28.



**Figura 28 – Ramificações do índice Geracao**  
Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados obtidos em cada indicador e índice desta ramificação são apresentados e analisados a seguir.

**Índice ISO\_14001:** a Figura 29 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos indicadores ISO\_anterior e ISO\_atual e o índice primário ISO\_14001.



**Figura 29 – Resultados referentes ao índice ISO\_14001**  
Fonte: Elaborado pelo autor

O valor *crisp* 0,2750 do indicador ISO\_anterior foi fuzzificado e obteve grau de pertinência 0,58 à função *pessimo* e 0,41 à função *ruim*. Da mesma forma, o

valor *crisp* 0,1700 do indicador ISO\_atual foi fuzzificado e obteve grau de pertinência 0,86 à função péssimo e 0,13 à função ruim.

A agregação dos valores fuzzificados é feita pelo operador GAMMA, utilizando a expressão:  $\mu_{\text{GAMMA}} = [1 - \prod_{(1-\mu_i)}]^\gamma \cdot [\prod_{\mu_i}]^{1-\gamma}$ . O valor de  $\gamma$  escolhido foi 0,5, assim proporcionando a obtenção de um resultado intermediário entre a tendência de maximização da soma algébrica *fuzzy* e a tendência de minimização do produto algébrico *fuzzy*.

Esse cálculo é executado para todas as regras que possuam graus de pertinência às funções apresentadas no diagrama *fuzzy*. O Quadro 14 apresenta um excerto do bloco de regras do índice ISO\_14001, ilustrando os resultados obtidos.

| Name                       | If                   | And               | Operators | Then               | With    |
|----------------------------|----------------------|-------------------|-----------|--------------------|---------|
| B12 ISO_14001_Normalizacao | 1                    | 2                 | Gamma 50  |                    |         |
| B12.G1                     | ISO_anterior: 0,275  | ISO_atual: 0,17   |           | ISO_14001: 0,10998 | DoS [%] |
| B12.G1.R1                  | ISO_anterior.pessimo | ISO_atual.pessimo | =>        | ISO_14001.pessimo  | 100     |
| B12.G1.R2                  | ISO_anterior.pessimo | ISO_atual.ruim    | =>        | ISO_14001.regular  | 100     |
| B12.G1.R3                  | ISO_anterior.pessimo | ISO_atual.regular | =>        | ISO_14001.bom      | 100     |
| B12.G1.R4                  | ISO_anterior.pessimo | ISO_atual.bom     | =>        | ISO_14001.otimo    | 100     |
| B12.G1.R5                  | ISO_anterior.pessimo | ISO_atual.otimo   | =>        | ISO_14001.otimo    | 100     |
| B12.G1.R6                  | ISO_anterior.ruim    | ISO_atual.pessimo | =>        | ISO_14001.pessimo  | 100     |
| B12.G1.R7                  | ISO_anterior.ruim    | ISO_atual.ruim    | =>        | ISO_14001.ruim     | 100     |
| B12.G1.R8                  | ISO_anterior.ruim    | ISO_atual.regular | =>        | ISO_14001.bom      | 100     |

**Quadro 14 – Excerto do bloco de regras do índice ISO\_14001 com representações visuais dos graus de pertinência das variáveis linguísticas em seus respectivos termos linguísticos**  
Fonte: Elaborado pelo autor

Para efeito de visualização, existem barras verticais representando o grau de pertinência de cada variável linguística (ISO\_anterior, ISO\_atual e ISO\_14001) aos termos linguísticos (péssimo, ruim, regular, bom e ótimo).

Dessa maneira, ao observar a coluna “Operators: Gamma”, verificam-se barras verticais junto às regras 1, 2, 6 e 7, evidenciando que o cálculo foi executado para essas regras. O Quadro 15 complementa o Quadro 14 ao substituir as barras verticais pelos valores de pertinência às funções.

| Regra | ISO_anterior (grau de pertinência à função para cada regra) | ISO_atual (grau de pertinência à função para cada regra) | ISO_14001 (valor da agregação GAMMA para cada regra) |
|-------|---|--|--|
| 1     | péssimo (0,58)  | péssimo (0,86)   | péssimo (0,68)                                       |
| 2     | péssimo (0,58)  | ruim (0,13)  | regular (0,22)                                       |
| 6     | ruim (0,41)   | péssimo (0,86)   | péssimo (0,57)                                       |
| 7     | ruim (0,41)   | ruim (0,13)  | ruim (0,16)  |

Quadro 15 – Resultado da agregação GAMMA para cada regra do índice ISO\_14001

Fonte: Elaborado pelo autor

A agregação desses resultados se procede por meio do operador BSUM proporcionando a soma dos resultados que envolvam os mesmos termos linguísticos, limitados ao valor máximo 1. Dessa forma, os valores associados ao índice ISO\_14001 resultaram nos seguintes valores de pertinência (que também podem ser visualizados na Figura 29): péssimo (1,00), ruim (0,16) e regular (0,22).

A defuzzificação desses valores pelo método do Centro de Máximos (*CoM*) culminou no valor *crisp* 0,1100 para o índice ISO\_14001. A Figura 30 ilustra os valores *crisp* dos indicadores ISO\_anterior e ISO\_atual por meio de setas azuis, bem como do índice ISO\_14001, obtido pela interação dos dois indicadores com uma malha que reúne todas as possibilidades de resultado.

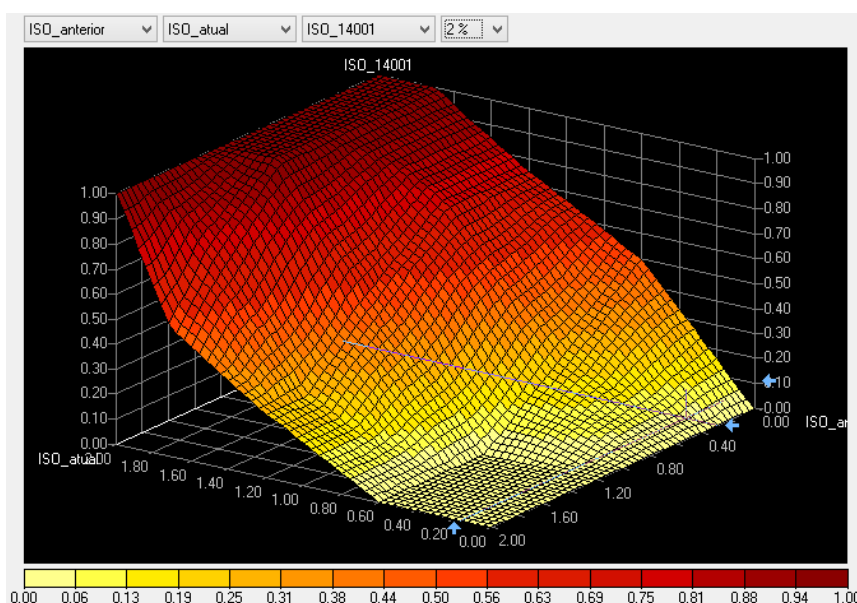


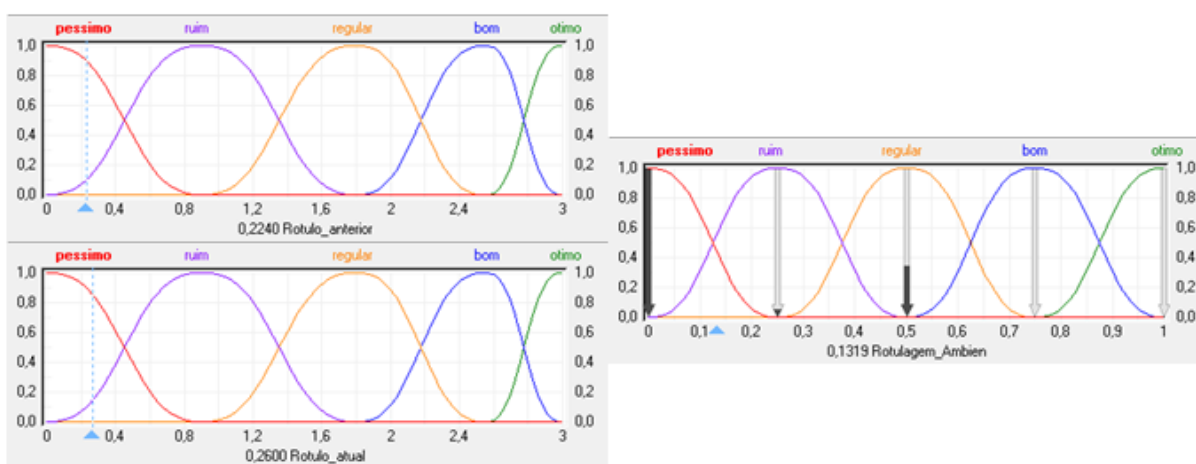
Figura 30 – Plotagem 3D da influência das regras fuzzy sobre o índice ISO\_14001

Fonte: Elaborado pelo autor

A plotagem 3D é um recurso do software fuzzyTECH® que permite a visualização da influência das regras fuzzy.

Em análise aos resultados obtidos, a condição desfavorável dos indicadores associada à piora no ano atual reflete a necessidade de melhoria de desempenho do índice, por meio do incentivo ao aprimoramento ou nova seleção dos fornecedores, no sentido da certificação de seus sistemas de gestão ambiental pela ISO 14001.

**Índice Rotulagem\_Ambien:** a Figura 31 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos indicadores Rotulo\_anterior e Rotulo\_atual e o índice primário Rotulagem\_Ambien.

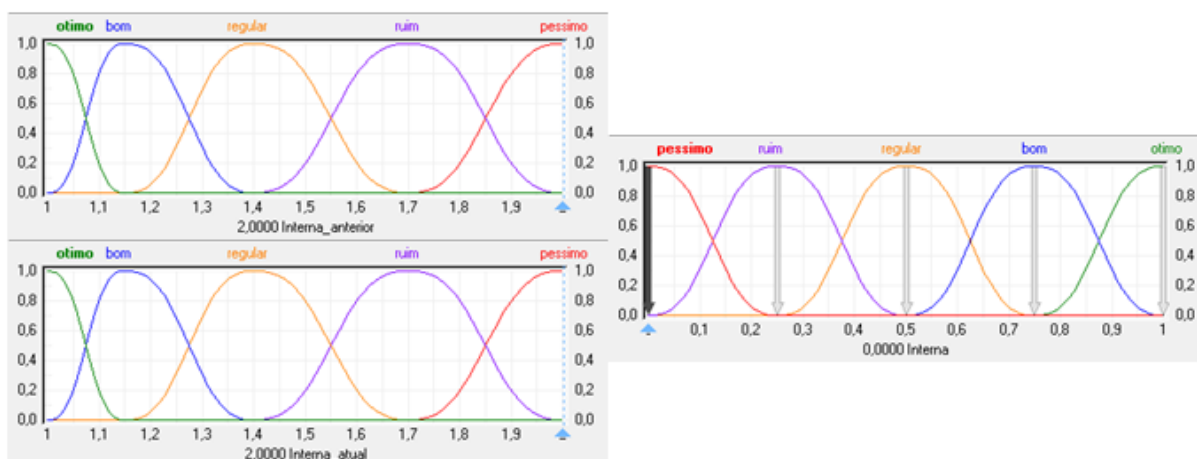


**Figura 31 – Resultados referentes ao índice Rotulagem\_Ambien**  
Fonte: Elaborado pelo autor

O indicador Rotulo\_anterior possui valor *crisp* 0,2240 e pertinências péssimo 0,90 e ruim 0,09 e o indicador Rotulo\_atual possui valor *crisp* 0,2600 e pertinências péssimo 0,85 e ruim 0,14, resultando num índice Rotulagem\_Ambien com pertinências péssimo (1,00), ruim (0,05) e regular (0,34) com valor *crisp* 0,1319.

Em análise aos resultados obtidos, apesar da condição desfavorável dos indicadores, a melhora no ano atual reflete a aquisição de insumos ambientalmente preferíveis, mas ainda demonstram a necessidade de melhoria de desempenho do índice, por meio do incentivo ao aprimoramento ou nova seleção dos fornecedores, no sentido da inclusão e/ou aprimoramento da rotulagem ambiental em seus produtos.

**Índice Interna:** a Figura 32 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos indicadores Interna\_anterior e Interna\_atual e o índice primário Interna.

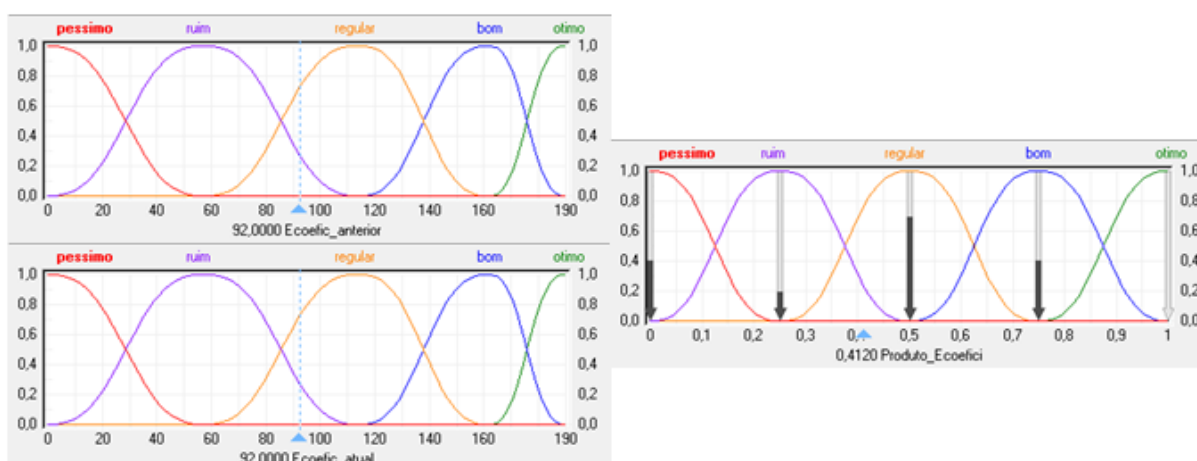


**Figura 32 – Resultados referentes ao índice Interna**  
 Fonte: Elaborado pelo autor

Os indicadores *Interna\_anterior* e *Interna\_atual* possuem, ambos, valor *crisp* 2,0000 e valor de pertinência péssimo 1,00, resultando num índice *Interna* com pertinência péssimo (1,00) e valor *crisp* 0,0000.

Os resultados obtidos refletem a geração de resíduos que supera, em massa, o dobro dos produtos produzidos, culminando na pior condição para os indicadores e índice, assim alertando a empresa para a necessidade de melhoria de desempenho nesse quesito, no sentido da redução da geração de resíduos oriunda de seus processos fabris.

**Índice Produto\_Ecoefici:** a Figura 33 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos indicadores *Ecoefic\_anterior* e *Ecoefic\_atual* e o índice primário *Produto\_Ecoefici*.



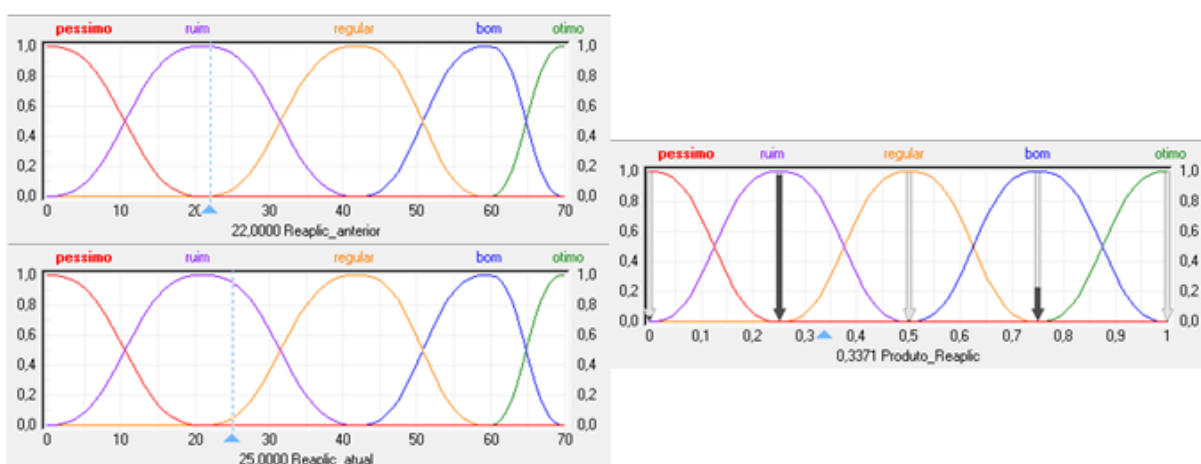
**Figura 33 – Resultados referentes ao índice Produto\_Ecoefici**  
 Fonte: Elaborado pelo autor



Os indicadores *Ecoefic\_anterior* e *Ecoefic\_atual* possuem, ambos, valor *crisp* 92,0000 e pertinências ruim 0,28 e regular 0,71, resultando num índice *Produto\_Ecoefici* com pertinências péssimo (0,39), ruim (0,19), regular (0,69) e bom (0,39) com valor *crisp* 0,4120.

Os resultados obtidos posicionam a empresa num patamar quase intermediário da condição ambiental de seus produtos quanto à aplicação de princípios de *Ecodesign* no que tange a eficiência, limpeza e durabilidade, sinalizando a estagnação do ano atual em relação ao ano anterior, e a necessidade da busca por melhorias, por meio do aperfeiçoamento nesses quesitos.

**Índice Produto\_Reaplic:** a Figura 34 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos indicadores *Reaplic\_anterior* e *Reaplic\_atual* e o índice primário *Produto\_Reaplic*.

