



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL  
DO PARANÁ- CAMPUS APUCARANA



CURSO DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

DANIELA SANCHES DE ALMEIDA

**DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO CALOR ESPECÍFICO DE  
MATÉRIA MOLE (*SOFT MATTER*)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC2

APUCARANA

2012

DANIELA SANCHES DE ALMEIDA

**DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO CALOR ESPECÍFICO DE  
MATÉRIA MOLE (*SOFT MATTER*)**

Trabalho de conclusão de curso de graduação em Tecnologia em Processos Químicos apresentado ao professor responsável pela disciplina TCC2, à banca examinadora e ao professor orientador, como requisito parcial para a obtenção do grau acadêmico de Tecnólogo em Processos Químicos

Orientador: Prof. Dr. Manoel Messias Alvino de Jesus

APUCARANA

2012



Ministério da Educação

**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**

*Câmpus Apucarana*

---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**Determinação experimental do calor específico de matéria mole (*Soft Matter*)**

por

**Daniela Sanches de Almeida**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 15 horas do dia **18 de outubro de 2012** como requisito parcial para obtenção do título de TECNÓLOGO EM PROCESSOS QUÍMICOS, Programa de Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores: Dr. Manoel Messias Alvino de Jesus (orientador), Dra. Francielle Sato e Dr. Marcelo Ferreira da Silva. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado desde que atendidas as recomendações mencionadas.



*“A ciência sem a religião é coxa; a religião sem a ciência é cega.”*

*Albert Einstein*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, em primeiro lugar, por estar me iluminando nessa estrada acadêmica, que só está no começo.

À minha família, em especial: vô, vó, Isa e Tia Lú. Agradeço profundamente pela calma, amor e broncas quando mais precisei. Mãe, essa conquista minha é meu presente pra você e espero que ele possa ser visto de onde estiver.

Meu orientador, Dr. Manoel Messias Alvino de Jesus, pela amizade, paciência e pelos conhecimentos transmitidos.

Meus colegas de sala, laboratório e amigos que muitas vezes me encorajaram a não desistir, mesmo perante todas as dificuldades que vinham surgindo ao longo dos anos de convivência.

Obrigado a todos os professores, que de certa forma, fizeram parte da minha vida. Em especial, Dr. Fernando Silva Alves, por ter me guiado no início do curso e me fez gostar tanto do que faço.

Enfim, obrigado a todos os contribuintes para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Desde suas bases filosóficas, a física, a biologia e a química buscam o entendimento da origem dos fenômenos da natureza bem como a compreensão das propriedades intrínsecas da matéria. A partir do século XIX, a investigação purista, deu lugar ao estudo aplicado culminando com o desenvolvimento de produtos e processos tecnológicos de benefícios socioeconômicos imediatos, bem como o surgimento de diversas áreas da engenharia, tais como engenharia elétrica e engenharia química. Portanto, compreender o comportamento das propriedades físicas da matéria implica no domínio de conhecimento que agrega valor cultural e socioeconômico à pesquisa acadêmica. O presente trabalho consiste no desenvolvimento, implantação e avaliação de um dispositivo termoelétrico de controle de temperatura voltado para a determinação de uma propriedade intrínseca da matéria mole, tendo por base o domínio do conhecimento das propriedades físicas da matéria, em especial, do calor específico. Nesse sentido, é proposto a construção e a caracterização de um calorímetro alimentado térmicamente bem como a determinação do calor específico de alguns elementos materiais, tais como: água, glicerina e óleo de soja. Os resultados encontrados estão voltados para o desenvolvimento de um dispositivo de caracterização térmica da matéria mole bem como o desenvolvimento de um dispositivo de controle baseado nas propriedades térmicas da matéria. Ainda pode ser encontrada uma outra aplicação para a técnica, através do desenvolvimento de um reator fotoativador.

Palavras-chave: calor específico, propriedades térmicas da matéria, matéria mole.

## **ABSTRACT**

Since its philosophical underpinnings, physics, chemistry and biology seek to understand the origin of the phenomena of nature and an understanding of the intrinsic properties of matter. From the XIX century, research purist, gave rise to the applied study culminating in the development of products and technological processes of immediate socioeconomic benefits, as well as the emergence of various engineering fields such as electrical engineering, and chemical engineering. Therefore, understanding the behavior of the physical properties of matter implies the field of knowledge that adds value to the cultural and socioeconomic academic research. It is proposed to construct a thermoelectric device for temperature control toward the determination of an intrinsic property of matter mole, based on the domain's knowledge of the physical properties of matter, in particular the specific heat. Therefore, it is proposed the construction and characterization of a thermally powered calorimeter as well as the specific heat of materials elements such as: water, glycerin and soybean oil. The expected results are aimed at developing a device for thermal characterization of soft matter as well as the development of a control device based on the thermal properties of the material. Even in this work may be found another application for the technique by developing a reactor curing unit.

Keywords: specific heat, thermal properties of matter, soft matter.



## SUMÁRIO

<b>1- INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2- OBJETIVOS .....</b>	<b>8</b>
2.1- OBJETIVO GERAL.....	8
2.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
<b>3- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>9</b>
3.1- A água.....	13
3.2- Reator Fotoativador para Tratamento de Efluentes Têxteis .....	14
<b>4- MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
4.1- MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DE CALOR ESPECÍFICO .....	16
4.1.1- Materiais .....	16
4.1.2- Metodologia .....	17
<b>4.2- OUTRA APLICAÇÃO DA TÉCNICA: DESENVOLVIMENTO DE UM REATOR FOTOATIVADOR.....</b>	<b>19</b>
4.2.1- MATERIAIS .....	19
4.2.1- METODOLOGIA .....	19
<b>5- RESULTADOS .....</b>	<b>22</b>
5.1 DETERMINAÇÃO DO CALOR ESPECÍFICO.....	22
5.2- EFICIÊNCIA DO REATOR FOTOATIVADOR.....	26
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>30</b>
<b>7- BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>31</b>

## 1- INTRODUÇÃO

Sob o ponto de vista físico-químico, define-se como matéria, tudo aquilo que possui massa e ocupa lugar no espaço (NOGUEIRA *et al.*, 2010). A melhor maneira de adquirir um conceito de matéria é por meio de estudos de suas propriedades, que são usadas para desenvolvê-la. As propriedades físico-químicas, intrínsecas tais como: calor específico, condutividade térmica, densidade, resistividade elétrica, permissividade elétrica, índice de refração, etc., dos meios materiais são fortemente afetadas pela aplicação de parâmetros físicos externos controláveis, tais como temperatura, campo elétrico, pressão hidrostática ou hidrodinâmica, radiação eletromagnética incidente e deformação mecânica (CRUZ *et al.*, 2010).