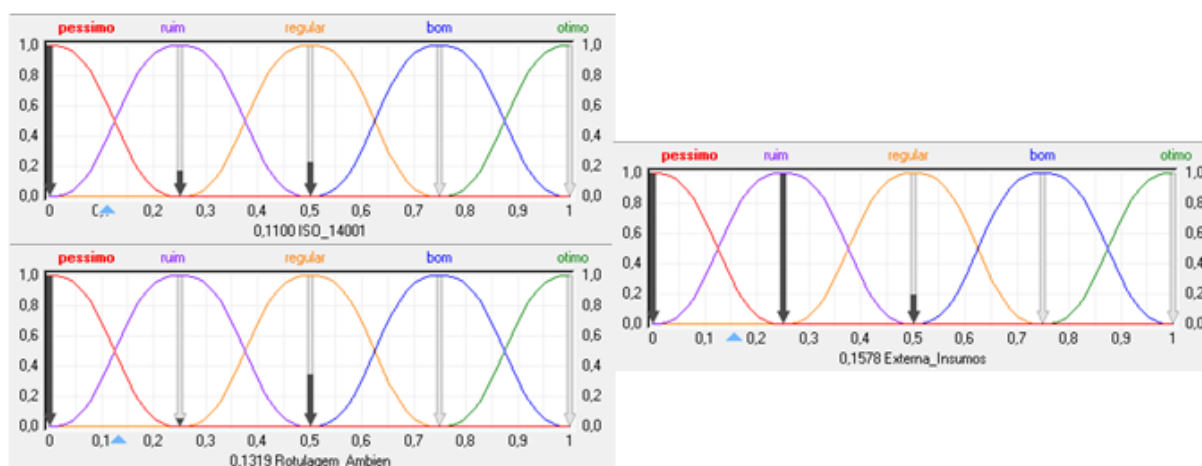


**Figura 34 – Resultados referentes ao índice Produto\_Reaplic**  
Fonte: Elaborado pelo autor

O indicador *Reaplic\_anterior* possui valor *crisp* 22,0000 e pertinências ruim 0,99 e regular >0,00 e o indicador *Reaplic\_atual* possui valor *crisp* 25,0000 e pertinências ruim 0,94 e regular 0,05, resultando num índice *Produto\_Reaplic* com pertinências péssimo (0,03), ruim (0,97), regular (>0,00) e bom (0,22) com valor *crisp* 0,3371.

Apesar da melhoria alcançada, os resultados obtidos posicionam este quesito numa condição ainda desfavorável, apontando a necessidade de maior aperfeiçoamento dos produtos da empresa quanto a aplicação de princípios de *Ecodesign* no que tange a separação/desmontagem das partes dos materiais e a reaplicação dos materiais descartados.

**Índice Externa\_Insumos:** a Figura 35 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos índices primários ISO\_14001 e Rotulagem\_Ambien e secundário Externa\_Insumos.

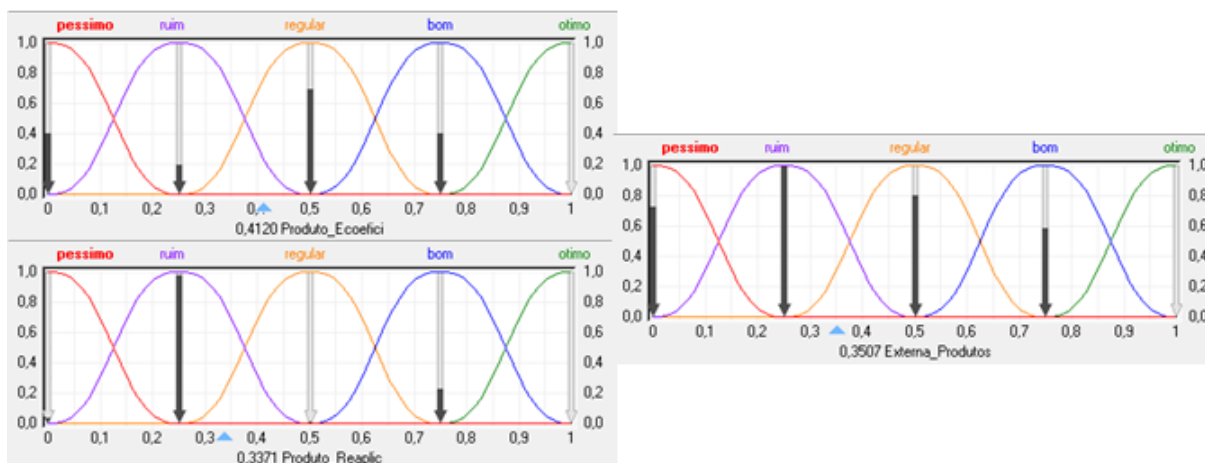


**Figura 35 – Resultados referentes ao índice Externa\_Insumos**  
Fonte: Elaborado pelo autor

O índice ISO\_14001 possui valor *crisp* 0,1100 e pertinências péssimo (1,00), ruim (0,16) e regular (0,22) e o índice Rotulagem\_Ambien possui valor *crisp* 0,1319 e pertinências péssimo (1,00), ruim (0,05) e regular (0,34), resultando num índice Externa\_Insumos com pertinências péssimo (1,00), ruim (1,00) e regular (0,19) com valor *crisp* 0,1578.

Este índice reflete o desempenho ambiental da empresa quanto à geração externa de resíduos considerando sua co-responsabilidade ambiental no que tange aos insumos que utiliza em seus processos fabris. Os resultados apresentados encontram-se num patamar ainda desfavorável, sinalizando a necessidade de melhoria do desempenho deste índice.

**Índice Externa\_Produtos:** a Figura 36 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos índices primários Produto\_Ecoefici e Produto\_Reaplic e secundário Externa\_Produtos.

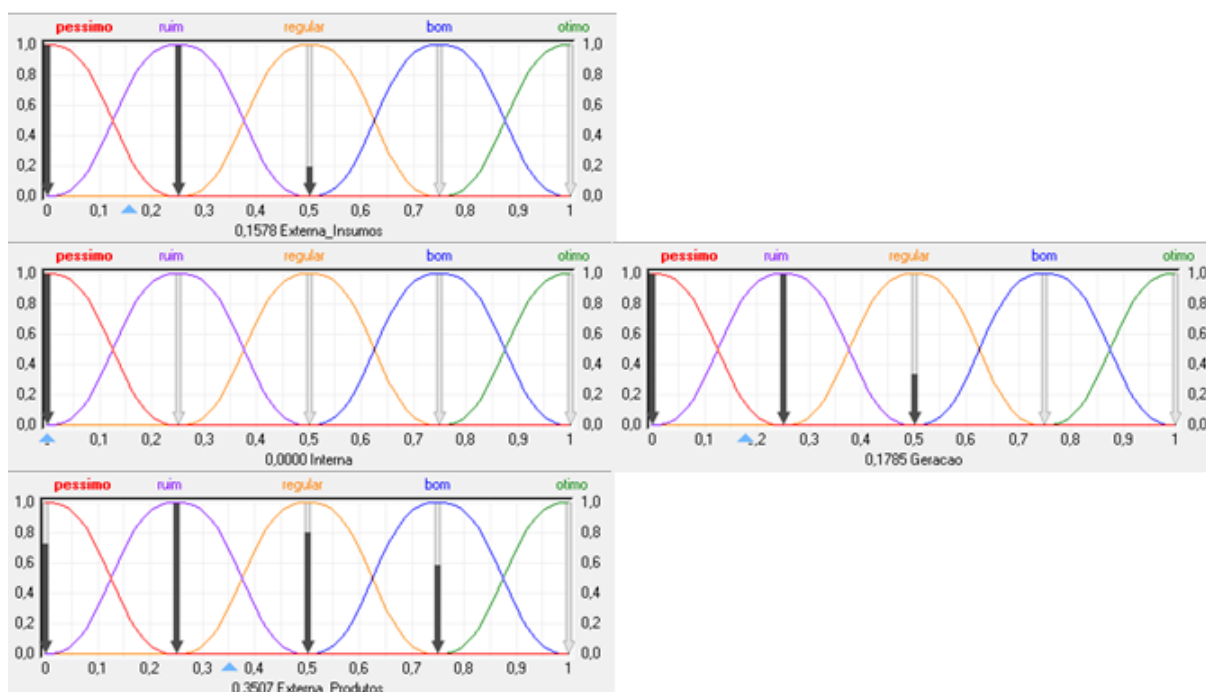


**Figura 36 – Resultados referentes ao índice Externa\_Produtos**  
**Fonte: Elaborado pelo autor**

O índice Produto\_Ecoefici possui valor *crisp* 0,4120 e pertinências péssimo (0,39), ruim (0,19), regular (0,69) e bom (0,39) e o índice Produto\_Reaplic possui valor *crisp* 0,3371 e pertinências péssimo (0,03), ruim (0,97), regular (>0,00) e bom (0,22), resultando num índice Externa\_Insumos com pertinências péssimo (0,72), ruim (1,00), regular (0,80) e bom (0,58) com valor *crisp* 0,3507.

Este índice reflete o desempenho ambiental da empresa quanto à geração externa de resíduos – oriundos dos produtos produzidos – envolvendo a aplicação de princípios de *Ecodesign* aos mesmos. Os resultados apresentados ocupam uma posição quase intermediária, sinalizando a necessidade de melhoria no desempenho deste índice, vislumbrando atingir patamares superiores.

**Índice Geracao:** a Figura 37 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos índices secundários Externa\_Insumos e Externa\_Produtos, primário Interna e terciário Geracao.



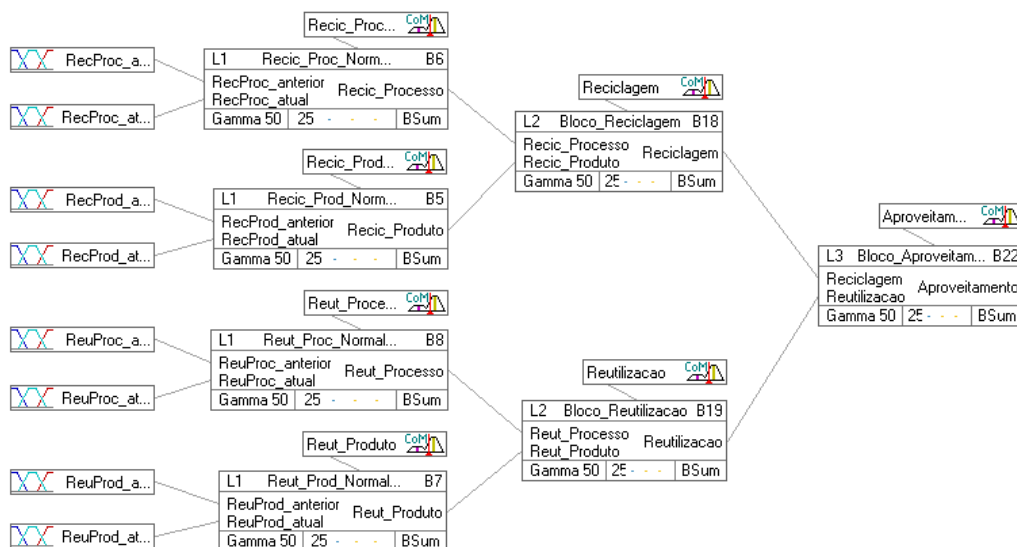
**Figura 37 – Resultados referentes ao índice Geracao**  
**Fonte: Elaborado pelo autor**

O índice Externa\_Insumos possui valor *crisp* 0,1578 e pertinências péssimo (1,00), ruim (1,00) e regular (0,19), o índice Interna possui valor *crisp* 0,0000 e pertinência péssimo 1,00 e o índice Externa\_Produtos possui valor *crisp* 0,3507 e pertinências péssimo (0,72), ruim (1,00), regular (0,80) e bom (0,58), resultando num índice Geracao com pertinências péssimo (1,00), ruim (1,00) e regular (0,33) com valor *crisp* 0,1785.

Este índice reflete o desempenho ambiental da empresa quanto a geração de resíduos de forma holística – englobando insumos, processos produtivos e produtos. Os resultados apresentados encontram-se num patamar ainda desfavorável, sinalizando a necessidade de melhoria do desempenho deste índice.

#### 4.1.2 Ramificações do índice Aproveitamento

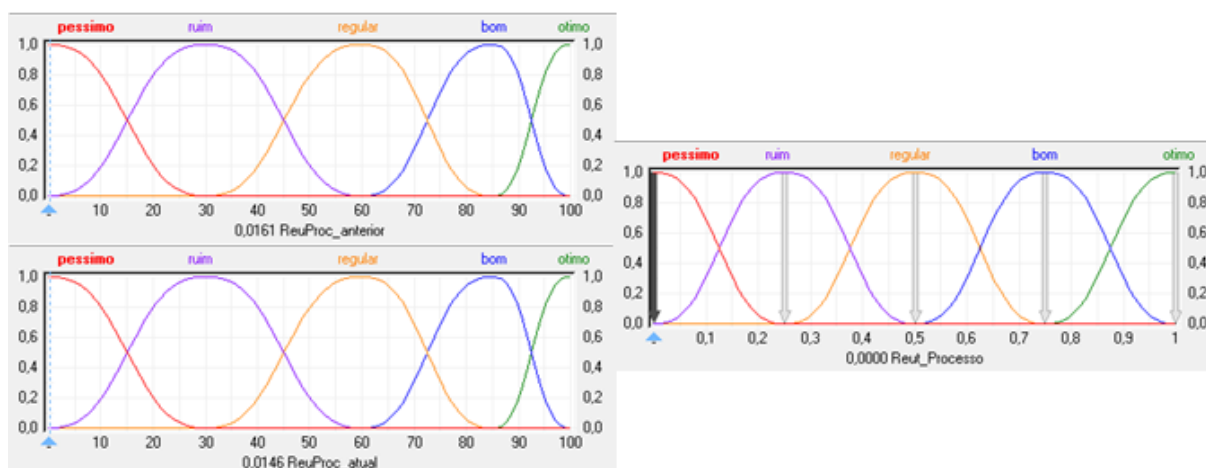
O índice Aproveitamento é composto por oito indicadores, quatro índices primários e dois secundários. A representação arbórea deste índice é apresentada na Figura 38.



**Figura 38 – Ramificações do índice Aproveitamento**  
 Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados obtidos em cada indicador e índice desta ramificação são apresentados e analisados a seguir.

**Índice Reut\_Processo:** a Figura 39 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos indicadores ReuProc\_antecior e ReuProc\_atual e o índice primário Reut\_Processo.

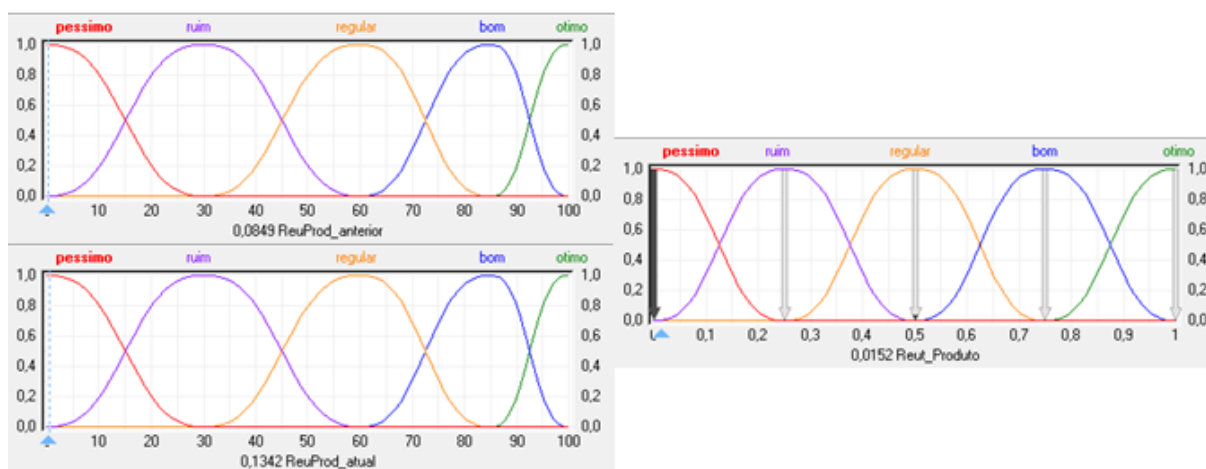


**Figura 39 – Resultados referentes ao índice Reut\_Processo**  
 Fonte: Elaborado pelo autor

O indicador ReuProc\_antecior possui valor *crisp* 0,0161 e pertinência péssimo 1,00 e o indicador ReuProc\_atual possui valor *crisp* 0,0146 e pertinência péssimo 1,00, resultando num índice Reut\_Processo com pertinência péssimo (1,00) com valor *crisp* 0,0000.

Apesar da melhora apresentada pelos indicadores este índice ainda se encontra num patamar bastante desfavorável, demonstrando a necessidade de melhoria de desempenho, por meio da maior reutilização dos resíduos oriundos dos processos fabris.

**Índice Reut\_Produto:** a Figura 40 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos indicadores ReuProd\_anterior e ReuProd\_atual e o índice primário Reut\_Produto.

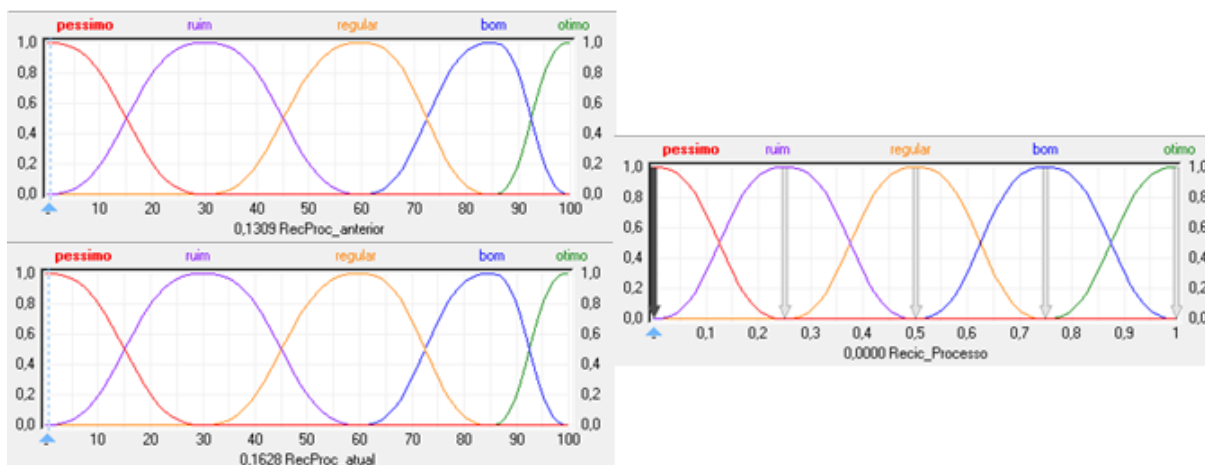


**Figura 40 – Resultados referentes ao índice Reut\_Produto**  
Fonte: Elaborado pelo autor

O indicador ReuProd\_anterior possui valor *crisp* 0,0849 e pertinência péssimo 1,00 e o indicador ReuProd\_atual possui valor *crisp* 0,1342 e pertinências péssimo 0,99 e ruim >0,00, resultando num índice Reut\_Produto com pertinências péssimo (1,00) e regular (0,03) com valor *crisp* 0,0152.

Estes indicadores apresentaram melhora em relação ao ano anterior, mas, apesar disso, a condição do índice ainda é muito desfavorável, apontando para a necessidade de melhoria, por meio do incentivo ao aumento da quantidade de resíduos oriundos dos produtos pós-consumo retornados pela empresa, de forma a atingir o montante mínimo estabelecido e possibilitar o aumento do percentual reutilizado.

**Índice Recic\_Processo:** a Figura 41 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos indicadores RecProc\_anterior e RecProc\_atual e o índice primário Recic\_Processo.

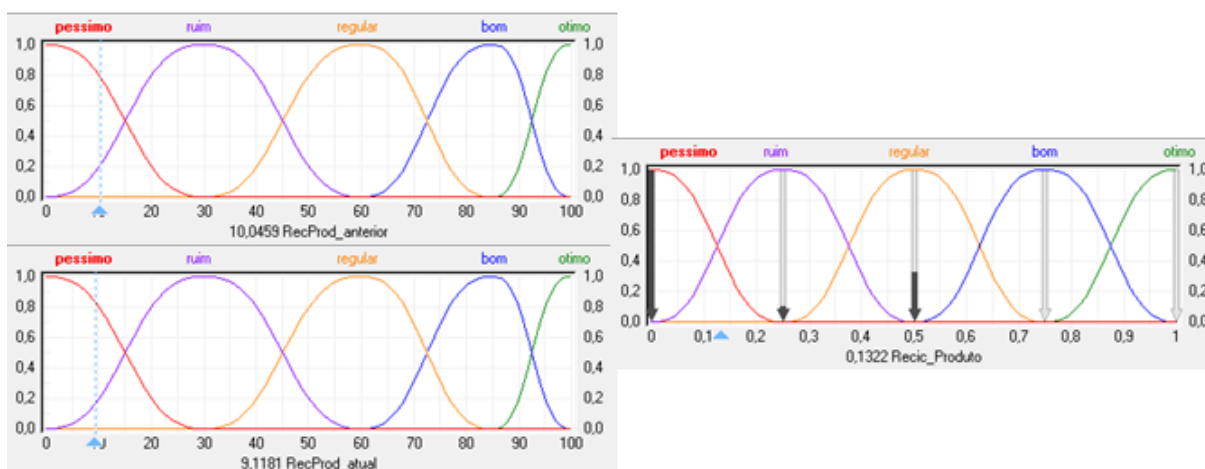


**Figura 41 – Resultados referentes ao índice Recic\_Processo**  
 Fonte: Elaborado pelo autor

O indicador RecProc\_anterior possui valor *crisp* 0,1309 e pertinências péssimo 0,99 e ruim >0,00 e o indicador RecProc\_atual possui valor *crisp* 0,1628 e pertinências péssimo 0,99 e ruim >0,00, resultando num índice Recic\_Processo com pertinência péssimo (1,00) e valor *crisp* 0,0000.

Em análise aos resultados obtidos, apesar da melhora apresentada pelos indicadores, este índice ainda se encontra numa condição bastante desfavorável, assim alertando a empresa para a necessidade de melhoria de desempenho nesse quesito, no sentido de aumentar o percentual de resíduos – oriundos dos processos produtivos – que são reciclados.

**Índice Recic\_Produto:** a Figura 42 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos indicadores RecProd\_anterior e RecProd\_atual e o índice primário Recic\_Produto.

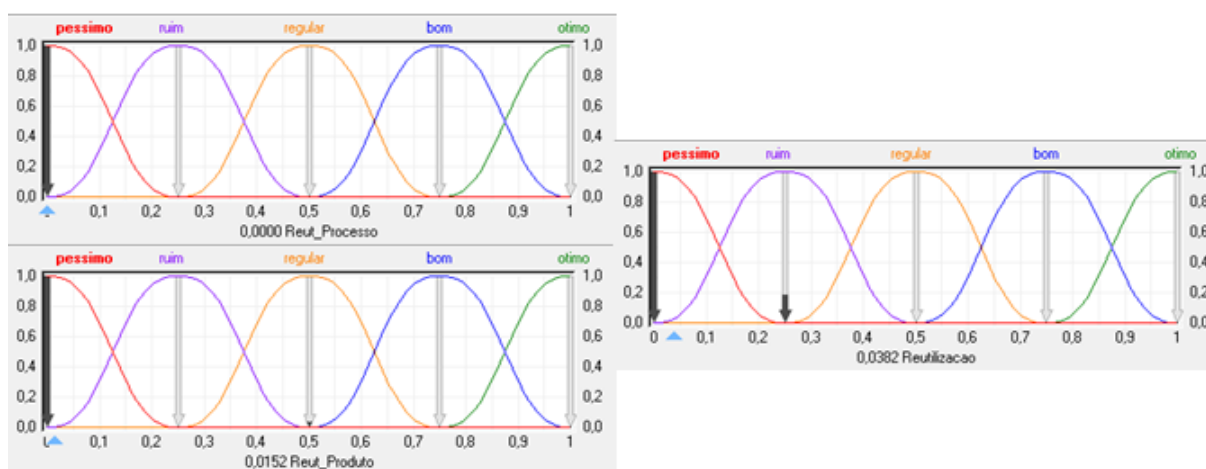


**Figura 42 – Resultados referentes ao índice Recic\_Produto**  
 Fonte: Elaborado pelo autor

O indicador RecProd\_anterior possui valor *crisp* 10,0459 e pertinências péssimo 0,79 e ruim 0,20 e o indicador RecProd\_atual possui valor *crisp* 9,1181 e pertinências péssimo 0,83 e ruim 0,16, resultando num índice Recic\_Produto com pertinências péssimo (1,00), ruim (0,10) e regular (0,32) com valor *crisp* 0,1322.

Os resultados obtidos refletem a condição ambiental ainda desfavorável quanto à reciclagem dos produtos pós-consumo retornados pela empresa. A piora apresentada sinaliza a necessidade de maior atenção a este quesito, com o intuito de melhorar o desempenho do índice por meio do incentivo ao aumento da quantidade de resíduos oriundos dos produtos pós-consumo retornados pela empresa, de forma a atingir o montante mínimo estabelecido, possibilitando o aumento do percentual reciclado.

**Índice Reutilizacao:** a Figura 43 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos índices primários Reut\_Processo e Reut\_Produto e o secundário Reutilizacao.



**Figura 43 – Resultados referentes ao índice Reutilizacao**  
Fonte: Elaborado pelo autor

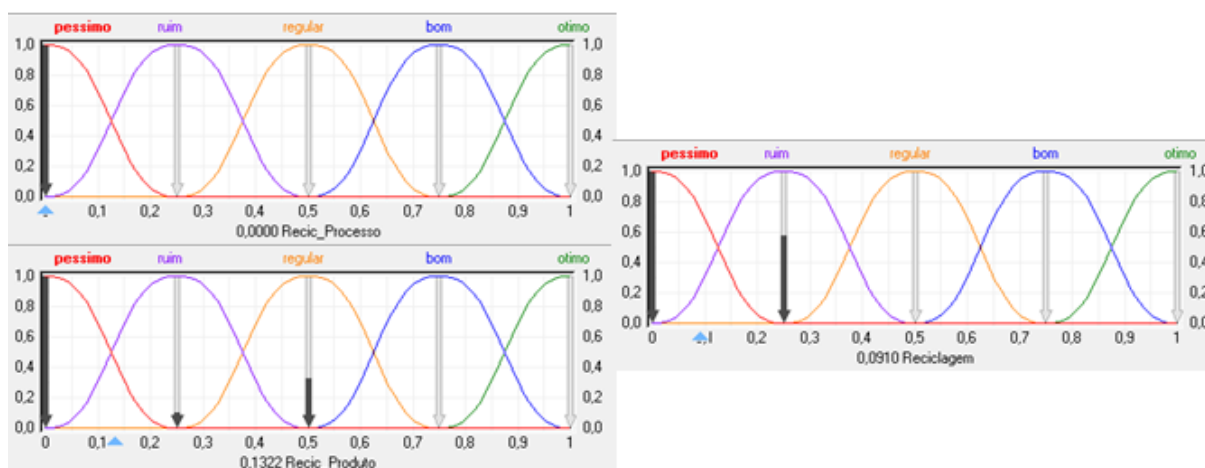
O índice Reut\_Processo possui valor *crisp* 0,0000 e pertinência péssimo (1,00) e o índice Reut\_Produto possui valor *crisp* 0,0152 e pertinências péssimo (1,00) e regular (0,03), resultando num índice Reutilizacao com pertinências péssimo (1,00) e ruim (0,18) com valor *crisp* 0,0382.

Este índice reflete o desempenho ambiental da empresa quanto a reutilização de resíduos – considerando os gerados nos processos fabris e também pelos produtos pós-consumo retornados pela empresa. Os resultados apresentados



encontram-se num patamar desfavorável, sinalizando a necessidade de melhoria do desempenho deste índice.

**Índice Reciclagem:** a Figura 44 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos índices primários Recic\_Processo e Recic\_Produto e o secundário Reciclagem.

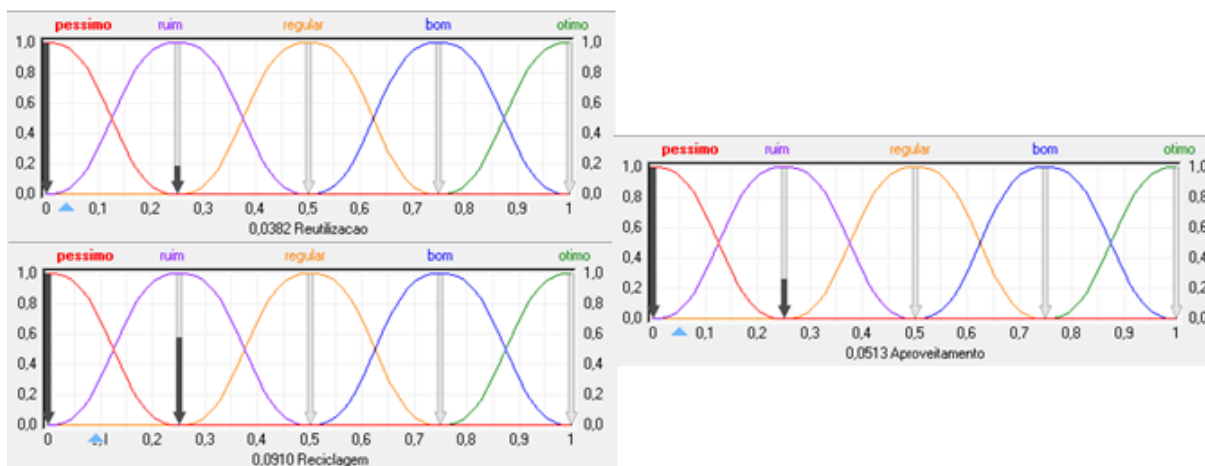


**Figura 44 – Resultados referentes ao índice Reciclagem**  
Fonte: Elaborado pelo autor

O índice Recic\_Processo possui valor *crisp* 0,0000 e pertinência péssimo (1,00) e o índice Recic\_Produto possui valor *crisp* 0,1322 e pertinências péssimo (1,00), ruim (0,10) e regular (0,32), resultando num índice Reciclagem com pertinências péssimo (1,00) e ruim (0,57) com valor *crisp* 0,0910.

Este índice reflete o desempenho ambiental da empresa quanto à reciclagem de resíduos – considerando os gerados nos processo fabris e também pelos produtos pós-consumo retornados pela empresa. Os resultados apresentados encontram-se num patamar desfavorável, sinalizando a necessidade de melhoria do desempenho deste índice.

**Índice Aproveitamento:** a Figura 45 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos índices secundários Reutilizacao e Reciclagem e o terciário Aproveitamento.



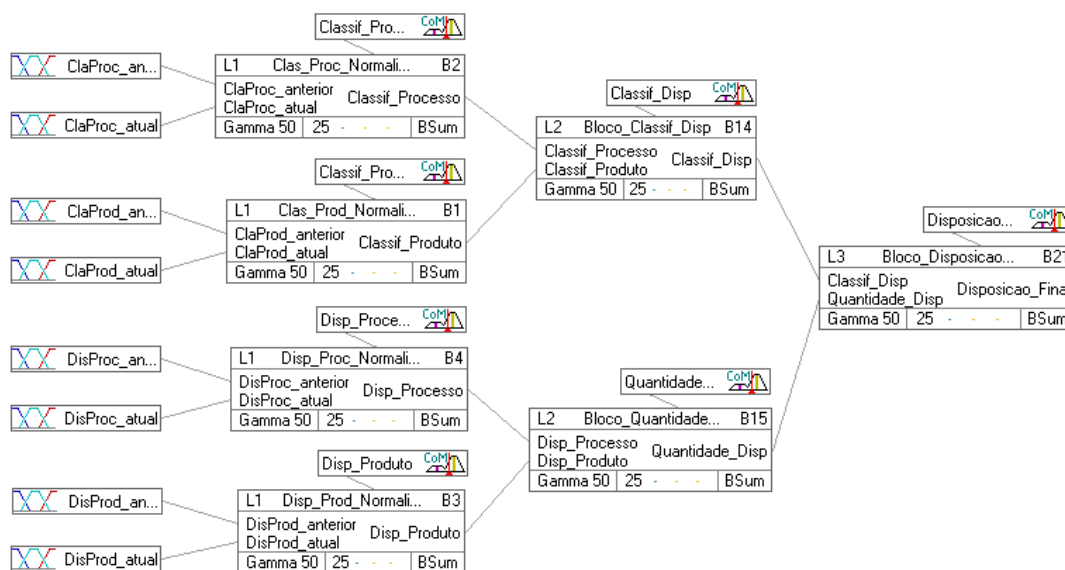
**Figura 45 – Resultados referentes ao índice Aproveitamento**  
**Fonte: Elaborado pelo autor**

O índice Reutilizacao possui valor *crisp* 0,0382 e pertinências péssimo (1,00) e ruim (0,18) e o índice Reciclagem possui valor *crisp* 0,0910 e pertinências péssimo (1,00) e ruim (0,57), resultando num índice Aproveitamento com pertinências péssimo (1,00) e ruim (0,25) com valor *crisp* 0,0513.

Este índice reflete o desempenho ambiental da empresa quanto ao aproveitamento de resíduos de forma holística – englobando os gerados nos processo fabris e também pelos produtos pós-consumo retornados pela empresa. Os resultados apresentados encontram-se num patamar ainda desfavorável, sinalizando a necessidade de melhoria do desempenho deste índice.

#### 4.1.3 Ramificações do índice Disposicao\_Final

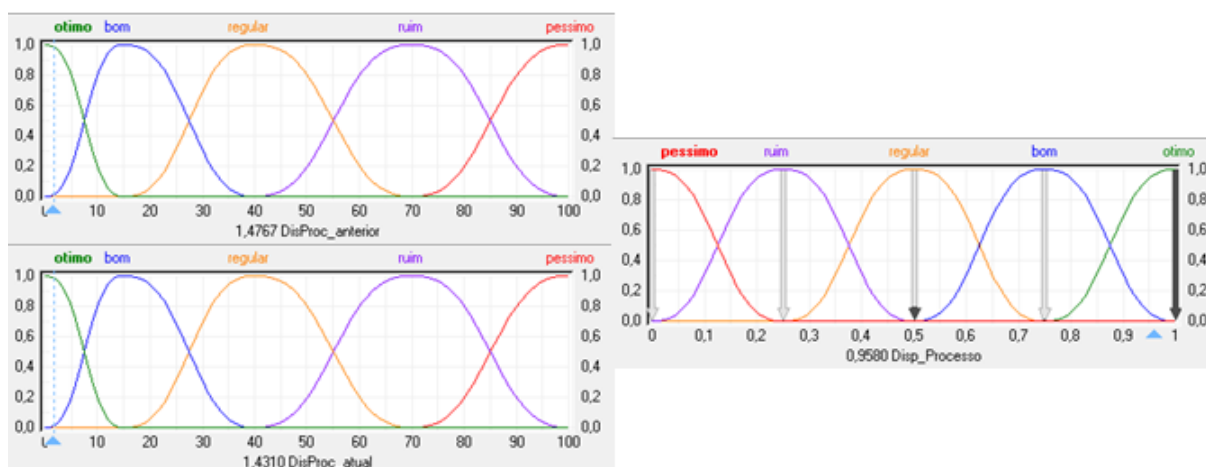
O índice Disposicao\_Final é composto por oito indicadores, quatro índices primários e dois secundários. A representação arbórea deste índice é apresentada na Figura 46.



**Figura 46 – Ramificações do índice Disposicao\_Final**  
 Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados obtidos em cada indicador e índice desta ramificação são apresentados e analisados a seguir.

**Índice Disp\_Processo:** a Figura 47 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos indicadores DisProc\_anterior e DisProc\_atual e o índice primário Disp\_Processo.

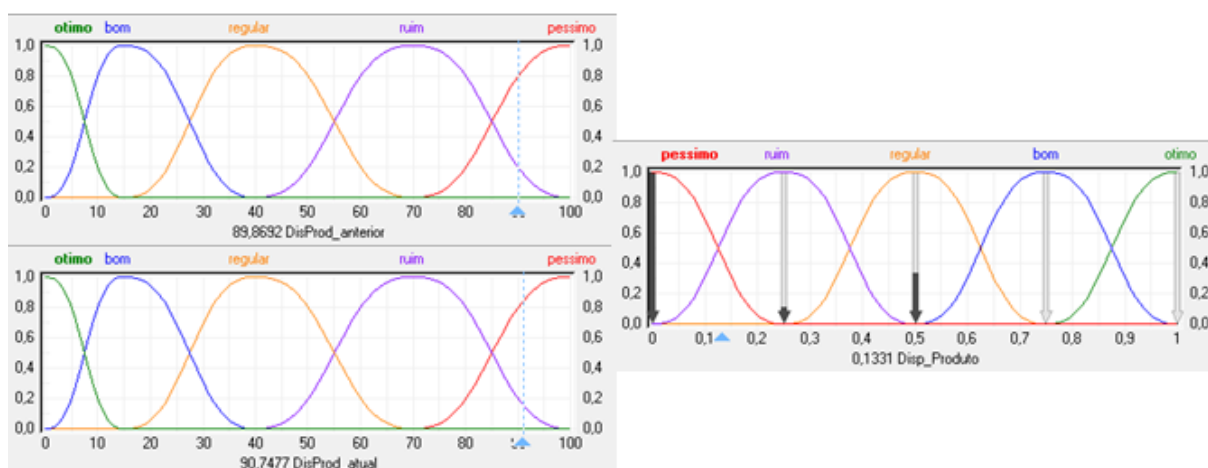


**Figura 47 – Resultados referentes ao índice Disp\_Processo**  
 Fonte: Elaborado pelo autor

O indicador DisProc\_anterior possui valor *crisp* 1,4767 e pertinências bom (0,01) e ótimo (0,98) e o indicador DisProc\_atual possui valor *crisp* 1,4310 e pertinências bom (0,01) e ótimo (0,98), resultando num índice Disp\_Processo com pertinências regular (0,08), bom (>0,00) e ótimo (1,00) com valor *crisp* 0,9580.