Caracterizar um meio material em função de um desses fatores externos, implica em conhecer os valores de uma dada propriedade física dentro de uma condição pré-estabelecida. Dessa forma, é possível prever o valor numérico de um parâmetro físico externo conhecido, se o valor da propriedade intrínseca puder ser determinado (SANCHES *et al.*, 2010).

Nesse contexto, a caracterização térmica ou termodinâmica desses materiais permite o uso de suas propriedades térmicas intrínsecas em sistemas de automação e controle, conforme relatado em JESUS (2009). Assim, torna-se possível o desenvolvimento de sistemas de controle de temperatura, pressão, deformação mecânica e campo elétrico aplicado a uma máquina ou a um processo.

Não obstante, criam-se mecanismos de qualificação e certificação de produtos industriais ou domésticos, de natureza tecnológica estratégica, que agregam altos valores socioeconômicos à pesquisa acadêmica.

## 2- OBJETIVOS

### 2.1- OBJETIVO GERAL

Com base no pressuposto pelo regulamento de trabalho de conclusão de curso para os cursos de graduação da UTFPR, o objetivo geral desse trabalho é desenvolver um método para determinação de calor específico.

### 2.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A proposta aqui descrita visa especificamente:

- a) O estudo de uma propriedade térmica intrínseca da matéria: o calor específico;
- b) O desenvolvimento de uma técnica funcional na determinação do calor específico da matéria mole;
- c) A determinação do calor específico de um conjunto de materiais que compõe o subgrupo da matéria mole no contexto da física da matéria condensada;
- d) A utilização das propriedades térmicas da matéria mole, no desenvolvimento de sensores e sistemas de controle termoeletrônico de uso industrial.

### 3- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A termologia é a parte da física que estuda os fenômenos térmicos da natureza ( HALLIDAY e RESNICK, 2005), dentre os quais, as alterações estruturais que um corpo sofre, em função do aumento da temperatura. Pode ser dividida, basicamente, em três partes:

1. Termometria
2. Calorimetria
3. Termodinâmica

Como o próprio nome sugere, a termometria pode ser definida como o estudo das medidas de temperatura de um dado meio físico. Nesse contexto, torna-se importante a definição de temperatura. Existem inúmeras delas, no entanto a definição proposta pela mecânica estatística, no estudo da teoria cinética dos gases é aquela que mais se aproxima do universo macroscópico.

Assim, de acordo com a teoria cinética, pode-se definir a temperatura como a grandeza física associada ao grau de agitação térmica das moléculas que constituem um dado meio físico ( HALLIDAY e RESNICK, 2005). A temperatura mensura a energia cinética média por grau de liberdade de cada partícula do sistema uma vez consideradas todas as partículas de um sistema em equilíbrio térmico em um certo instante.

Como se observa, pela definição de temperatura, é necessário a presença de um meio físico material para poder defini-la, pois a mesma está relacionada a energia cinética das partículas que constituem um meio físico qualquer.

A variação da temperatura de um corpo material, tem como consequências alterações fortemente perceptíveis na estrutura da matéria, das quais destaca-se: a variação das dimensões espaciais do corpo; alterações nas propriedades elétricas, alterações nas propriedades magnéticas e alterações nas propriedades ópticas.

A termodinâmica, por sua vez, encarrega-se de estudar os fenômenos associados à conversão da energia térmica em trabalho mecânico, sendo ela regida por um conjunto de leis conhecidas como “Leis da Termodinâmica” ( HALLIDAY e RESNICK, 2005).

No entanto, o trabalho proposto, está substancialmente embasado na calorimetria, parte da física que se ocupa em estudar os processos de transferência de energia térmica de um corpo para outro ( HALLIDAY e RESNICK, 2005).

A base da calorimetria é a concepção de calor. O calor, pode ser definido, como a energia térmica que flui espontaneamente de um corpo mais quente para um corpo mais frio. A concepção de “fluir” ( HALLIDAY e RESNICK, 2005), está embasada na origem histórica do estudo do calor, pois acreditava-se que o calor era uma espécie de fluido invisível que se transferia de um corpo para outro. Assumindo o calor como uma forma de energia, que flui de um corpo material para outro corpo material, torna-se necessário compreender o mecanismo de transferência de um corpo para outro.

Foi comprovado experimentalmente que a quantidade de calor que um corpo libera ou absorve, apresenta basicamente tres dependências ( HALLIDAY e RESNICK, 2005):

- 1- A massa do corpo: quanto maior a massa de um corpo, mais energia ele poderá liberar ou absorver, de maneira que o quantidade de calor liberada ou absorvida por um corpo é diretamente proporcional à sua massa:

$$Q \propto m$$

- 2- A variação de temperatura a qual o corpo foi submetido: quanto maior a variação de temperatura de um corpo, mais energia ele poderá liberar ou absorver, de maneira que a quantidade de calor liberada ou absorvida por um corpo é diretamente proporcional a essa variação:

$$Q \propto \Delta T$$

- 3- A natureza da matéria: a dependência com a natureza da matéria fica explícita por meio de uma propriedade física intrínseca da matéria, conhecida como calor específico.

O calor específico pode ser fenomenologicamente compreendido como uma inércia térmica, de maneira que, quanto maior o calor específico de um corpo, mais lentamente ele absorverá ou liberará energia de outro corpo.

Uma definição simples pode ser dada assim: o calor específico é a quantidade de calor que deve ser transferida a 1g de uma substância para que a sua temperatura seja elevada em 1°C. Conforme se sabe, essa quantidade de calor varia de substância para substância e, então, o calor específico é um parâmetro que caracteriza uma dada substância (ALBUQUERQUE, *et al.*, 1980).