Em análise aos resultados obtidos, a condição bastante favorável dos indicadores associada à melhora no ano atual reflete o excelente gerenciamento dos rejeitos oriundos dos processos fabris e a busca pela melhoria contínua deste índice.

**Índice Disp\_Produto:** a Figura 48 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos indicadores DisProd\_anterior e DisProd\_atual e o índice primário Disp\_Produto.

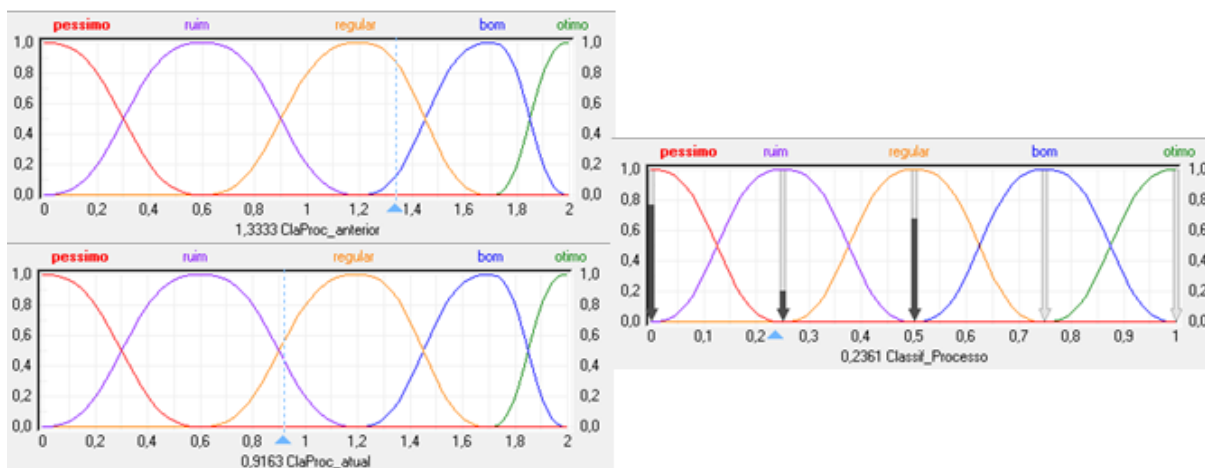


**Figura 48 – Resultados referentes ao índice Disp\_Produto**  
Fonte: Elaborado pelo autor

O indicador DisProd\_anterior possui valor *crisp* 89,8692 e pertinências péssimo (0,79) e ruim (0,20) e o indicador DisProd\_atual possui valor *crisp* 90,7477 e pertinências péssimo (0,83) e ruim (0,16), resultando num índice Disp\_Produto com pertinências péssimo (1,00), ruim (0,10) e regular (0,32) com valor *crisp* 0,1331.

Em análise aos resultados obtidos, a condição desfavorável dos indicadores associada à piora no ano atual reflete a necessidade de melhoria de desempenho do índice, por meio do incentivo ao aumento da quantidade de resíduos oriundos dos produtos pós-consumo retornados pela empresa, de forma a atingir o montante mínimo estabelecido.

**Índice Classif\_Processo:** a Figura 49 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos indicadores ClaProc\_anterior e ClaProc\_atual e o índice primário Classif\_Processo.

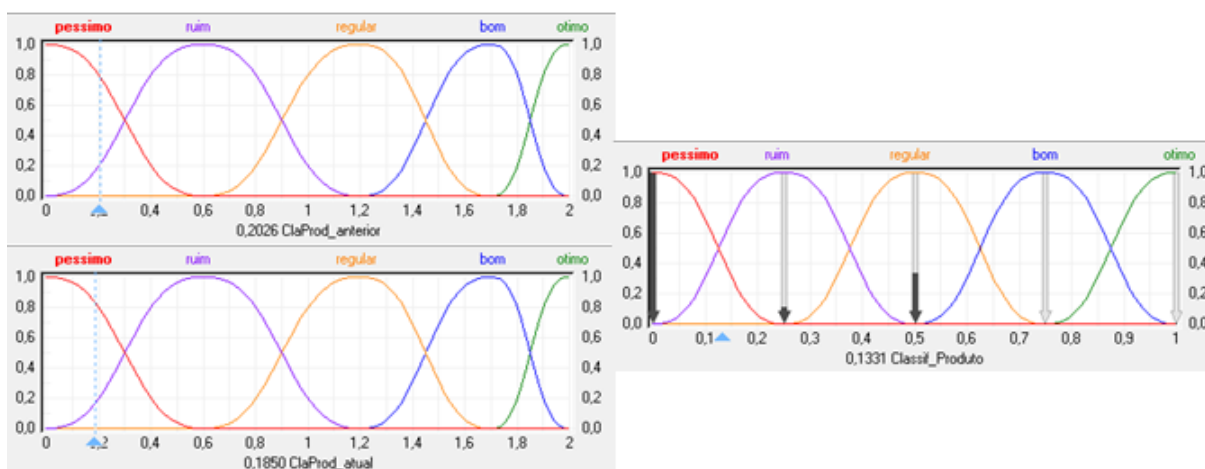


**Figura 49 – Resultados referentes ao índice Classif\_Processo**  
 Fonte: Elaborado pelo autor

O indicador ClaProc\_anterior possui valor *crisp* 1,3333 e pertinências regular (0,88) e bom (0,11) e o indicador ClaProc\_atual possui valor *crisp* 0,9163 e pertinências ruim (0,44) e regular (0,55), resultando num índice Classif\_Processo com pertinências péssimo (0,77), ruim (0,19) e regular (0,67) com valor *crisp* 0,2361.

Os resultados obtidos apresentam uma piora significativa dos indicadores, refletindo no índice a necessidade de melhoria de desempenho por meio de medidas que minimizem o impacto ambiental dos resíduos de processo destinados à disposição final.

**Índice Classif\_Produto:** a Figura 50 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos indicadores ClaProd\_anterior e ClaProd\_atual e o índice primário Classif\_Produto.

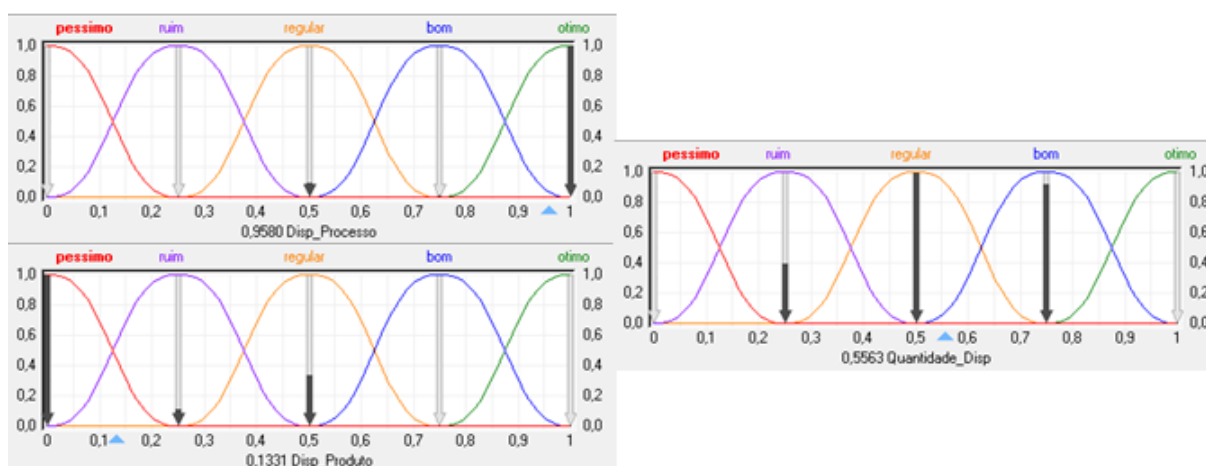


**Figura 50 – Resultados referentes ao índice Classif\_Produto**  
 Fonte: Elaborado pelo autor

O indicador ClaProd\_anterior possui valor *crisp* 0,2026 e pertinências péssimo (0,79) e ruim (0,20) e o indicador ClaProd\_atual possui valor *crisp* 0,1850 e pertinências péssimo (0,83) e ruim (0,16), resultando num índice Classif\_Produto com pertinências péssimo (1,00), ruim (0,10) e regular (0,32) com valor *crisp* 0,1331.

Em análise aos resultados obtidos, a condição desfavorável dos indicadores associada a piora no ano atual reflete a necessidade de melhoria de desempenho do índice, por meio de medidas que minimizem o impacto ambiental dos rejeitos destinados à disposição final, além do incentivo ao aumento da quantidade de resíduos oriundos dos produtos pós-consumo retornados pela empresa, de forma a atingir o montante mínimo estabelecido.

**Índice Quantidade\_Disb:** a Figura 51 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos índices primários Disp\_Processo e Disp\_Produto e secundário Quantidade\_Disb.

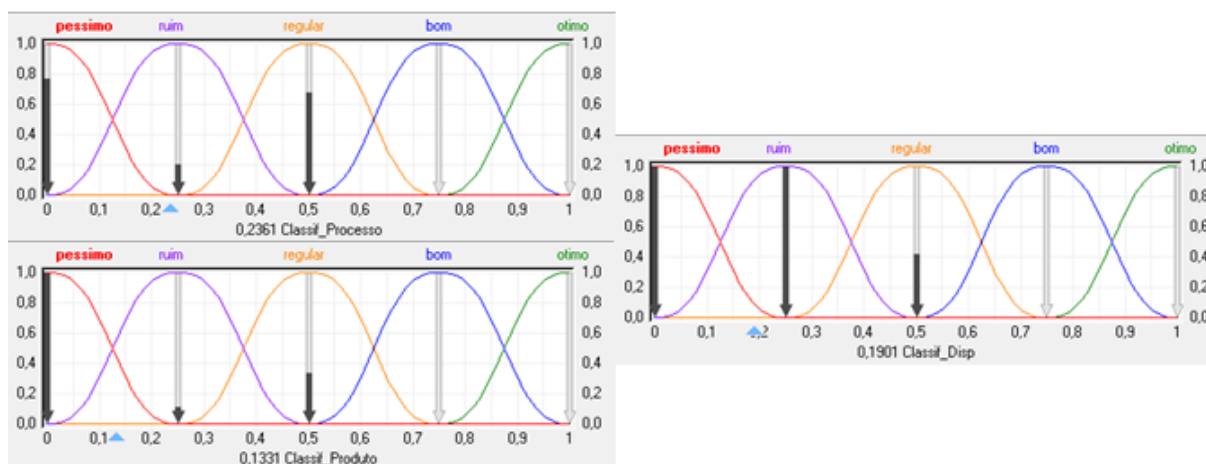


**Figura 51 – Resultados referentes ao índice Quantidade\_Disb**  
Fonte: Elaborado pelo autor

O índice Disp\_Processo possui valor *crisp* 0,9580 e pertinências regular (0,08), bom (>0,00) e ótimo (1,00) e o índice Disp\_Produto possui valor *crisp* 0,1331 e pertinências péssimo (1,00), ruim (0,10) e regular (0,32), resultando num índice Quantidade\_Disb com pertinências ruim (0,39), regular (1,00) e bom (0,91) com valor *crisp* 0,5563.

Este índice reflete o desempenho ambiental da empresa quanto à quantidade de rejeitos destinada à disposição final. Os resultados apresentados ocupam uma posição pouco acima da intermediária, sinalizando a necessidade de melhoria no desempenho deste índice, vislumbrando atingir patamares superiores.

**Índice Classif\_Disb:** a Figura 52 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos índices primários Classif\_Processo e Classif\_Produto e secundário Classif\_Disb.

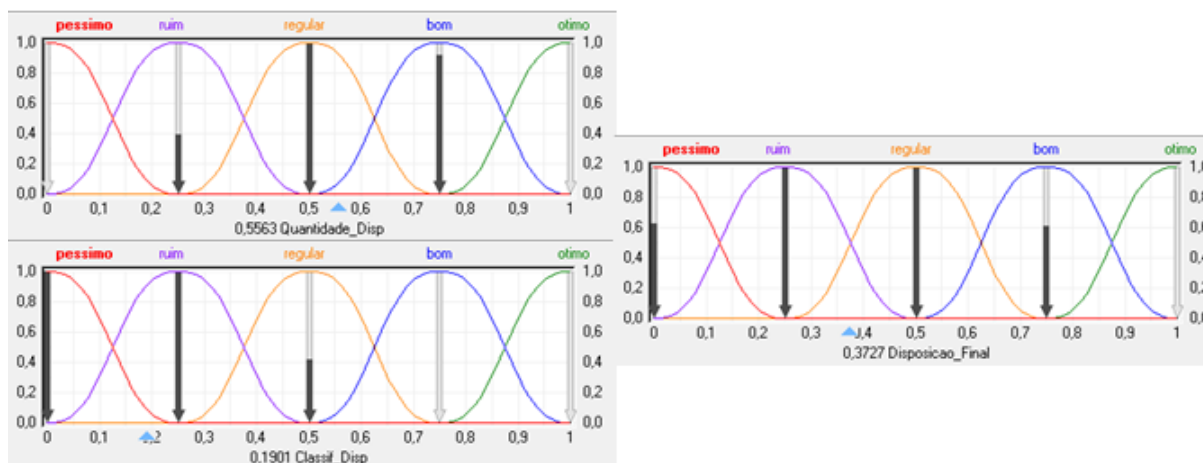


**Figura 52 – Resultados referentes ao índice Classif\_Disb**  
Fonte: Elaborado pelo autor

O índice Classif\_Processo possui valor *crisp* 0,2361 e pertinências péssimo (0,77), ruim (0,19) e regular (0,67) e o índice Classif\_Produto possui valor *crisp* 0,1331 e pertinências péssimo (1,00), ruim (0,10) e regular (0,32), resultando num índice Classif\_Disb com pertinências péssimo (1,00), ruim (1,00) e regular (0,42) com valor *crisp* 0,1901.

Este índice reflete o desempenho ambiental da empresa quanto à classificação dos rejeitos destinada à disposição final. Os resultados apresentados encontram-se num patamar ainda desfavorável, sinalizando a necessidade de melhoria do desempenho deste índice.

**Índice Disposicao\_Final:** a Figura 53 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos índices secundários Quantidade\_Disb e Classif\_Disb e terciário Disposicao\_Final.



**Figura 53 – Resultados referentes ao índice Disposicao\_Final**  
**Fonte: Elaborado pelo autor**

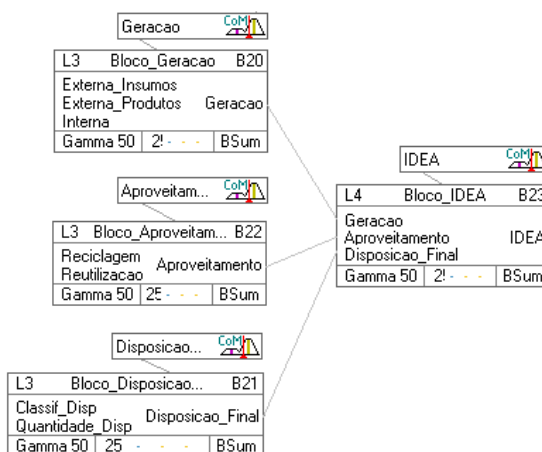
O índice Quantidade\_Disposicao possui valor *crisp* 0,5563 e pertinências ruim (0,39), regular (1,00) e bom (0,91) e o índice Classif\_Disposicao possui valor *crisp* 0,1901 e pertinências péssimo (1,00), ruim (1,00) e regular (0,42), resultando num índice Disposicao\_Final com pertinências péssimo (0,62), ruim (1,00), regular (1,00) e bom (0,60) com valor *crisp* 0,3727.

Este índice reflete o desempenho ambiental da empresa quanto à disposição final de rejeitos de forma holística – englobando os gerados nos processo fabris e também pelos produtos pós-consumo retornados pela empresa. Os resultados apresentados encontram-se num patamar quase intermediário, mas ainda desfavorável, sinalizando a necessidade de melhoria do desempenho deste índice.

#### 4.1.4 Ramificação concisa do IDEA PNRS+L

O índice IDEA é composto por três indicadores terciários que agregam as informações referentes à geração, aproveitamento e disposição final de resíduos. A representação arbórea simplificada deste índice é apresentada na Figura 46.