Dessa forma, pode-se apresentar a equação fundamental da calorimetria ( HALLIDAY e RESNICK, 2005), que expõe matematicamente essas dependências:

$$Q = mc\Delta T \quad (3.1)$$

Em que:

$Q \rightarrow$  Quantidade de calor fornecida (ou retirada do sistema) – cal

$m \rightarrow$  Massa do material – g

$c \rightarrow$  Calor específico do material – cal / g°C

$\Delta T \rightarrow$  Variação da temperatura – °C

A determinação do calor específico de gases, líquidos e sólidos pode ser obtida por diferentes técnicas experimentais oriundas das mais diversas áreas da física (VUOLO e FURUKAWA, 1995).

Experimentos associados a medidas térmicas devem ser realizados em ambientes específicos, nos quais não é permitida a troca de calor entre o corpo analisado e o meio externo. Um desses ambientes é proporcionado por um instrumento conhecido como calorímetro.

Além disso, deve-se considerar o princípio de conservação da energia, que pressupõe que a energia não pode ser criada ou destruída; no entanto pode ser transferida ou convertida de uma forma para outra. Sendo assim, deve-se levar em consideração que a energia térmica é conservada ( HALLIDAY e RESNICK, 2005):

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = 0 \quad (3.2)$$

Não obstante, na previsão teórica, deve ser levado em consideração a capacidade térmica do calorímetro. Esta foi encontrada, também experimentalmente, com base na equação de conservação de energia térmica:

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0 \quad (3.3)$$

Diversos trabalhos têm sido realizados com o objetivo de construir experimentos simples com material de baixo custo. A dificuldade encontrada na construção de experimentos com material de baixo custo está ligada à busca de resultados precisos. Se alguém quer ensinar boas técnicas de medida e elege a precisão como seu principal objetivo, a construção de aparatos experimentais de baixo custo só se justifica se não inviabilizar o alcance desse objetivo. Essa é uma razão relevante para aprimorar o conjunto de problemas em física experimental resolvidos com técnicas desse tipo, em particular no estudo da termodinâmica, de sérias dificuldades didáticas e experimentais (WELTNER e MIRANDA,1998).

Algumas técnicas vêm sendo desenvolvidas para determinação dessa propriedade física. Serão citados, então, três técnicas que despertaram um grande interesse.

Em um experimento, é utilizado um calorímetro (um recipiente de paredes quase adiabáticas) contendo água numa temperatura conhecida, e neste sistema é introduzido, numa dada temperatura, um corpo feito da substância cujo calor específico se deseja medir. Após a medição da temperatura de equilíbrio do sistema, um balanço nas transferências de calor possibilita determinar o calor específico da substância do corpo imerso. Este experimento é descrito em vários livros que tratam de termodinâmica básica (VUOLO e FURUKAWA, 1995).

Uma segunda técnica de medição do calor específico de um corpo não usa calorímetro e parte do pressuposto de que o sistema vai perder calor continuamente para o meio ambiente. Para usar esta técnica é necessário conhecer “como” o sistema perde calor para o meio ambiente antes e após a imersão do corpo investigado, o que é possível através da aplicação da “Lei de Resfriamento (ou esfriamento) de Newton”. A idéia básica é utilizar um recipiente com água, numa dada temperatura e, na água, inserir o corpo cuja temperatura tenha sido conhecida. A partir deste instante deve-se medir, em intervalos regulares de tempo, a temperatura do sistema (PANAYOTOVA, 1987).

A terceira técnica diz que há uma forma de se basear na construção de curvas de resfriamento que descrevem a perda de calor do sistema para a sua vizinhança. Com essas curvas pode-se estimar com boa precisão a temperatura inicial efetiva do sistema ao

entrar em contato com o sólido, e conseqüentemente, o calor específico do material (MATTOS, e GASPAR, 2003).

É nesse contexto, embasado pelas teorias descritas, que se propõe a execução desse projeto.

### **3.1- A água**

A água cobre mais de 70% da superfície terrestre e é vital para toda a vida no planeta. É a substância mais abundante da natureza, ocorrendo nos rios, lagos, oceanos, mares e nas calotas polares. Dentre os diversos reservatórios, mais de 99 % correspondem aos oceanos, às geleiras e à umidade dos solos e do ar (IPARDES, 2001).

Apenas cerca de 1% do total de água do planeta é de água doce na forma líquida, incluindo-se as águas dos rios, dos lagos e as subterrâneas. Estima-se que apenas 0,02 % deste total corresponda à disponibilidade efetiva de água doce com a qual pode a humanidade contar, em termos médios e globais, para sustentar-se e atender às necessidades ambientais das outras formas de vida, das quais não pode prescindir. Dos 1% da água doce líquida disponível no planeta, 10% esta localizada em território brasileiro (BRESSAN e MARTINI, 2005).

A água é tão importante, que os gregos antigos consideravam-na como sendo um dos elementos fundamentais da matéria. Aristóteles considerava a água como um dos quatro elementos fundamentais. Por mais de 2000 anos ainda pensou-se que a água era um elemento; somente no século XVIII experimentos evidenciaram que a água era um composto, formado por hidrogênio e oxigênio (IPARDES, 2001).

O calor específico é definido pela quantidade de calor necessária para elevar a temperatura 1°C de 1g de uma determinada substância, e a unidade de medida utilizada é a caloria. A capacidade térmica da água é bem elevada (1 cal/°C), quando comparada com a maioria das substâncias conhecidas (< 1 cal/°C). Em outras palavras, a água é capaz de adquirir ou perder muito mais calor que outras substâncias comuns, quando submetida à mesma temperatura (LALY e PARSONS, 1993).

Esta propriedade da água é sempre relacionada com a presença das pontes de hidrogênio. A energia térmica, considerada como medida de movimentação molecular, é utilizada para quebrar as ligações intermoleculares, permitindo que as moléculas se movam mais rapidamente, fato que resulta mudança de estado físico das substâncias.