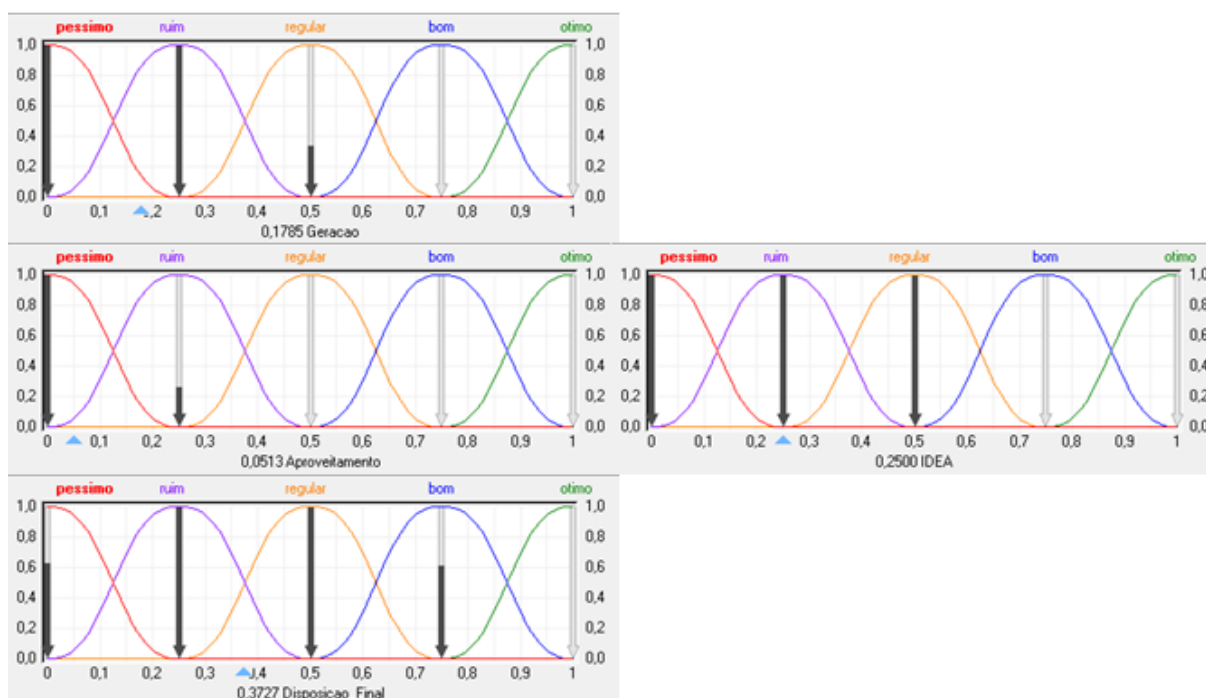




**Figura 54 – Ramificação concisa do IDEA PNRS+L**  
 Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados obtidos em cada índice desta ramificação são apresentados e analisados a seguir.

**Índice IDEA:** a Figura 55 apresenta os diagramas *fuzzy* contendo os resultados referentes aos índices terciários Geracao, Aproveitamento e Disposicao\_Final e o índice final IDEA.



**Figura 55 – Resultados referentes ao índice IDEA**  
 Fonte: Elaborado pelo autor

O índice Geracao possui valor *crisp* 0,1785 e pertinências péssimo (1,00), ruim (1,00) e regular (0,33), o índice Aproveitamento possui valor *crisp* 0,0513 e

pertinências péssimo (1,00) e ruim (0,25) e o índice Disposicao\_Final possui valor *crisp* 0,3727 e pertinências péssimo (0,62), ruim (1,00), regular (1,00) e bom (0,60), resultando num índice IDEA com pertinências péssimo (1,00), ruim (1,00) e regular (1,00) com valor *crisp* 0,2500.

Este índice reflete o desempenho ambiental da empresa quanto ao gerenciamento de resíduos de forma holística – englobando insumos, processos produtivos e produtos produzidos. Os resultados apresentados encontram-se num patamar ainda desfavorável, sinalizando a necessidade de melhoria do desempenho deste índice, por meio de ações abarcando os três aspectos que o compõe.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desde 2010 entrou em vigor a Política Nacional de Resíduos Sólidos que tem como meta principal regular o manejo inadequado dos resíduos, o qual causa adversidades de âmbito social, econômico e ambiental. Torna-se imprescindível, segundo o Ministério do Meio Ambiente, a formação de hábitos de consumo, pós-consumo, produção e disposição final dos resíduos que permitam produzir a conscientização e construir a sustentabilidade da vida no planeta, uma prioridade mundial.

A ascensão do papel da tecnologia na produção industrial pode ser vista como uma articuladora dos preceitos de não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e correta disposição final de resíduos. No setor industrial, tem-se buscado soluções para o destino das coisas feitas, fabricadas, produzidas, tendo em vista que do “fazer” são gerados diferentes tipos de resíduos. Por isso, o controle dos materiais e dos resíduos, resultantes dos processos fabris e produtos, não pode ser feito aleatoriamente, pois a sociedade possui hoje uma pluralidade de campos de pesquisa e disciplinas e recursos técnicos e tecnológicos para auxiliar na resolução de problemas e na tomada de decisões.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos em si não cobre a complexidade do gerenciamento dos resíduos industriais, que está inserido não somente numa competência especializada mas na globalidade da organização do pensamento contemporâneo. “Devemos contextualizar cada acontecimento, pois as coisas não acontecem separadamente”<sup>7</sup>. Os geradores precisam caracterizar adequadamente seus resíduos, selecionar o tratamento e disposição final, técnica e economicamente viáveis em consonância com os órgãos de controle ambiental.

O modelo proposto por esta Tese para Avaliação de Desempenho Ambiental de Organizações Industriais vai ao encontro das demandas geradas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, pela sociedade e ambiente. As indústrias (como geradoras de resíduos sólidos) necessitam organizar planos de gerenciamento de resíduos sistêmicos e holísticos visando a não geração, redução, reutilização,

---

<sup>7</sup> Palestra proferida por Edgar Morin na faculdade de filosofia e ciências humanas da UFMG ([www.ufmg.br/boletim/bol1203/pag5.html](http://www.ufmg.br/boletim/bol1203/pag5.html)).

reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Por conseguinte, este estudo articulou as ações decorrentes das diretrizes da PNRS e as das indústrias por meio de mensuração, avaliação e apreciação que detalharam um dimensionamento para os resíduos sólidos industriais. O modelo IDEA PNRS+L corrobora com as diretivas da PNRS, visto que ele pode subsidiar tomadas de decisão para melhorias de desempenho ambiental das indústrias por meio de indicadores e índices pré-determinados. Ele permite o reposicionamento de aspectos e perspectivas dos resíduos sólidos industriais que vem sendo destacados e privilegiados no tempo e no espaço das organizações.

Afinado com os elementos norteadores da Política Nacional de Resíduos Sólidos e conceitos afins, o instrumento IDEA PNRS+L envolve logística reversa, Produção mais Limpa e *Ecodesign* além de normas da série ISO 14000, tais como Sistemas de Gestão Ambiental, Integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos, Rotulagem ambiental e Avaliação de Desempenho Ambiental.

Dele decorre a originalidade da pesquisa desta Tese que constrói um modelo de desempenho ambiental para a gestão de resíduos sólidos industriais, o qual se aplica à geração de resíduos provenientes dos processos fabris, a geração anterior, referente aos insumos adquiridos, e a geração posterior, relativa aos produtos produzidos, ao período de utilização e manejo dos produtos pós-consumo, perfazendo todo o ciclo de vida.

A modelagem fuzzy para avaliação de desempenho ambiental do gerenciamento de resíduos sólidos industriais é outro diferencial deste modelo e mostrou-se adequada na qualidade de instrumento para auxiliar na tomada de decisões em organizações e como fomentadora do cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Acredita-se, pois, que não é suficiente para as atividades fabris o simples estabelecimento de políticas internas para os resíduos sólidos industriais sem o auxílio técnico do uso de modelos avaliativos.

Os parâmetros alicerçadores que constituíram o corpo teórico da Tese, foram suficientemente abrangentes para a construção do instrumento de avaliação de desempenho ambiental IDEA PNRS+L, considerado adequado para a arbitragem das organizações. Estes recuperaram a compreensão e as concepções de

iniciativas governamentais e atitudes profissionais ambientalmente corretas apoiadas em definições e conceitos contemporâneos de produtos e serviços.

Nas simulações e testes, além da aplicação em uma indústria, o modelo mostrou-se apurado mesmo para pequenas variações dos dados de entrada, e confiável, ao reproduzir fielmente o comportamento estabelecido em sua concepção. Todavia, aconselha-se a aplicação contínua da ferramenta IDEA PNRS+L em organizações industriais com o propósito de estruturar, sistematizar e providenciar um inventário descritivo das ações e análise da multiplicidade de alternativas que explicam incoerências, incertezas e incompatibilidades.

Concebido na forma *top-down soft decision tree* – utilizando o *software fuzzyTECH*<sup>®</sup>, a formulação das regras de produção *fuzzy* foi baseada na opinião de especialistas (por meio do método Delphi), que determinaram os graus de influência das variáveis de cada índice do modelo, dando maior credibilidade à qualidade das inferências realizadas. O conceito da lógica *fuzzy* é apropriado ao trato de variáveis que envolvem incertezas e subjetividades, menor precisão e maior significância, características pertinentes às formas do raciocínio humano e sua complexidade.

A implantação do gerenciamento dos resíduos sólidos usando os recursos científicos, técnicos e tecnológicos – lógica fuzzy; método delphi; planilhas excel, cálculos matemáticos, recursos da informática – é realmente um meio de agilizar as práticas. Além disso, para respeitar prazos e o cumprimento das normas há necessidade de organização de equipes, de políticas, de programas e de projetos. As parcerias fazem parte deste tipo de ação e são demandas prementes sejam elas com a academia, instituições sociais, movimentos nacionais, associações, conselhos e ONG's.

Os questionários de avaliação baseados nos princípios de *Ecodesign*, e o valor do montante mínimo de retorno de produtos pós-consumo são técnicas que exigem um refazer contínuo e uma troca incessante de idéias para se manterem atualizados e contextualizados. Não se pode deixar de mencionar a incompletude deste instrumento e as necessidades de adequações do conjunto de procedimentos que fazem parte do corpo do modelo.

Convém mencionar que esta ferramenta é aplicável para qualquer segmento industrial. Não obstante, é necessário escolher estratégias de enfrentamento e superação de problemas referentes aos resíduos de forma a legitimar o modelo como parte integrante da tomada de decisões. O instrumento desenvolvido pode

responder às exigências da legislação, e assim motivar as organizações a fazer uso da modelagem IDEA PNRS+L para conhecer de forma genérica e específica as soluções mais aconselháveis de disposição final de resíduos, da reciclagem, da reutilização e outros.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Fortalecer a ferramenta incrementando estudos entre produção e consumo industrial, como por exemplo estudos em *ecodesign* para sistematizar requisitos necessários à diferentes modelos de produtos e setores industriais.

Afinar o modelo à PNRS, aos estudos de logística reversa, de sustentabilidade – pegada dos resíduos – e análise do ciclo do produto.

Ampliar o modelo incluindo a participação do Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis na gestão de resíduos sólidos e nas políticas públicas.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ISO/RT 14062**: Gestão ambiental – Integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto. Rio de Janeiro: ABNT, 26p., 2004(c).

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14001**: Sistemas da gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 27p., 2004(b).

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14020**: Rótulos e declarações ambientais – Princípios gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 5p., 2002.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14021**: Rótulos e declarações ambientais – Autodeclarações ambientais (Rotulagem do tipo II). Rio de Janeiro: ABNT, 30p., 2013.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14024**: Rótulos e declarações ambientais – Rotulagem ambiental do tipo I – Princípios e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 13p., 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14031**: Gestão ambiental - Avaliação de desempenho ambiental – Diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, 38p., 2004(a).

ADLMAIER, Diogo; SELLITTO, Miguel A. Embalagens retornáveis para transporte de bens manufaturados: um estudo de caso em logística reversa. **Revista Produção**. São Paulo, v.17, n.2, p.395-406, mai-ago, 2007.

ALMEIDA, F. **O Bom Negócio da Sustentabilidade**. 1.ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002.

BARBOZA, Elza M. F. **Rotulagem Ambiental** – Rótulos Ambientais e Análise do Ciclo de Vida (ACV). IBICT, 2001. Disponível em: <http://acv.ibict.br/publicacoes/realtorios/Rotulagem%20Ambiental.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2014.

BECKER, D. F. **A metodologia da produção mais limpa aplicada à construção civil**. 2007. 77 f. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

BERTÉLI, M. O.; PESSIN, N. Implantação de técnicas da metodologia de Produção mais Limpa, na produção de embalagens de madeira, em uma empresa do setor metal mecânico. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 29., 2009, Salvador. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2009.

BOCLIN, André S. C. **Prognóstico de sustentabilidade como apoio à decisão no licenciamento ambiental** - desenvolvimento de método utilizando dinâmica de sistemas, lógica fuzzy e backcasting. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

BORCHARDT, Miriam; WENDT, Marcos H.; SELBITTO, Miguel A.; PEREIRA, Giancarlo M. Avaliação da presença de práticas do Design for Environment (DfE) no desenvolvimento de produto de uma empresa da indústria química. **Produção**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 58-69, jan./fev. 2012.

BRASIL. **Decreto nº 7404**, de 23 de dezembro de 2010.

BRASIL. **Legislação brasileira sobre meio ambiente**. 3ªed. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2010(a). 576p. (Série legislação; n.58).

BRASIL. **Lei Federal nº 12305**, de 2 de agosto de 2010(b).

BRASIL. **Política Nacional de resíduos sólidos**. 2ªed. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012. 73p. (Série legislação; n.81).

BRASIL/PNUMA. Comitê brasileiro do programa das nações unidas para o meio ambiente. **As Normas ISO 14000**. Instituto Brasil PNUMA, jul. 2013. Disponível em: <<http://www.brasilpnuma.org.br/saibamais/iso14000.html>>. Acesso em: 20 nov. 2014.

CAJAZEIRA, Jorge E. R. **ISO 14001 – Manual de Implantação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.



CAMPOS FILHO, Pio. **Método para apoio à decisão na verificação da sustentabilidade de uma unidade de conservação, usando lógica Fuzzy.** 2004. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

CANDIDO, Roberto; SILVA, José R.; CORAIOLA, José A.; LEZANA, Álvaro G. R. Método Delphi – uma ferramenta para uso em Microempresas de Base Tecnológica. **Revista FAE**, Curitiba, v.10, n.2, p.157-164, jul./dez. 2007.

CAVENAGHI, Vagner; COSTA, Sérgio E. G.; LIMA, Edson P. Gestão do desempenho organizacional com abordagem da manufatura sustentável: realidades e tendências das organizações com responsabilidade socioambiental. In: OLIVEIRA, V. F.; CAVENAGHI, V.; MÁSCULO, F. S. (Org.). **Tópicos Emergentes e Desafios Metodológicos em Engenharia de Produção: Casos, Experiências e Proposições.** Volume III. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2009. p. 261-336.

CEMPRE. **A rotulagem ambiental** - aplicada às embalagens. Compromisso Empresarial para Reciclagem, 2008. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/download/RotulagemAmbiental2008.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2014.

CETESB. Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Norma Técnica P 2461.** Manual de orientação para a elaboração de estudos de análise de riscos. Diário Oficial do Estado de São Paulo. v.113, n.156, seção I, p.34-43, 2003.

CHAVES, Gisele de L. D.; BATALHA, Mário O. Os consumidores valorizam a coleta de embalagens recicláveis? Um estudo de caso da logística reversa em uma rede de hipermercados. **Gestão & Produção**, São Carlos, vol.13, n.3, p.423-434, set-dez, 2006.

CHOUDHARY, Varsha; JAIN, Pranita. Classification: a decision tree for uncertain data using CDF. **International Journal of Engineering Research and Applications** (IJERA). v.3, n.1, jan.-fev., 2013, p.1501-1506. ISSN: 2248-9622.

CNTL. Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/UNIDO/UNEP. **Implementação de Programas de Produção mais Limpa.** Porto Alegre: CNTL, 2003(a).

CNTL. Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/UNIDO/UNEP. **Manual metodologia de implantação do programa de produção mais limpa.** Curso de Consultores em Produção mais Limpa. Fortaleza: CNTL, 2002.

COELHO, H. M. G. **Modelo para avaliação e apoio ao gerenciamento de resíduos sólidos de indústrias**. 2011, 280 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 313 de 29 de outubro de 2002**. Revoga a Resolução nº 6/88. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos.

CRUZ, Isolina. **Desenvolvimento de um índice global para a avaliação do desempenho ambiental de sistemas de transporte de carga**. 2011. 173 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2011.

ECHEVESTE, M. E. ; SAURIN, T. A.; DANILEVICZ, A. M. F. Avaliação do uso de prática de ecodesign nas indústrias do Rio Grande do Sul: um estudo introdutório. **Produto & Produção**, vol. 6, n. 1, p. 09-23, fev. 2002.

FAGUNDES, Alexandre B. **Mapeamento do Gerenciamento das Areias a Verde de Fundação no Estado do Paraná sob a Ótica da Produção mais Limpa: uma Contribuição para o Estabelecimento de Estratégias**. 2010, 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa, 2010.

FEAM. **Índice de produção mais limpa para a indústria de transformação do Estado de Minas Gerais**. Caderno Técnico / Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: Feam, 2009. 99 p.

FIESP. **Perguntas frequentes sobre Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**. São Paulo: FIESP, 2012.

FIESP/CIESP. **Cartilha Indicadores de Desempenho Ambiental na indústria**. São Paulo: FIESP/CIESP, 2004.

FRANK, B.; GROTHE-SENF, A. Avaliação de Desempenho Ambiental Ampliado (ADAA): um modelo para comparação de empresas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. n.5, São Paulo, dez. 2006.

GANGA, Gilberto M. D.; CARPINETTI, Luiz C. R.; POLITANO, Paulo R. Gestão do desempenho em cadeias de suprimentos usando lógica fuzzy. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 18, n. 4, p. 755-774, 2011.

GARCIA, Juan C. C. **Ecodesign**: estudo de caso em uma indústria de móveis de escritório. 2007, 156f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia Industrial**: conceitos, ferramentas e aplicações. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed., São Paulo: Atlas, 2002.

GIOVINAZZO, Renata A. Modelo de aplicação da metodologia Delphi pela internet – vantagens e ressalvas. **Administração On Line**, v.2, n.2, abr.-jun., 2001. Disponível em: <[http://www.fecap.br/adm\\_online/art22/renata.htm](http://www.fecap.br/adm_online/art22/renata.htm)>. Acesso em: 11 out. 2014.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Instrução normativa nº 1**, de 25 de janeiro de 2013. Brasília: IBAMA, 2013.

INFORM. **Fuzzy Primer**. Disponível em: <<http://fuzzytech.com>>. Acesso em: 10 set. 2014(a).

INFORM. **fuzzyTECH® help** – Questions and answers. Disponível em: <<http://fuzzytech.com>>. Acesso em: 10 set. 2014.

INFORM. **fuzzyTECH® 5.8** – user's manual. INFORM GmbH, 191p., feb. 2010. Disponível em: <<http://fuzzytech.com>>. Acesso em: 10 set. 2014.