Porque o calor específico da água é muito grande e considerando que a maior parte da superfície do globo é coberta por água, pode-se concluir que a energia de origem solar causa, apenas, pequenas alterações na temperatura do planeta. Assim, os oceanos controlam o aquecimento ou o arrefecimento do planeta e proporcionam todas as condições fundamentais para tornar possível a vida na Terra. O calor é armazenado pelos oceanos durante o verão e é libertado de volta para a atmosfera no inverno (LALY e PARSONS,1993).

### **3.2- Reator Fotoativador para Tratamento de Efluentes Têxteis**

A contaminação do meio ambiente nas últimas décadas tem sido apontada como um dos maiores problemas da sociedade (CARDOS, 2012). No entanto, o problema começou a ser debatido, enquanto vital para a existência da humanidade à partir de 1972, quando foi realizada a conferência de Estocolmo, na Suécia. As discussões foram fortalecidas durante a “ECO 92”, que ocorreu em 1992 na cidade do Rio de Janeiro, e consolidadas recentemente, durante o “RIO+20”, realizada também na cidade do Rio de Janeiro (CARDOS, 2012). Em função dessa consciência coletiva de ordem mundial, governos e sociedade de todo o globo têm pressionado as empresas para que assumam uma nova postura perante as questões ambientais.

A atividade têxtil, inclusive aquela proveniente de produção artesanal, possui um alto potencial poluidor associado ao grande volume de efluentes descartados, que por sua vez, possuem uma variedade de compostos coloridos resultantes da presença de corantes que não se fixam nas fibras durante os processos de acabamento (RIBEIRO, 2010).

Os tratamentos convencionais de efluentes têxteis baseados em métodos físico-químicos seguidos de processos biológicos têm se mostrado insatisfatórios para a remoção de cor desses efluentes (RIBEIRO, 2010).

Neste contexto, estudos voltados para o desenvolvimento de diversas formas de tratamento de efluentes têm levado ao desenvolvimento de novas tecnologias visando à busca por um método adequado que leve em consideração, custos, tempo e eficiência.

Estudos realizados sobre fotodegradação catalítica têm ganhado destaque, devido à capacidade de descolorir efluentes e degradar compostos recalcitrantes. Esse tipo de tratamento exige a construção de reatores de fotodegradação eficientes e economicamente viável (RIBEIRO, 2010). Dessa forma, houve o desenvolvimento, a construção e a

caracterização de uma câmara fotorreativa com emissão UV, visando o tratamento de efluentes têxteis para a degradação fotocatalítica das partículas de corante presente no mesmo.

## **4- MATERIAIS E MÉTODOS**

Nessa seção, são apresentados os materiais e métodos que foram utilizados no desenvolvimento do trabalho proposto.

### **4.1- MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DE CALOR ESPECÍFICO**

Para a determinação do calor específico a partir do desenvolvimento de um sensor, foram utilizados os seguintes materiais e seguidas as metodologias abaixo.

#### 4.1.1- Materiais

- Resistores;
- Multímetros;
- Calorímetros;
- Fonte de tensão de 57Watts;
- Água destilada;
- Balança analítica;
- Soldador;
- Estanho;
- Alicates de corte;
- Alicates universais;
- Termômetro digital;
- Cola para PVC;
- Ferramentas elétricas e mecânicas;

- Óleo de soja;
- Glicerina.

#### 4.1.2- Metodologia

A equação fundamental da calorimetria foi utilizada para determinação do calor específico da água.

A quantidade de calor fornecida ao sistema foi obtida por meio do Efeito Joule, onde a energia elétrica aplicada a um elemento resistivo é convertida em energia térmica. Foram utilizados três resistores de  $10\Omega$  associados em série, alimentados por uma fonte de tensão de 19 V. A potência fornecida ao sistema, pode ser obtida por meio da equação abaixo.

$$P = \frac{V^2}{R}$$

*Em que:*

$P \rightarrow$  potência;

$V \rightarrow$  tensão;

$R \rightarrow$  Resistência elétrica.

Assim, tem-se  $P = \frac{19^2}{30} = 12,03 \text{ W}$ . A Figura 1, ilustra a fonte de energia térmica.

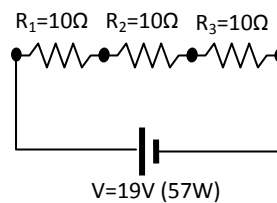


Figura 1: Representação do circuito elétrico utilizado para fornecer calor ao sistema.

A tampa de uma garrafa térmica foi perfurada e foram conectados bornes de contato elétrico e um sensor de temperatura, vedados por silicone, conforme ilustrado abaixo na Figura 2.



Figura 2: Parte superior do calorímetro construído.

No interior do sistema, foi adicionada uma massa de 200g de água destilada e uma resistência de  $30 \Omega$ , que pode ser observada na Figura 3.

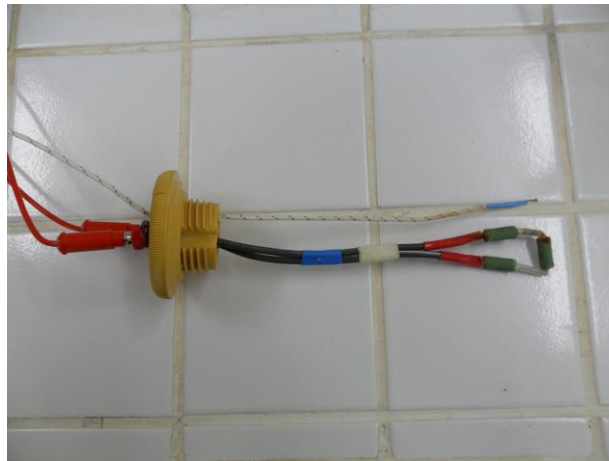


Figura 3: Elemento resistivo de aquecimento.

As leituras das temperaturas foram realizadas em intervalos de tempo de 30 s, utilizando-se um termômetro digital contido em um multímetro (Instrutherm MD-380), com precisão de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

A mesma metodologia foi realizada para mais dois fluidos (glicerina e óleo de soja), mas devido à problemas técnicos os resultados não puderam ser expostos no presente trabalho.

## 4.2- OUTRA APLICAÇÃO DA TÉCNICA: DESENVOLVIMENTO DE UM REATOR FOTOATIVADOR

### 4.2.1- Materiais

- Caixa térmica com capacidade para 32L;
- 4 lâmpadas tubular fluorescentes de 20watts cada uma, do tipo “luz negra“ com emissão UV;
- Reatores para lâmpadas fluorescentes;
- Fonte elétrica;
- Foto receptor;
- 4 tubos de vidro borossilicato de 0.006m de diâmetro interno com comprimento suficiente para atravessar a caixa de um lado a outro;
- 4 resistências elétricas de níquel-cromo com aproximadamente 14 Ohms de resistência cada uma.

### 4.2.1- Metodologia

**Preparação da caixa** – Foram determinados os centros geométricos da caixa, traçando linhas nas diagonais de suas laterais menores.

Com os centros determinados nos lados menores puderam ser furados pontos nos centros geométricos, para colocar uma fonte laser e um foto receptor.

Em extremidades escolhidas foram feitos furos guias para a implantação de lâmpadas de emissão ultravioleta. Implantou-se na furadeira uma serra copo para produzir o furo no tamanho necessário para inserção das lâmpadas. Usando as diagonais marcadas foram feitos furos intercalados entre os furos das lâmpadas para instalar varetas de aquecimento.

Implantou-se as lâmpadas de emissão ultravioleta na caixa e os tubos de vidro, e posteriormente, vedadas em suas cavidades utilizando-se uma cola em forma de adesivo vedante a base de borracha de silicone autovulcanizável resistente a altas temperaturas.

Imagens do caixa-reator podem ser observadas nas Figuras 4 e 5.



Figura 4: Amostra de efluente de lavanderia no reator.



Figura 5: Caixa térmica já com os sistemas elétricos instalados (reator), com a presença de efluentes a serem tratados.

O fotorreator foi desenvolvido com base em uma camera de polimerização construída durante o trabalho de mestrado de (JESUS, 2005) com a representação ilustrada na Figura 6.

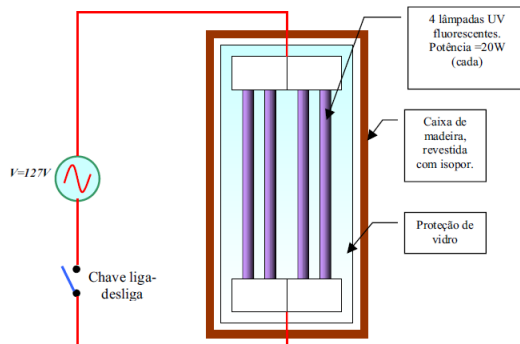


Figura 6: Reator de fotodegradação- Figura extraída do trabalho (JESUS, 2005).

A diferença entre a proposta de (JESUS, 2005) e de (RIBEIRO, 2010), consiste no fato de que na proposta de (RIBEIRO, 2010) as fontes de UV são colocadas fora do efluente, ao passo que no trabalho proposto por (JESUS, 2005), as fontes estão imersas no efluente, obrendo assim maior potencial de absorção de radiação UV, conseqüentemente um provável aumento de rendimento no processo de fotodegradação.

Na dissertação de (JESUS, 2005) é relatado um problema associado a um aquecimento interno, provocado pelas próprias lâmpadas. Essa variação de temperatura é determinada, em meio líquido e no ar, como será visto na seção seguinte.

**Instalações elétricas** – Instalou se os reatores nas lâmpadas fornecendo energia para que as mesmas fossem ligadas. Em seguida as resistencias foram introduzidas dentro do tubo de vidro e ligadas primeiramente em paralelo uma a outra formando dois pares e posteriormente ligadas em série um par ao outro. Estas foram ligadas a uma fonte a qual forneceu as resistências uma tensão de 19 V para a realização do aquecimento do fotorreator, seguindo um procedimento de Joule modificado, descrito no trabalho (SANCHES, 2010).

O procedimento de Joule trata-se da conversão da energia elétrica em energia térmica (SANCHES, 2010), permitindo dessa forma o controle da temperatura de um dado meio físico com base na utilização de resistores elétricos ligados a uma fonte de tensão. Tal procedimento foi inserido no experimento com a finalidade de conhecer e a temperatura do meio físico.

**Medidas**– realizaram-se medidas de temperatura da câmara vazia, com as lâmpadas ligadas e com a caixa cheia de água com lâmpadas e resistências ligadas.



## 5- RESULTADOS

### 5.1 DETERMINAÇÃO DO CALOR ESPECÍFICO

A taxa de energia térmica foi de 12,03 J/s. A taxa de variação da temperatura da água:

$\frac{\Delta T}{\Delta t} = 0,01439 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{s}$ . A Figura 7 ilustra o resultado experimental.

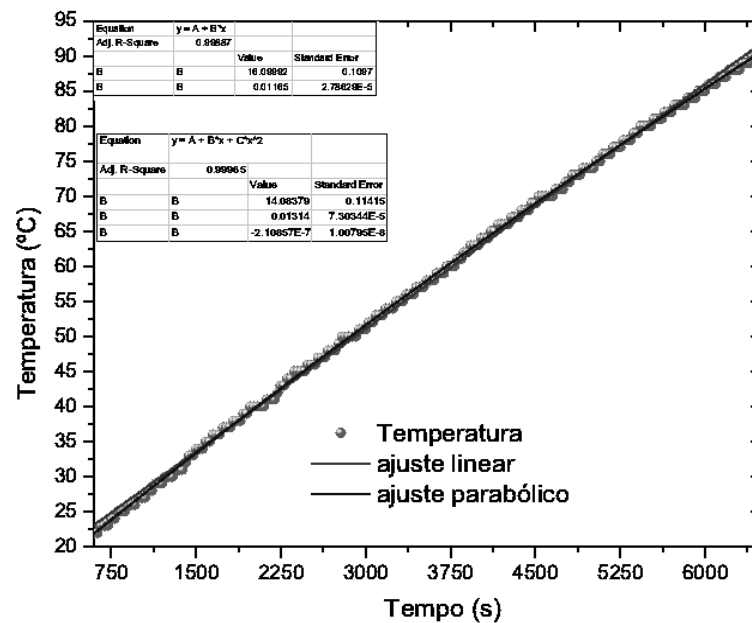


Figura 7: Aumento da temperatura da água com o decorrer do tempo.