ISLAM, Z.; METTERNICHT, G. The performance of fuzzy operators on fuzzy classification of urban land covers. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. vol.71, nº1, pp.59-68, 2005.

KRAEMER, T. H. **Modelo econômico de controle e avaliação de impactos ambientais**. 2002. 191 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)– Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

KUBOTA, Flávio I.; CAMPOS, Lucila M. S.; MIGUEL, Paulo A. C. Uma análise preliminar das contribuições da modularidade em produto ao ecodesign. **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, v.14, n. 2, p. 560-592, abr./jun. 2014.

LaGREGA, M. D.; BUCKINGHAM, P. L.; EVANS, J. C. **Hazardous Waste Management**. New York: McGraw-Hill, 1994. 1146 p.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Técnicas de Pesquisa**. 6. ed., São Paulo: Atlas, 2006.

LEITE, Paulo R. **Logística Reversa: meio ambiente e competitividade**. 2ª edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LERÍPIO, A. A. **Gaia – Um método de gerenciamento de aspectos e impactos ambientais**. 2001. 159 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)– Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

LIMA, J. C. F.; RUTKOWSKI, E. W. Evolução das abordagens ambientais industriais. In: International Workshop Advances in Cleaner Production, 2, 2009, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: UNIP, 2009.

LINSTONE, Harold A.; Turoff, Murray. **The Delphi Method: techniques and applications**. E-book: 2002. Disponível em: <<http://is.njit.edu/pubs/delphibook/delphibook.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

LORA, Electo E. S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2002.

MALUTTA, César. **Método de apoio à tomada de decisão sobre a adequação de aterros sanitários utilizando a Lógica Fuzzy**. 2004. 221 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2004.

MANZINI, Ezio, VEZZOLI, Carlo. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo, Edusp, 2002.

MARTINO, Joseph P. **Technological forecasting for decision making**. 3. Ed. New York: Mc Grall-Hill Inc., 1993.

MATHWORKS. **Fuzzy logic toolbox – Design and simulate fuzzy logic systems**. Disponível em: <<http://www.mathworks.com/help/fuzzy/>>. Acesso em: 10 set. 2014.

MELLO, M. C. A. **Produção mais Limpa**: um estudo de caso na AGCO do Brasil, 2002. Dissertação (Mestrado em Administração), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

MENEZES, E. M.; SILVA, E. L. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4. ed., rev. Atual, Florianópolis: laboratório de ensino a distância da UFSC, 2005.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Contextos e Principais Aspectos**, 2012(a). Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/contextos-e-principais-aspectos>>. Acesso em 20 out. 2014.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>>. Acesso em 20 out. 2014.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Resíduos Sólidos** (Informativo mensal do Ministério do Meio Ambiente). Ano I. Nº1. 2011. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/253/\\_arquivos/boletim\\_01\\_253.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_arquivos/boletim_01_253.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2014.

MMA/ICLEI. Ministério do Meio Ambiente. **Planos de gestão de resíduos sólidos**: manual de orientação. MMA/ICLEI: Brasília, 2012. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/182/\\_arquivos/manual\\_de\\_residuos\\_solidos3003\\_182.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/182/_arquivos/manual_de_residuos_solidos3003_182.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2014.

MOURA, Thiago N.; JERÔNIMO, Carlos E. M.; SANTIAGO JÚNIOR, Aristides F.; CORTEZ, Sérgio, M. Intervenção da Produção mais Limpa nas indústrias têxteis do município de Jardim de Piranhas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23., 2005, Campo Grande. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: ABES, 2005.

NASCIMENTO, Luis N.; VENZKE, Claudio S. Ecodesign. In: JÚNIOR, Alcir V.; DEMAJOROVIC, Jacques. **Modelos e ferramentas de Gestão Ambiental**. Ed. Senac. 2ªed., São Paulo, 2010.

NPPC. National Pollution Prevention Center for Higher Education. **Pollution Prevention – Concepts and Principles**. Introductory Pollution Prevention Materials. Ann Arbor: University of Michigan, 1995. 18p.

OLARU, Cristina; WEHENKEL, Louis. A complete fuzzy decision tree technique. **Fuzzy Sets and Systems**, n.138, 2003, p.221-254. Disponível em: <<http://www.monntefiore.ulg.ac.be>>. Acesso em: 14 nov. 2014.

OLIVEIRA FILHO, Francisco A. **Aplicação do conceito de produção limpa**: estudo em uma empresa metalúrgica do setor de transformação do alumínio. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

OLIVEIRA, J. G.; BORGES, F. H.; JABBOUR, C. J. C. Avaliação de Desempenho no âmbito da Gestão Ambiental na organização. In: Simpósio de Engenharia de Produção, 12, 2005. Bauru. **Anais eletrônicos...** Bauru: UNESP, 2005.

OLIVEIRA, Luciel H. **Exemplo de cálculo de Ranking Médio para Likert**. Notas de Aula. Metodologia Científica e Técnicas de Pesquisa em Administração. Mestrado em Adm. e Desenvolvimento Organizacional. PPGA CNEC/FACECA: Varginha, 2005. Disponível em: <<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:CJd3NhlHT1kJ:www.adm.inistradores.com.br/producao-academica/ranking-medio-para-escala-de-likert/28/download/+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>. Acesso em: 20 nov. 2014.

OLIVEIRA, Verônica M., MARTINS, Maria F., CÂNDIDO, Gesinaldo A. O ecodesign como ferramenta de gestão ambiental aplicada ao setor da construção civil: o caso de um condomínio horizontal com proposta sustentável em Campina Grande – PB. In: Encontro de Estudos em Estratégia, 5, 2011. Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: ANPAD, 2011.

PEARSON. **Gestão ambiental** / Pearson Education do Brasil. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

PNRS. **Caderno de diagnóstico**: Resíduos Sólidos Industriais (Versão Preliminar). Ministério do Meio Ambiente: Brasília, agosto de 2011(a).

PNRS. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos** (Versão Preliminar para Consulta Pública). Ministério do Meio Ambiente: Brasília, setembro de 2011.

RAUPP, F. **Análise de Convergência das Técnicas de Produção Mais Limpa e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. 2007. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

REIS, Luis F. S. S. D.; QUEIROZ, Sandra M. P. **Gestão ambiental em pequenas e médias empresas**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 140p., 2004.

ROONEY, Anne. **A história da matemática** – Desde a criação das pirâmides até a exploração do infinito. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda., 216p., 2012.

SÁNCHEZ, Luis E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 496p., 2008.

SANTIAGO, Leonardo. **Série ISO - Normas de Rotulagem Ambiental (Rótulos e Declarações Ambientais)**. Avaliação do Ciclo de Vida, 2007. Disponível em: <http://acv.ibict.br/normas>. Acesso em: 16 jun. 2014.

SANTOS, L. M. M. **Avaliação Ambiental de Processos Industriais**. 2ª edição. São Paulo: Signus Editora, 2006.

SETAC. Evolution and development of the conceptual framework and methodology of life cycle impact assessment. 1998.

SILVA, Diogo A. L.; BARRA, Bruna N.; MONTES, Mary L. D.; RENO, Gece W. S.; YAMAGUTI, Henrique K. B. Potencialidade de aplicação da Produção mais Limpa na construção civil: uma revisão teórica. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 31, 2011, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2011.

SILVA, P. R. S.; AMARAL, F. G. An integrated methodology for environmental impacts and costs evaluation in industrial processes. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, p. 1339-1350, 2009.

SILVA, P. R. S.; AMARAL, F. G. MAICAPI – Metodologia para avaliação de impactos e custos ambientais em processos industriais: estudo de caso. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 212-222, 2006.

SILVA, P. R. S.; AMARAL, F. G. Modelo para Avaliação Ambiental em Sistemas Produtivos Industriais – MAASPI – aplicação em uma fábrica de esquadrias metálicas. **Gestão & Produção**. v.18, n.1, São Carlos, jan-abr. 2011.

SILVA FILHO, Benedito de Lima. **Modelo de auxílio à identificação de trabalho escravo ou degradante utilizando lógica fuzzy**. 2006. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SINNECKER, César A. **Estudo sobre a importância da logística reversa em quatro grandes empresas da região metropolitana de Curitiba**, 168p. 2007. Dissertação (Engenharia de Produção e Sistemas), Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2007.

TAUCHEN, J.; BRANDLI, L. L. A Gestão Ambiental em Instituições de Ensino Superior: modelo para implantação em campus universitário. **Gestão & Produção**. v.13, n.3, São Carlos, set-dez. 2006.

VAN HEMEL, C., CRAMER, J. Barriers and stimuli for ecodesign in SMEs. **Journal of Cleaner Production**. V.10, p.439-453. Elsevier, 2002.

VIEIRA, Kelmara M.; DALMORO, Marlon. Dilemas na construção de escalas tipo Likert: o número de itens e a disposição influenciam nos resultados? In: XXXII Encontro da ANPAD. 6-10 setembro de 2008. Rio de Janeiro. **Anais Eletrônicos...** Rio de Janeiro: ANPAD, 2008.

VOLTOLINI, Ricardo. **Rótulos, selos e certificações verdes**: uma ferramenta para o consumo consciente. *Idéia Sustentável* – ed.20 – jun. 2010 – p.47-60. Disponível em: <http://www.ideiasustentavel.com.br/pdf/IS20%20-%20Dossie%20v3.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2014.

WRIGHT, James T. C.; GIOVINAZZO, Renata A. **Delphi – uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo**. Caderno de pesquisas em administração, São Paulo, v. 01, n. 12, 2º trim., 2000.



**APÊNDICE A - Carta de apresentação (pesquisa Delphi)**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Diretoria do *Campus* Curitiba  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia-PPGTE



Prezado(a) Sr.(a)

Estou desenvolvendo uma pesquisa de Tese de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia (PPGTE), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). A pesquisa visa a construção de um novo modelo para a Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA) de empreendimentos, com foco na Gestão de Resíduos Sólidos Industriais.

Nesse interim, faz-se necessária a relevante contribuição de profissionais com experiência na área ambiental, de forma a subsidiar a pesquisa em alguns pontos-chave, por meio de um método de pesquisa de opinião (método Delphi).

O método Delphi busca a convergência dos resultados das consultas aos participantes por meio de análise das opiniões explicitadas e reenvio do resultado geral aos profissionais consultados, de forma a proporcionar aos mesmos rever ou confirmar sua avaliação inicial (o anonimato dos respondentes será resguardado).

Considerando seu notório conhecimento na área em questão, solicito a gentileza do preenchimento do formulário em anexo e devolução do mesmo num prazo de 15 dias (são 10 questões alternativas com tempo total de preenchimento estimado entre 10 e 15 minutos).

Reitero que sua contribuição é de extrema importância para o sucesso da pesquisa, por isso conto com seu apoio.

Desde já agradeço sua colaboração e prontifico-me a prestar quaisquer esclarecimentos adicionais.

Atenciosamente,

Alexandre Borges Fagundes – Doutorando PPGTE/UTFPR

**APÊNDICE B - Questionário de pesquisa**

**Pesquisa de opinião quanto à INFLUÊNCIA DE INDICADORES DE DESEMPENHO AMBIENTAL NA COMPOSIÇÃO DE ÍNDICES, para um modelo de avaliação de desempenho de empresas quanto à gestão de seus resíduos sólidos.**

**EM SUA OPINIÃO, QUAIS SÃO AS IMPORTÂNCIAS (OU INFLUÊNCIAS) DOS INDICADORES APONTADOS A SEGUIR, NA COMPOSIÇÃO DE SEUS RESPECTIVOS ÍNDICES?**

**(marque um “x” como resposta para cada indicador, nos quadros cinza)**

**Questão-exemplo:**

| Importância de cada indicador abaixo na composição do índice:<br>Índice “C” | NULLA | MÉDIA |   |  |  |  |   | ALTA |
|---|-------|-------|---|--|--|--|---|------|
| Indicador “A” →   |       |       | X |  |  |  |   |      |
| Indicador “B” →   |       |       |   |  |  |  | X |      |

**Importante!**

Nesta pesquisa, um índice (neste exemplo: “C”) sempre será composto por indicadores (neste exemplo “A” e “B”) levando em conta a importância (ou influência) de cada um deles.

**Observações:** conforme o exemplo acima, a importância (ou influência) atribuída a cada indicador pode assumir qualquer posição entre “nula” e “alta”.

Questões acerca da Geração de resíduos industriais -----

**Questão 01:**

| Importância de cada indicador abaixo na composição do índice:<br>“ <u>GERAÇÃO EXTERNA DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS – INSUMOS</u> ” | NULLA | MÉDIA |  |  |  |  |  | ALTA |
|---|-------|-------|--|--|--|--|--|------|
| ROTULAGENS AMBIENTAIS dos insumos adquiridos →  |       |       |  |  |  |  |  |      |
| CERTIFICAÇÃO ISO 14001 dos fabricantes dos insumos adquiridos →   |       |       |  |  |  |  |  |      |

**Questão 02:**

| Importância de cada indicador abaixo na composição do índice:<br>“ <u>GERAÇÃO EXTERNA DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS – PRODUTOS</u> ”                                    | NULLA | MÉDIA |  |  |  |  |  | ALTA |
|---|-------|-------|--|--|--|--|--|------|
| Condição de projeto dos produtos produzidos quanto a EFICIÊNCIA, LIMPEZA E DURABILIDADE dos mesmos →  |       |       |  |  |  |  |  |      |
| Condição de projeto dos produtos produzidos quanto a SEPARAÇÃO/DESMONTAGEM das partes dos materiais e da possibilidade de REAPLICAÇÃO dos materiais descartados → |       |       |  |  |  |  |  |      |





**APÊNDICE C** - Exemplo de questionário para os indicadores de *Ecodesign*

## INSTRUÇÕES PARA A UTILIZAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Para cada questão existem dois grupos de respostas, devendo ser assinalado apenas um “x” em cada grupo.

Cada opção de resposta possui uma pontuação pré-determinada.

**O primeiro grupo de respostas** refere-se ao percentual de modelos de produto, produzidos pela empresa, que atendem a cada questão. As sete respostas possíveis e respectivas pontuações são:

- “Não” (0% dos modelos de produto atende a questão): zero ponto;
- “Parcialmente” (acima de 0% até 15% dos modelos de produto atendem a questão): um ponto;
- “Parcialmente” (acima de 15% até 50% dos modelos de produto atendem a questão): dois pontos;
- “Parcialmente” (acima de 50% até 85% dos modelos de produto atendem a questão): três pontos;
- “Parcialmente” (acima de 85% até 99,9% dos modelos de produto atendem a questão): quatro pontos;
- “Sim” (100% dos modelos de produto atendem a questão): cinco pontos;
- “Não sabe”: zero ponto.

**Já o segundo grupo de respostas** refere-se à proporção de cada resposta (de maneira também percentual) tendo como referência os produtos similares existentes ou os próprios produtos produzidos pela empresa, de acordo com a questão. As sete respostas possíveis e respectivas pontuações são:

- “0%”: zero ponto;
- “Acima de 0% até 15%”: um ponto;
- “Acima de 15% até 50%”: dois pontos;
- “Acima de 50% até 85%”: três pontos;
- “Acima de 85% até 99,9%”: quatro pontos;
- “100%”: cinco pontos;
- “Não sabe”: zero ponto.

Ao final, contabiliza-se a soma dos pontos obtidos pela empresa.



## DOIS EXEMPLOS DE PREENCHIMENTO

### - Exemplo a:

**Primeiro grupo de respostas:** se a empresa produzir, no ano em questão, 10 diferentes modelos de produto e **20%** deles (ou seja, 02 modelos de produto) forem “mais leves que os similares” existentes no mercado, então o “x” deverá ser colocado na coluna: **PARCIALMENTE (acima de 15% até 50% dos modelos de produto produzidos).**

**Segundo grupo de respostas:** dando continuidade ao exemplo acima, se os 02 modelos de produto similares têm, respectivamente, 5.0 e 4.0 kg (totalizando 9.0 kg), e os 02 modelos de produto “mais leves que os similares” produzidos pela empresa avaliada têm, respectivamente, 4.5 e 3.5 kg (totalizando 8.0 kg), isso significa que, no total, esses 02 produtos são **11,1%** “mais leves que os similares” (9 kg - 11,1% = 8 kg), então o “x” deverá ser colocado na coluna: **Acima de 0% até 15%.**

### - Exemplo b:

**Primeiro grupo de respostas:** se a empresa produzir, no ano em questão, 10 diferentes modelos de produto e **60%** deles (ou seja, 06 modelos de produto) forem “compostos por materiais reciclados”, então o “x” deverá ser colocado na coluna: **PARCIALMENTE (acima de 50% até 85% dos modelos de produto produzidos).**

**Segundo grupo de respostas:** dando continuidade ao exemplo acima, se a soma da massa total dos 06 modelos de produto for 40 kg, e a soma dos materiais reciclados que compõem esses 06 modelos de produto totalizar 9.8 kg, isso significa que, considerando os valores totais desses 06 modelos de produto, possui-se **24,5%** de material reciclado ( $9.8 \text{ kg} / 40 \text{ kg} = 0.245$ ), então o “x” deverá ser colocado na coluna: **Acima de 15% até 50%.**