Um ajuste parabólico representa, melhor, o comportamento da variação da temperatura em função do tempo, assim:

$$T(t) = a + bt + ct^2 \quad (6.1)$$

com:  $a = 14,08^\circ C$ ,  $b = 0,013^\circ C/s$ ,  $c = -2,1 \times 10^{-7}^\circ C/s^2$ . Assumindo  $c \ll t$  e  $c \ll T$ , o termo quadrático pode ser desconsiderado. A taxa de variação da temperatura será  $0,013^\circ C/s$ , ~93% da prevista teoricamente. A capacidade térmica do calorímetro foi encontrada experimentalmente, com base na equação de conservação de energia térmica:

Foram adicionados 200g de água no calorímetro. No equilíbrio térmico,  $T_1 = 6,5^\circ C$ . Logo após, adicionou-se outras 200g de água, com  $T_2 = 24^\circ C$ . Após o equilíbrio térmico,  $T_f = 14,5^\circ C$ . Assim, usando a seguinte equação e adotando  $c_{H_2O} = 1 \text{ cal/g}^\circ C$ , tem-se:

$$m_1 c_{H_2O} \Delta T + m_2 c_{H_2O} \Delta T + C_{\text{calorímetro}} \Delta T = 0$$

Logo  $C_{\text{calorímetro}} = 37,5 \text{ cal} / ^\circ C$  e a quantidade de calor absorvida pela amostra, é a diferença entre a energia total fornecida ao sistema e a energia absorvida pelo calorímetro:

$$Q_{\text{Total}} - C_{\text{calorímetro}} \Delta T = mc \Delta T \quad (6.3)$$

Foi possível encontrar o calor específico da água. A Figura 8 ilustra a quantidade de calor por unidade de massa em função da temperatura.

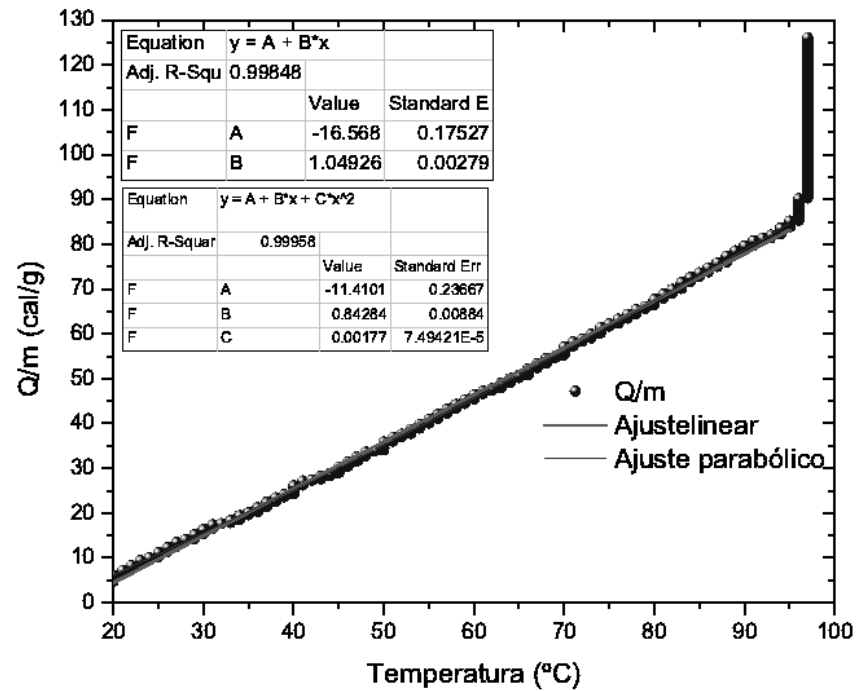


Figura 8: Quantidade de calor por unidade de massa em função da temperatura.

Um ajuste linear descreve a relação  $Q/m \times T$ . e o calor específico equivale ao coeficiente angular da reta,  $1,04 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ , e erro aproximado de 4%. O resultado encontrado é muito próximo com os da literatura, indicando a eficiência do sistema desenvolvido.

Quando a temperatura de transição crítica é atingida, toda energia fornecida ao sistema é utilizada para a reconfiguração do arranjo atômico molecular do meio material, nesse caso, o sistema recebe energia porem sua temperatura é mantida constante.

A Figura 9, extraída de (JESUS, 2009) ilustra o comportamento da temperatura de uma substância pura simples, em função da quantidade de energia fornecida ao meio:

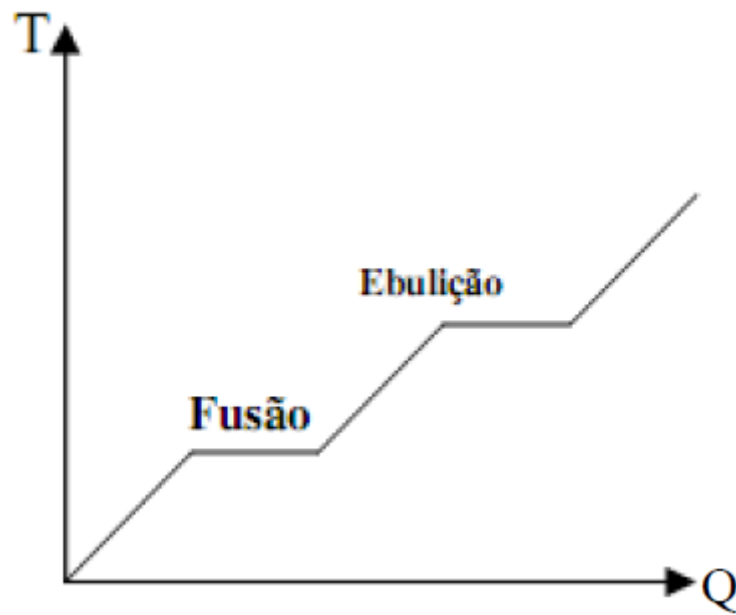


Figura 9: Diagrama de fases de uma substância simples.

Desta forma, foram feitas medidas para a água e gerado o gráfico da Figura 10, o qual mostra a mudança do estado líquido para o gasoso na água.