**APÊNDICE D** - Listagem dos dados a serem fornecidos pelas empresas para a composição do IDEA PNRS+L

| <b>Dados fornecidos pelas empresas para a composição do IDEA PNRS+L</b><br><i>(são necessárias as informações referentes ao ano anterior e também ao ano atual)</i> |   |  |   |
|---|---|--|---|
| <b>QUANTIDADE E DESCRIÇÃO DOS DADOS FORNECIDOS PELA EMPRESA</b><br><b>(referentes ao ano em questão)</b>  |   |  | <b>QUANTIDADES TOTAIS</b>   |
|   | Massa (kg) dos insumos efetivamente utilizados, adquiridos de fabricantes "sem certificação ISO 14001"  |  | <b>Insumos utilizados</b><br><br>(estes dois totais devem ser iguais) |
|   | Massa (kg) dos insumos efetivamente utilizados, adquiridos de fabricantes "em processo de certificação ISO 14001"                             |  |   |
|   | Massa (kg) dos insumos efetivamente utilizados, adquiridos de fabricantes "certificados ISO 14001"  |  |   |
|   | Massa (kg) dos insumos efetivamente utilizados, adquiridos "sem rotulagem ambiental"  |  |   |
|   | Massa (kg) dos insumos efetivamente utilizados, adquiridos "com rotulagem ambiental tipo II"  |  |   |
|   | Massa (kg) dos insumos efetivamente utilizados, adquiridos "com rotulagem ambiental tipo I"   |  |   |
|   | Massa (kg) dos insumos efetivamente utilizados, adquiridos "com rotulagem ambiental tipo III"   |  |   |
|   | Massa total (kg) dos produtos produzidos  |  | <b>Produtos produzidos</b>  |
|   | Condição ambiental dos produtos produzidos, envolvendo eficiência, limpeza e durabilidade   |  | <b>Condição Ambiental dos Produtos produzidos<sup>1</sup></b>         |
|   | Condição ambiental dos produtos produzidos, envolvendo separação/desmontagem das partes dos materiais e reaplicação dos materiais descartados |  |   |
|   | Massa (kg) de resíduos reutilizados (oriundos dos processos produtivos internos)  |  | <b>Resíduos Reutilizados</b>  |
|   | Massa (kg) de resíduos reutilizados (oriundos dos produtos pós-consumo)   |  |   |
|   | Massa (kg) de resíduos reciclados (oriundos dos processos produtivos internos)  |  | <b>Resíduos Reciclados</b>  |
|   | Massa (kg) de resíduos reciclados (oriundos dos produtos pós-consumo)   |  |   |



|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
|  | Massa (kg) dos rejeitos classe I dispostos (oriundos dos processos produtivos internos)  |  | <b>Resíduos de processo encaminhados à Disposição Final</b>                   |
|  | Massa (kg) dos rejeitos classe IIA dispostos (oriundos dos processos produtivos internos)  |  |   |
|  | Massa (kg) dos rejeitos classe IIB dispostos (oriundos dos processos produtivos internos)  |  |   |
|  | Massa (kg) dos rejeitos classe I dispostos (oriundos dos produtos pós-consumo)   |  | <b>Resíduos de produtos pós-consumo encaminhados à Disposição Final</b>       |
|  | Massa (kg) dos rejeitos classe IIA dispostos (oriundos dos produtos pós-consumo)   |  |   |
|  | Massa (kg) dos rejeitos classe IIB dispostos (oriundos dos produtos pós-consumo)   |  |   |
|  | Montante mínimo (kg) de resíduos de produtos pós-consumo da própria empresa que devem ser retornados ( <i>logística reversa dos produtos pós-consumo produzidos pela própria empresa e/ou retorno de produtos pós-consumo produzidos por outras empresas, desde que constituídos por materiais com as mesmas características dos produzidos pela própria empresa</i> ) |  | <b>Mínimo de Resíduos de produtos pós-consumo a ser Retornado<sup>2</sup></b> |

<sup>[1]</sup> Valores obtidos por meio do preenchimento do “Questionário para os indicadores de *Ecodesign*” (Apêndice C);

<sup>[2]</sup> Valor determinado por especialistas, considerando as diversas variáveis pertinentes (quantidades produzidas, especificidades de cada diferente produto - a exemplo das diferentes estimativas de tempo de vida para cada diferente modelo de produto - e as questões comportamentais dos consumidores acerca de cada produto - a exemplo das formas de manuseio, tempo médio de utilização e preferências de destinação e/ou descarte dos mesmos frente ao lançamento de novos produtos, entre outras considerações possíveis).

**APÊNDICE E - Influências das variáveis que compõem os índices do IDEA PNRS+L**

## Influências das variáveis que compõem os índices do IDEA PNRS+L

### Índice *Externa\_Insumos*:

| <b>Graus de influência dos índices ISO_14001 e Rotulagem_Ambien sobre o Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Geração Externa de Resíduos Industriais – Insumos (<i>Externa_Insumos</i>):</b> | NULLA | MÉDIA | ALTA |
|--|-------|-------|------|
|  |       |       |      |
| <i>Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto as Rotulagens ambientais dos insumos adquiridos (Rotulagem_Ambien)</i>   |       |       | ↑    |
| <i>Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto ao Sistema de Gestão Ambiental dos fabricantes dos insumos adquiridos (ISO_14001)</i>  |       |       | ↑    |

### Índice *Externa\_Produtos*:

| <b>Graus de influência dos índices Produto_Ecoefici e Produto_Reaplic sobre o Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Geração Externa de Resíduos Industriais – Produtos (<i>Externa_Produtos</i>):</b>            | NULLA | MÉDIA | ALTA |
|---|-------|-------|------|
|   |       |       |      |
| <i>Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Condição ambiental dos produtos produzidos, envolvendo eficiência, limpeza e durabilidade (Produto_Ecoefici)</i>  |       |       | ↑    |
| <i>Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Condição ambiental dos produtos produzidos, envolvendo a separação/desmontagem das partes dos materiais e a reaplicação dos materiais descartados (Produto_Reaplic)</i> |       |       | ↑    |

### Índice *Reutilizacao*:

| <b>Graus de influência dos índices Reut_Processo e Reut_Produto sobre o Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reutilização de Resíduos Industriais (<i>Reutilizacao</i>):</b> | NULLA | MÉDIA | ALTA |
|--|-------|-------|------|
|  |       |       |      |
| <i>Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reutilização de resíduos do próprio Processo produtivo (Reut_Processo)</i>   |       |       | ↑    |
| <i>Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reutilização de resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo (Reut_Produto)</i>  |       |       | ↑    |

## Índice Reciclagem:

|   |   |
|---|---|
| <b>Graus de influência dos índices Reut_Processo e Reut_Produto sobre o Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reciclagem de Resíduos Industriais (Reciclagem):</b> | <p>NULLA                      MÉDIA                      ALTA</p> |
| Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reciclagem de resíduos do próprio Processo produtivo (Recic_Processo)  | ↑   |
| Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reciclagem de resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo (Recic_Produto)   | ↑   |

## Índice Quantidade\_Dispo:

|  |   |
|--|---|
| <b>Graus de influência dos índices Disp_Processo e Disp_Produto sobre o Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a quantidade de resíduos destinada à Disposição final (Quantidade_Dispo):</b> | <p>NULLA                      MÉDIA                      ALTA</p> |
| Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto aos resíduos de processo destinados à Disposição final (Disp_Processo)  | ↑   |
| Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto aos resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo destinados à Disposição final (Disp_Produto)   | ↑   |


## Índice Classif\_Dispo:

|  |   |
|--|---|
| <b>Graus de influência dos índices Classif_Processo e Classif_Produto sobre o Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a classificação dos resíduos destinados à Disposição final (Classif_Dispo):</b> | <p>NULLA                      MÉDIA                      ALTA</p> |
| Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a classificação dos resíduos de processo destinados à Disposição final (Classif_Processo)   | ↑   |
| Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a classificação dos resíduos dos próprios Produtos Pós-Consumo destinados à Disposição final (Classif_Produto)  | ↑   |


## Índice Geracao:

|  |   |
|--|---|
| <b>Graus de influência dos índices Externa_Insumos, Interna e Externa_Produtos sobre o Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Geração de Resíduos Industriais (Geracao):</b> | <p>NULLA                      MÉDIA                      ALTA</p> |
| Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Geração Externa de Resíduos Industriais - Insumos (Externa_Insumos)   | ↑   |
| Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Geração Interna de Resíduos Industriais (Interna)   | ↑   |
| Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Geração Externa de Resíduos Industriais - Produtos (Externa_Produtos)   | ↑   |


## Índice Aproveitamento:

|   |   |       |      |
|---|---|-------|------|
| <b>Graus de influência dos índices Reutilizacao e Reciclagem sobre o Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto ao Aproveitamento de Resíduos Industriais (Aproveitamento):</b> | NULA  | MÉDIA | ALTA |
|   |  |       |      |
| Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reutilização de Resíduos Industriais (Reutilizacao)  |   |       | ↑    |
| Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Reciclagem de Resíduos Industriais (Reciclagem)  |   |       | ↑    |

## Índice Disposicao\_Final:

|  |   |       |      |
|--|---|-------|------|
| <b>Graus de influência dos índices Quantidade_Disp e Classif_Disp sobre o Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Disposição Final de seus Resíduos Industriais (Disposicao_Final):</b> | NULA  | MÉDIA | ALTA |
|  |  |       |      |
| Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a quantidade de resíduos destinada à Disposição final (Quantidade_Disp)   |   |       | ↑    |
| Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a classificação dos resíduos destinados à Disposição final (Classif_Disp)   |   |       | ↑    |

## Índice IDEA:

|   |   |       |      |
|---|---|-------|------|
| <b>Graus de influência dos índices Geracao, Aproveitamento e Disposicao_Final sobre o Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Gestão de Resíduos Sólidos Industriais (IDEA):</b> | NULA  | MÉDIA | ALTA |
|   |  |       |      |
| Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Geração de Resíduos Industriais (Geracao)  |   |       | ↑    |
| Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto ao Aproveitamento de Resíduos Industriais (Aproveitamento)   |   |       | ↑    |
| Índice de Desempenho Ambiental da empresa quanto a Disposição Final de seus Resíduos Industriais (Disposicao_Final)   |   |       | ↑    |

**APÊNDICE F - Blocos de regras dos índices secundários**

Bloco de regras do índice secundário **Externa\_Insumos** (25 regras):

| Regra | SE        |                  | ENTÃO           |
|-------|-----------|------------------|-----------------|
|       | ISO_14001 | Rotulagem_Ambien | Externa_Insumos |
| 1     | péssimo   | péssimo          | péssimo         |
| 2     | péssimo   | ruim             | péssimo         |
| 3     | péssimo   | regular          | ruim            |
| 4     | péssimo   | bom              | ruim            |
| 5     | péssimo   | ótimo            | regular         |
| 6     | ruim      | péssimo          | péssimo         |
| 7     | ruim      | ruim             | ruim            |
| 8     | ruim      | regular          | ruim            |
| 9     | ruim      | bom              | regular         |
| 10    | ruim      | ótimo            | bom             |
| 11    | regular   | péssimo          | ruim            |
| 12    | regular   | ruim             | ruim            |
| 13    | regular   | regular          | regular         |
| 14    | regular   | bom              | bom             |
| 15    | regular   | ótimo            | bom             |
| 16    | bom       | péssimo          | ruim            |
| 17    | bom       | ruim             | regular         |
| 18    | bom       | regular          | bom             |
| 19    | bom       | bom              | bom             |
| 20    | bom       | ótimo            | ótimo           |
| 21    | ótimo     | péssimo          | regular         |
| 22    | ótimo     | ruim             | regular         |
| 23    | ótimo     | regular          | bom             |
| 24    | ótimo     | bom              | ótimo           |
| 25    | ótimo     | ótimo            | ótimo           |

Bloco de regras do índice secundário **Externa\_Produtos** (25 regras):

| Regra | SE               |                 | ENTÃO            |
|-------|------------------|-----------------|------------------|
|       | Produto_Ecoefici | Produto_Reaplic | Externa_Produtos |
| 1     | péssimo          | péssimo         | péssimo          |
| 2     | péssimo          | ruim            | péssimo          |
| 3     | péssimo          | regular         | ruim             |

|    |         |         |         |
|----|---------|---------|---------|
| 4  | péssimo | bom     | ruim    |
| 5  | péssimo | ótimo   | regular |
| 6  | ruim    | péssimo | péssimo |
| 7  | ruim    | ruim    | ruim    |
| 8  | ruim    | regular | ruim    |
| 9  | ruim    | bom     | regular |
| 10 | ruim    | ótimo   | bom     |
| 11 | regular | péssimo | ruim    |
| 12 | regular | ruim    | ruim    |
| 13 | regular | regular | regular |
| 14 | regular | bom     | bom     |
| 15 | regular | ótimo   | bom     |
| 16 | bom     | péssimo | ruim    |
| 17 | bom     | ruim    | regular |
| 18 | bom     | regular | bom     |
| 19 | bom     | bom     | bom     |
| 20 | bom     | ótimo   | ótimo   |
| 21 | ótimo   | péssimo | regular |
| 22 | ótimo   | ruim    | regular |
| 23 | ótimo   | regular | bom     |
| 24 | ótimo   | bom     | ótimo   |
| 25 | ótimo   | ótimo   | ótimo   |

Bloco de regras do índice secundário **Reutilizacao** (25 regras):

| Regra | SE            |              | ENTÃO        |
|-------|---------------|--------------|--------------|
|       | Reut_Processo | Reut_Produto | Reutilizacao |
| 1     | péssimo       | péssimo      | péssimo      |
| 2     | péssimo       | ruim         | péssimo      |
| 3     | péssimo       | regular      | ruim         |
| 4     | péssimo       | bom          | ruim         |
| 5     | péssimo       | ótimo        | regular      |
| 6     | ruim          | péssimo      | péssimo      |
| 7     | ruim          | ruim         | ruim         |
| 8     | ruim          | regular      | ruim         |
| 9     | ruim          | bom          | regular      |
| 10    | ruim          | ótimo        | bom          |
| 11    | regular       | péssimo      | ruim         |



|    |         |         |         |
|----|---------|---------|---------|
| 12 | regular | ruim    | ruim    |
| 13 | regular | regular | regular |
| 14 | regular | bom     | bom     |
| 15 | regular | ótimo   | bom     |
| 16 | bom     | péssimo | ruim    |
| 17 | bom     | ruim    | regular |
| 18 | bom     | regular | bom     |
| 19 | bom     | bom     | bom     |
| 20 | bom     | ótimo   | ótimo   |
| 21 | ótimo   | péssimo | regular |
| 22 | ótimo   | ruim    | bom     |
| 23 | ótimo   | regular | bom     |
| 24 | ótimo   | bom     | ótimo   |
| 25 | ótimo   | ótimo   | ótimo   |

Bloco de regras do índice secundário **Reciclagem** (25 regras):

| Regra | SE             |               | ENTÃO      |
|-------|----------------|---------------|------------|
|       | Recic_Processo | Recic_Produto | Reciclagem |
| 1     | péssimo        | péssimo       | péssimo    |
| 2     | péssimo        | ruim          | péssimo    |
| 3     | péssimo        | regular       | ruim       |
| 4     | péssimo        | bom           | ruim       |
| 5     | péssimo        | ótimo         | regular    |
| 6     | ruim           | péssimo       | péssimo    |
| 7     | ruim           | ruim          | ruim       |
| 8     | ruim           | regular       | ruim       |
| 9     | ruim           | bom           | regular    |
| 10    | ruim           | ótimo         | bom        |
| 11    | regular        | péssimo       | ruim       |
| 12    | regular        | ruim          | ruim       |
| 13    | regular        | regular       | regular    |
| 14    | regular        | bom           | bom        |
| 15    | regular        | ótimo         | bom        |
| 16    | bom            | péssimo       | ruim       |
| 17    | bom            | ruim          | regular    |
| 18    | bom            | regular       | bom        |
| 19    | bom            | bom           | bom        |

|    |       |         |         |
|----|-------|---------|---------|
| 20 | bom   | ótimo   | ótimo   |
| 21 | ótimo | péssimo | regular |
| 22 | ótimo | ruim    | bom     |
| 23 | ótimo | regular | bom     |
| 24 | ótimo | bom     | ótimo   |
| 25 | ótimo | ótimo   | ótimo   |

Bloco de regras do índice secundário **Quantidade\_Disb** (25 regras):

| Regra | SE            |              | ENTÃO           |
|-------|---------------|--------------|-----------------|
|       | Disp_Processo | Disp_Produto | Quantidade_Disb |
| 1     | péssimo       | péssimo      | péssimo         |
| 2     | péssimo       | ruim         | péssimo         |
| 3     | péssimo       | regular      | ruim            |
| 4     | péssimo       | bom          | ruim            |
| 5     | péssimo       | ótimo        | regular         |
| 6     | ruim          | péssimo      | péssimo         |
| 7     | ruim          | ruim         | ruim            |
| 8     | ruim          | regular      | ruim            |
| 9     | ruim          | bom          | regular         |
| 10    | ruim          | ótimo        | bom             |
| 11    | regular       | péssimo      | ruim            |
| 12    | regular       | ruim         | ruim            |
| 13    | regular       | regular      | regular         |
| 14    | regular       | bom          | bom             |
| 15    | regular       | ótimo        | bom             |
| 16    | bom           | péssimo      | ruim            |
| 17    | bom           | ruim         | regular         |
| 18    | bom           | regular      | bom             |
| 19    | bom           | bom          | bom             |
| 20    | bom           | ótimo        | ótimo           |
| 21    | ótimo         | péssimo      | regular         |
| 22    | ótimo         | ruim         | bom             |
| 23    | ótimo         | regular      | bom             |
| 24    | ótimo         | bom          | ótimo           |
| 25    | ótimo         | ótimo        | ótimo           |

Bloco de regras do índice secundário **Classif\_Dis** (25 regras):

| Regra | SE               |                 | ENTÃO       |
|-------|------------------|-----------------|-------------|
|       | Classif_Processo | Classif_Produto | Classif_Dis |
| 1     | péssimo          | péssimo         | péssimo     |
| 2     | péssimo          | ruim            | péssimo     |
| 3     | péssimo          | regular         | ruim        |
| 4     | péssimo          | bom             | ruim        |
| 5     | péssimo          | ótimo           | regular     |
| 6     | ruim             | péssimo         | péssimo     |
| 7     | ruim             | ruim            | ruim        |
| 8     | ruim             | regular         | ruim        |
| 9     | ruim             | bom             | regular     |
| 10    | ruim             | ótimo           | bom         |
| 11    | regular          | péssimo         | ruim        |
| 12    | regular          | ruim            | ruim        |
| 13    | regular          | regular         | regular     |
| 14    | regular          | bom             | bom         |
| 15    | regular          | ótimo           | bom         |
| 16    | bom              | péssimo         | ruim        |
| 17    | bom              | ruim            | regular     |
| 18    | bom              | regular         | bom         |
| 19    | bom              | bom             | bom         |
| 20    | bom              | ótimo           | ótimo       |
| 21    | ótimo            | péssimo         | regular     |
| 22    | ótimo            | ruim            | bom         |
| 23    | ótimo            | regular         | bom         |
| 24    | ótimo            | bom             | ótimo       |
| 25    | ótimo            | ótimo           | ótimo       |