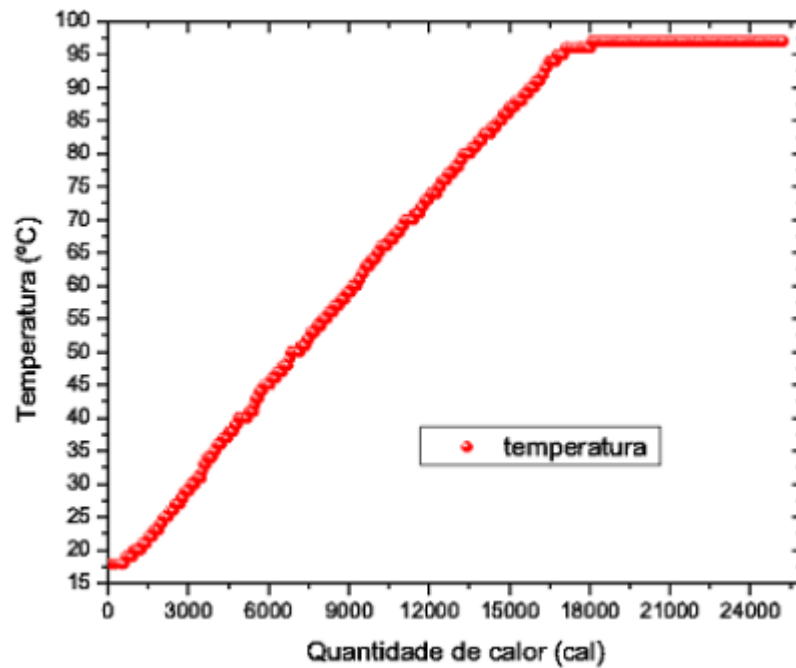


Figura 10: Diagrama de fases da água obtido experimentalmente.

O valor de temperatura limite a partir do qual a água recebeu energia sem que resultasse em um aumento de temperatura é, portanto, a temperatura de transição de fases da água.

O trabalho mostra, que na cidade de Apucarana-PR, localizada a aproximadamente 940 m acima do nível do mar, a temperatura de ebulição da água é de 97° C, ou seja, 3° C inferior a temperatura de transição esperada ao nível do mar.

## **5.2- EFICIÊNCIA DO REATOR FOTOATIVADOR**

Em um primeiro momento, foram inseridos no interior do reator um volume aproximado de 30 litros de água, com a finalidade de verificar a taxa de absorção energia térmica pela água.

Neste caso, lâmpadas e resistências elétricas permaneceram ligadas. Ou seja, foram introduzidas duas fontes de energia: uma termorresistiva (proveniente dos resistores) e uma eletromagnética (proveniente da Radiação UV).

A Figura 11 ilustra o gráfico de absorção de energia pela água, com o decorrer do tempo (temperatura em função do tempo).

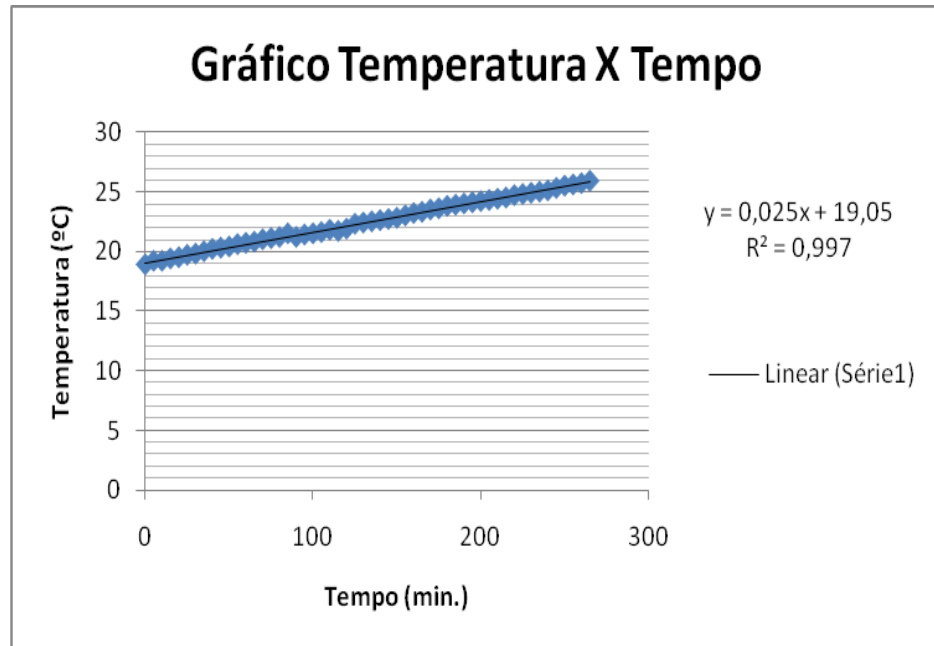


Figura 11: Absorção de energia pela água, com o decorrer do tempo.

A Figura 11 deixa óbvio o fato de que, para o volume de água utilizado, a temperatura sofre um incremento de  $0,025^\circ\text{C}$  por minuto, deixando clara a previsibilidade da temperatura com o decorrer do tempo.

A importância de determinar essa temperatura está associada ao fato de que os processos de reação fotoquímica, tal qual a maior parte dos processos de cinética química, tem sua dinâmica fortemente afetado pela temperatura, de forma que um bom reator, não deve interferir drasticamente na temperatura do meio físico exposto.

Observou-se que a temperatura variou de  $18,9^\circ\text{C}$  até  $25,9^\circ\text{C}$ , ou seja,  $7^\circ\text{C}$  em pouco mais de 4 horas.

Pode-se dizer que em processos de fotodegradação relativamente rápidos, a temperatura não sofreria incrementos significativos.

Por outro lado, foi medida também, a temperatura no interior do reator vazio, ou seja, somente com ar atmosférico.

A Figura 12 ilustra a variação da temperatura com o decorrer do tempo no interior do reator, preenchido com ar.