**APÊNDICE G** - Blocos de regras dos índices terciários

Bloco de regras do índice terciário **Geracao** (125 regras):

| Regra | SE              |                  |         | ENTÃO   |
|-------|-----------------|------------------|---------|---------|
|       | Externa_Insumos | Externa_Produtos | Interna | Geracao |
| 1     | péssimo         | péssimo          | péssimo | péssimo |
| 2     | péssimo         | péssimo          | ruim    | péssimo |
| 3     | péssimo         | péssimo          | regular | ruim    |
| 4     | péssimo         | péssimo          | bom     | ruim    |
| 5     | péssimo         | péssimo          | ótimo   | ruim    |
| 6     | péssimo         | ruim             | péssimo | péssimo |
| 7     | péssimo         | ruim             | ruim    | ruim    |
| 8     | péssimo         | ruim             | regular | ruim    |
| 9     | péssimo         | ruim             | bom     | ruim    |
| 10    | péssimo         | ruim             | ótimo   | regular |
| 11    | péssimo         | regular          | péssimo | ruim    |
| 12    | péssimo         | regular          | ruim    | ruim    |
| 13    | péssimo         | regular          | regular | ruim    |
| 14    | péssimo         | regular          | bom     | regular |
| 15    | péssimo         | regular          | ótimo   | regular |
| 16    | péssimo         | bom              | péssimo | ruim    |
| 17    | péssimo         | bom              | ruim    | ruim    |
| 18    | péssimo         | bom              | regular | regular |
| 19    | péssimo         | bom              | bom     | regular |
| 20    | péssimo         | bom              | ótimo   | regular |
| 21    | péssimo         | ótimo            | péssimo | ruim    |
| 22    | péssimo         | ótimo            | ruim    | regular |
| 23    | péssimo         | ótimo            | regular | regular |
| 24    | péssimo         | ótimo            | bom     | regular |
| 25    | péssimo         | ótimo            | ótimo   | bom     |
| 26    | ruim            | péssimo          | péssimo | péssimo |
| 27    | ruim            | péssimo          | ruim    | ruim    |
| 28    | ruim            | péssimo          | regular | ruim    |
| 29    | ruim            | péssimo          | bom     | ruim    |
| 30    | ruim            | péssimo          | ótimo   | regular |
| 31    | ruim            | ruim             | péssimo | ruim    |
| 32    | ruim            | ruim             | ruim    | ruim    |
| 33    | ruim            | ruim             | regular | ruim    |
| 34    | ruim            | ruim             | bom     | regular |

|    |         |         |         |         |
|----|---------|---------|---------|---------|
| 35 | ruim    | ruim    | ótimo   | regular |
| 36 | ruim    | regular | péssimo | ruim    |
| 37 | ruim    | regular | ruim    | ruim    |
| 38 | ruim    | regular | regular | regular |
| 39 | ruim    | regular | bom     | regular |
| 40 | ruim    | regular | ótimo   | regular |
| 41 | ruim    | bom     | péssimo | ruim    |
| 42 | ruim    | bom     | ruim    | regular |
| 43 | ruim    | bom     | regular | regular |
| 44 | ruim    | bom     | bom     | regular |
| 45 | ruim    | bom     | ótimo   | bom     |
| 46 | ruim    | ótimo   | péssimo | regular |
| 47 | ruim    | ótimo   | ruim    | regular |
| 48 | ruim    | ótimo   | regular | regular |
| 49 | ruim    | ótimo   | bom     | bom     |
| 50 | ruim    | ótimo   | ótimo   | bom     |
| 51 | regular | péssimo | péssimo | péssimo |
| 52 | regular | péssimo | ruim    | ruim    |
| 53 | regular | péssimo | regular | ruim    |
| 54 | regular | péssimo | bom     | regular |
| 55 | regular | péssimo | ótimo   | regular |
| 56 | regular | ruim    | péssimo | ruim    |
| 57 | regular | ruim    | ruim    | ruim    |
| 58 | regular | ruim    | regular | regular |
| 59 | regular | ruim    | bom     | regular |
| 60 | regular | ruim    | ótimo   | regular |
| 61 | regular | regular | péssimo | ruim    |
| 62 | regular | regular | ruim    | regular |
| 63 | regular | regular | regular | regular |
| 64 | regular | regular | bom     | regular |
| 65 | regular | regular | ótimo   | bom     |
| 66 | regular | bom     | péssimo | regular |
| 67 | regular | bom     | ruim    | regular |
| 68 | regular | bom     | regular | regular |
| 69 | regular | bom     | bom     | bom     |
| 70 | regular | bom     | ótimo   | bom     |
| 71 | regular | ótimo   | péssimo | regular |
| 72 | regular | ótimo   | ruim    | regular |

|     |         |         |         |         |
|-----|---------|---------|---------|---------|
| 73  | regular | ótimo   | regular | bom     |
| 74  | regular | ótimo   | bom     | bom     |
| 75  | regular | ótimo   | ótimo   | ótimo   |
| 76  | bom     | péssimo | péssimo | ruim    |
| 77  | bom     | péssimo | ruim    | ruim    |
| 78  | bom     | péssimo | regular | regular |
| 79  | bom     | péssimo | bom     | regular |
| 80  | bom     | péssimo | ótimo   | regular |
| 81  | bom     | ruim    | péssimo | ruim    |
| 82  | bom     | ruim    | ruim    | regular |
| 83  | bom     | ruim    | regular | regular |
| 84  | bom     | ruim    | bom     | regular |
| 85  | bom     | ruim    | ótimo   | bom     |
| 86  | bom     | regular | péssimo | regular |
| 87  | bom     | regular | ruim    | regular |
| 88  | bom     | regular | regular | regular |
| 89  | bom     | regular | bom     | bom     |
| 90  | bom     | regular | ótimo   | bom     |
| 91  | bom     | bom     | péssimo | regular |
| 92  | bom     | bom     | ruim    | regular |
| 93  | bom     | bom     | regular | bom     |
| 94  | bom     | bom     | bom     | bom     |
| 95  | bom     | bom     | ótimo   | bom     |
| 96  | bom     | ótimo   | péssimo | regular |
| 97  | bom     | ótimo   | ruim    | bom     |
| 98  | bom     | ótimo   | regular | bom     |
| 99  | bom     | ótimo   | bom     | bom     |
| 100 | bom     | ótimo   | ótimo   | ótimo   |
| 101 | ótimo   | péssimo | péssimo | ruim    |
| 102 | ótimo   | péssimo | ruim    | regular |
| 103 | ótimo   | péssimo | regular | regular |
| 104 | ótimo   | péssimo | bom     | regular |
| 105 | ótimo   | péssimo | ótimo   | bom     |
| 106 | ótimo   | ruim    | péssimo | regular |
| 107 | ótimo   | ruim    | ruim    | regular |
| 108 | ótimo   | ruim    | regular | regular |
| 109 | ótimo   | ruim    | bom     | bom     |
| 110 | ótimo   | ruim    | ótimo   | bom     |

|     |       |         |         |         |
|-----|-------|---------|---------|---------|
| 111 | ótimo | regular | péssimo | regular |
| 112 | ótimo | regular | ruim    | regular |
| 113 | ótimo | regular | regular | bom     |
| 114 | ótimo | regular | bom     | bom     |
| 115 | ótimo | regular | ótimo   | bom     |
| 116 | ótimo | bom     | péssimo | regular |
| 117 | ótimo | bom     | ruim    | bom     |
| 118 | ótimo | bom     | regular | bom     |
| 119 | ótimo | bom     | bom     | bom     |
| 120 | ótimo | bom     | ótimo   | ótimo   |
| 121 | ótimo | ótimo   | péssimo | bom     |
| 122 | ótimo | ótimo   | ruim    | bom     |
| 123 | ótimo | ótimo   | regular | bom     |
| 124 | ótimo | ótimo   | bom     | ótimo   |
| 125 | ótimo | ótimo   | ótimo   | ótimo   |

Bloco de regras do índice terciário **Aproveitamento** (25 regras):

| Regra | SE         |              | ENTÃO          |
|-------|------------|--------------|----------------|
|       | Reciclagem | Reutilizacao | Aproveitamento |
| 1     | péssimo    | péssimo      | péssimo        |
| 2     | péssimo    | ruim         | péssimo        |
| 3     | péssimo    | regular      | ruim           |
| 4     | péssimo    | bom          | ruim           |
| 5     | péssimo    | ótimo        | regular        |
| 6     | ruim       | péssimo      | péssimo        |
| 7     | ruim       | ruim         | ruim           |
| 8     | ruim       | regular      | ruim           |
| 9     | ruim       | bom          | regular        |
| 10    | ruim       | ótimo        | bom            |
| 11    | regular    | péssimo      | ruim           |
| 12    | regular    | ruim         | ruim           |
| 13    | regular    | regular      | regular        |
| 14    | regular    | bom          | bom            |
| 15    | regular    | ótimo        | bom            |
| 16    | bom        | péssimo      | ruim           |
| 17    | bom        | ruim         | regular        |
| 18    | bom        | regular      | bom            |



|    |       |         |         |
|----|-------|---------|---------|
| 19 | bom   | bom     | bom     |
| 20 | bom   | ótimo   | ótimo   |
| 21 | ótimo | péssimo | regular |
| 22 | ótimo | ruim    | bom     |
| 23 | ótimo | regular | bom     |
| 24 | ótimo | bom     | ótimo   |
| 25 | ótimo | ótimo   | ótimo   |

Bloco de regras do índice terciário **Disposicao\_Final** (25 regras):

| Regra | SE                 |                       | ENTÃO            |
|-------|--------------------|-----------------------|------------------|
|       | Classif_Disposicao | Quantidade_Disposicao | Disposicao_Final |
| 1     | péssimo            | péssimo               | péssimo          |
| 2     | péssimo            | ruim                  | péssimo          |
| 3     | péssimo            | regular               | ruim             |
| 4     | péssimo            | bom                   | ruim             |
| 5     | péssimo            | ótimo                 | regular          |
| 6     | ruim               | péssimo               | péssimo          |
| 7     | ruim               | ruim                  | ruim             |
| 8     | ruim               | regular               | ruim             |
| 9     | ruim               | bom                   | regular          |
| 10    | ruim               | ótimo                 | bom              |
| 11    | regular            | péssimo               | ruim             |
| 12    | regular            | ruim                  | ruim             |
| 13    | regular            | regular               | regular          |
| 14    | regular            | bom                   | bom              |
| 15    | regular            | ótimo                 | bom              |
| 16    | bom                | péssimo               | ruim             |
| 17    | bom                | ruim                  | regular          |
| 18    | bom                | regular               | bom              |
| 19    | bom                | bom                   | bom              |
| 20    | bom                | ótimo                 | ótimo            |
| 21    | ótimo              | péssimo               | regular          |
| 22    | ótimo              | ruim                  | bom              |
| 23    | ótimo              | regular               | bom              |
| 24    | ótimo              | bom                   | ótimo            |
| 25    | ótimo              | ótimo                 | ótimo            |

**APÊNDICE H - Bloco de regras do índice final**

Bloco de regras do índice final **IDEA** (125 regras):

| Regra | SE             |                  |         | ENTÃO   |
|-------|----------------|------------------|---------|---------|
|       | Aproveitamento | Disposicao_Final | Geracao | IDEA    |
| 1     | péssimo        | péssimo          | péssimo | péssimo |
| 2     | péssimo        | péssimo          | ruim    | péssimo |
| 3     | péssimo        | péssimo          | regular | péssimo |
| 4     | péssimo        | péssimo          | bom     | ruim    |
| 5     | péssimo        | péssimo          | ótimo   | ruim    |
| 6     | péssimo        | ruim             | péssimo | péssimo |
| 7     | péssimo        | ruim             | ruim    | péssimo |
| 8     | péssimo        | ruim             | regular | ruim    |
| 9     | péssimo        | ruim             | bom     | ruim    |
| 10    | péssimo        | ruim             | ótimo   | regular |
| 11    | péssimo        | regular          | péssimo | péssimo |
| 12    | péssimo        | regular          | ruim    | ruim    |
| 13    | péssimo        | regular          | regular | ruim    |
| 14    | péssimo        | regular          | bom     | regular |
| 15    | péssimo        | regular          | ótimo   | regular |
| 16    | péssimo        | bom              | péssimo | ruim    |
| 17    | péssimo        | bom              | ruim    | ruim    |
| 18    | péssimo        | bom              | regular | regular |
| 19    | péssimo        | bom              | bom     | regular |
| 20    | péssimo        | bom              | ótimo   | regular |
| 21    | péssimo        | ótimo            | péssimo | ruim    |
| 22    | péssimo        | ótimo            | ruim    | regular |
| 23    | péssimo        | ótimo            | regular | regular |
| 24    | péssimo        | ótimo            | bom     | regular |
| 25    | péssimo        | ótimo            | ótimo   | bom     |
| 26    | ruim           | péssimo          | péssimo | péssimo |
| 27    | ruim           | péssimo          | ruim    | péssimo |
| 28    | ruim           | péssimo          | regular | ruim    |
| 29    | ruim           | péssimo          | bom     | ruim    |
| 30    | ruim           | péssimo          | ótimo   | regular |
| 31    | ruim           | ruim             | péssimo | péssimo |
| 32    | ruim           | ruim             | ruim    | ruim    |
| 33    | ruim           | ruim             | regular | ruim    |
| 34    | ruim           | ruim             | bom     | regular |

|    |         |         |         |         |
|----|---------|---------|---------|---------|
| 35 | ruim    | ruim    | ótimo   | regular |
| 36 | ruim    | regular | péssimo | ruim    |
| 37 | ruim    | regular | ruim    | ruim    |
| 38 | ruim    | regular | regular | regular |
| 39 | ruim    | regular | bom     | regular |
| 40 | ruim    | regular | ótimo   | regular |
| 41 | ruim    | bom     | péssimo | ruim    |
| 42 | ruim    | bom     | ruim    | regular |
| 43 | ruim    | bom     | regular | regular |
| 44 | ruim    | bom     | bom     | regular |
| 45 | ruim    | bom     | ótimo   | bom     |
| 46 | ruim    | ótimo   | péssimo | regular |
| 47 | ruim    | ótimo   | ruim    | regular |
| 48 | ruim    | ótimo   | regular | regular |
| 49 | ruim    | ótimo   | bom     | bom     |
| 50 | ruim    | ótimo   | ótimo   | bom     |
| 51 | regular | péssimo | péssimo | péssimo |
| 52 | regular | péssimo | ruim    | ruim    |
| 53 | regular | péssimo | regular | ruim    |
| 54 | regular | péssimo | bom     | regular |
| 55 | regular | péssimo | ótimo   | regular |
| 56 | regular | ruim    | péssimo | ruim    |
| 57 | regular | ruim    | ruim    | ruim    |
| 58 | regular | ruim    | regular | regular |
| 59 | regular | ruim    | bom     | regular |
| 60 | regular | ruim    | ótimo   | regular |
| 61 | regular | regular | péssimo | ruim    |
| 62 | regular | regular | ruim    | regular |
| 63 | regular | regular | regular | regular |
| 64 | regular | regular | bom     | regular |
| 65 | regular | regular | ótimo   | bom     |
| 66 | regular | bom     | péssimo | regular |
| 67 | regular | bom     | ruim    | regular |
| 68 | regular | bom     | regular | regular |
| 69 | regular | bom     | bom     | bom     |
| 70 | regular | bom     | ótimo   | bom     |
| 71 | regular | ótimo   | péssimo | regular |
| 72 | regular | ótimo   | ruim    | regular |

|     |         |         |         |         |
|-----|---------|---------|---------|---------|
| 73  | regular | ótimo   | regular | bom     |
| 74  | regular | ótimo   | bom     | bom     |
| 75  | regular | ótimo   | ótimo   | ótimo   |
| 76  | bom     | péssimo | péssimo | ruim    |
| 77  | bom     | péssimo | ruim    | ruim    |
| 78  | bom     | péssimo | regular | regular |
| 79  | bom     | péssimo | bom     | regular |
| 80  | bom     | péssimo | ótimo   | regular |
| 81  | bom     | ruim    | péssimo | ruim    |
| 82  | bom     | ruim    | ruim    | regular |
| 83  | bom     | ruim    | regular | regular |
| 84  | bom     | ruim    | bom     | regular |
| 85  | bom     | ruim    | ótimo   | bom     |
| 86  | bom     | regular | péssimo | regular |
| 87  | bom     | regular | ruim    | regular |
| 88  | bom     | regular | regular | regular |
| 89  | bom     | regular | bom     | bom     |
| 90  | bom     | regular | ótimo   | bom     |
| 91  | bom     | bom     | péssimo | regular |
| 92  | bom     | bom     | ruim    | regular |
| 93  | bom     | bom     | regular | bom     |
| 94  | bom     | bom     | bom     | bom     |
| 95  | bom     | bom     | ótimo   | ótimo   |
| 96  | bom     | ótimo   | péssimo | regular |
| 97  | bom     | ótimo   | ruim    | bom     |
| 98  | bom     | ótimo   | regular | bom     |
| 99  | bom     | ótimo   | bom     | ótimo   |
| 100 | bom     | ótimo   | ótimo   | ótimo   |
| 101 | ótimo   | péssimo | péssimo | ruim    |
| 102 | ótimo   | péssimo | ruim    | regular |
| 103 | ótimo   | péssimo | regular | regular |
| 104 | ótimo   | péssimo | bom     | regular |
| 105 | ótimo   | péssimo | ótimo   | bom     |
| 106 | ótimo   | ruim    | péssimo | regular |
| 107 | ótimo   | ruim    | ruim    | regular |
| 108 | ótimo   | ruim    | regular | regular |
| 109 | ótimo   | ruim    | bom     | bom     |
| 110 | ótimo   | ruim    | ótimo   | bom     |

|     |       |         |         |         |
|-----|-------|---------|---------|---------|
| 111 | ótimo | regular | péssimo | regular |
| 112 | ótimo | regular | ruim    | regular |
| 113 | ótimo | regular | regular | bom     |
| 114 | ótimo | regular | bom     | bom     |
| 115 | ótimo | regular | ótimo   | ótimo   |
| 116 | ótimo | bom     | péssimo | regular |
| 117 | ótimo | bom     | ruim    | bom     |
| 118 | ótimo | bom     | regular | bom     |
| 119 | ótimo | bom     | bom     | ótimo   |
| 120 | ótimo | bom     | ótimo   | ótimo   |
| 121 | ótimo | ótimo   | péssimo | bom     |
| 122 | ótimo | ótimo   | ruim    | bom     |
| 123 | ótimo | ótimo   | regular | ótimo   |
| 124 | ótimo | ótimo   | bom     | ótimo   |
| 125 | ótimo | ótimo   | ótimo   | ótimo   |