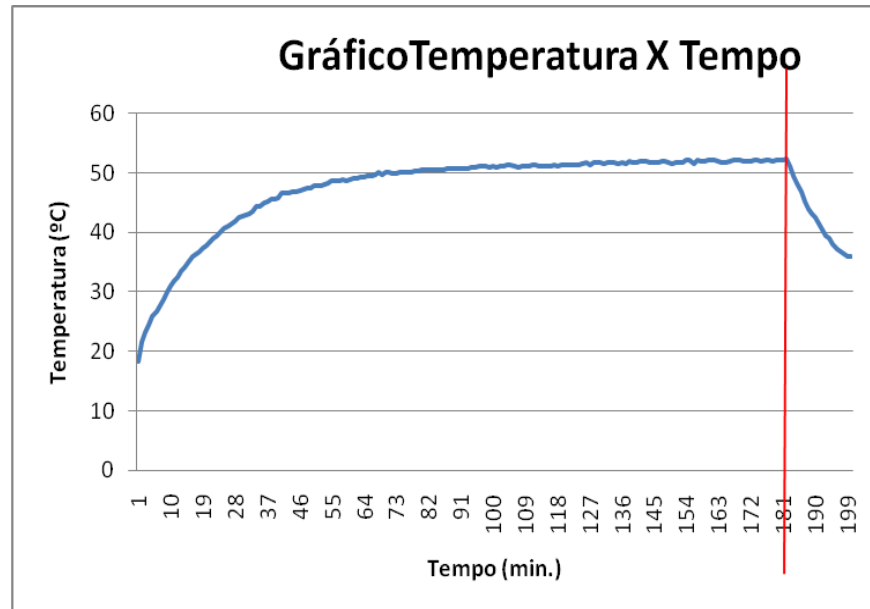


Figura 12: Absorção de energia pela água, com o decorrer do tempo.

Observa-se que pouco depois de uma hora, a temperatura no interior do reator ultrapassa 50 °C. O reator desenvolvido atua também como um forno de aquecimento, de tal forma que a temperatura interna varia de acordo com o meio físico.

Nesse caso, uma sugestão é seu uso como câmara de desidratação de alimentos. Duas funções são desempenhadas pelo reator: a de desidratação, por meio do aumento da temperatura, e a esterilização dos alimentos desidratados por meio da ação da radiação UV, que tem forte ação germicida.

A partir dos resultados obtidos, e após sua análise, fica claro que é possível a construção de um sistema fotorreativo de aplicação direta no tratamento de efluentes provenientes da indústria têxtil.

A importância dessa observação decorre do fato de que não existem no mercado comercial, elementos de ação fotodegradante disponível, em contraste com a

funcionalidade da técnica, que tem se mostrado altamente aplicável no tratamento desses efluentes.

O aumento da temperatura observado durante o processo de caracterização implica simplesmente no fato de que boa parte da radiação UV é absorvida pelo meio. A energia eletromagnética absorvida pelo meio é convertida em energia térmica.

Na presença de partículas fotorreativas, essa energia seria utilizada para que elétrons de transição absorvessem energia podendo mudar de banda, resultando em um processo de formação de íons e consequente foto-oxidação.

De outra forma, o aquecimento observado no ar, com o reator vazio, conduz a sua aplicabilidade enquanto elemento de desidratação de alimentos, com a vantagem de atuar também, como elemento germicida, graças à ação da radiação UV.



## 6. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que é possível utilizar uma garrafa térmica como calorímetro com excelente qualidade. O calor específico da água, encontrado, foi de  $1,04\text{cal/g}^\circ\text{C}$  e está em ótima concordância com o valor esperado, apresentando um erro da ordem de 4%. A taxa de aquecimento da água é constante com o tempo, entre  $20^\circ\text{C}$  e  $90^\circ\text{C}$ , de forma que é possível determinar a temperatura do meio em qualquer instante, sem o uso de termômetros. O aumento linear da temperatura torna possível o controle da taxa de aquecimento de uma amostra imersa no meio, aplicando valores diferentes de tensão elétrica nos resistores de aquecimento.

Desta forma, o sistema desenvolvido se mostra viável para uma futura aprimoração desse método de determinação de calor específico.

Os resultados experimentais obtidos comprovam a dependência da temperatura de ebulição da água com a altitude e, conseqüentemente, com pressão externa.

Conclui-se que, em uma situação doméstica, um alimento fervido, preparado em Apucarana-PR, deve levar um tempo maior para atingir seu ponto de consumo, se comparado com um alimento preparado ao nível do mar.

Conclui-se ainda que é possível a construção de um reator de ação fotodegradativa que pode ser utilizado tanto em tratamento de efluentes químicos como em processos de desidratação e esterilização de alimentos. Ou seja, é um elemento que possui no mínimo duas aplicações diretas: proteção ambiental e produção de alimentos com qualidade e valor agregado.

## 7- BIBLIOGRAFIA

NOGUEIRA, T.B., GODOI, M.S., LACZKOWSKI, I.M. , SANCHES, D.A. e de JESUS, M.M.A, Medida da Temperatura de ebulição da água na cidade de Apucarana/PR, - **IV MECA UTFPR**, Apucarana, (2010).

CRUZ, C.C, LACZKOWSKI, I.M, GODOI, M.S e de JESUS, M.M.A, Desenvolvimento de dispositivo de controle para sistemas eletrônicos e/ou eletromecânicos baseado na resposta fotodinâmica de um diodo pin, **IV MECA UTFPR**, Apucarana, (2010).

SANCHES, D.A, ALVES, F.S, de JESUS, M.M.A, LACZOWSKI, I.M e CAPARROZ, R., Desenvolvimento de um calorímetro para controle de temperatura e medidas de calos específico, **XV SICITE**, Cornélio Procópio, (2010).

JESUS, M.M.A, Caracterização eletro-óptica de uma mistura líquido cristalina, eutética, em diferentes configurações de confinamento. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Maringá (UEM), (2009).

HALLIDAY, D. e RESNICK, R., Fundamentos de Física 2, Livros Técnicos e Científicos, Ed. Rio de Janeiro, RJ, 5ª Ed. (2005).

WELTNER, K. e MIRANDA, P., O Caldeirão como Calorímetro em Classe, Rev. Bras. Ens. Fis., (1998)

VUOLO, J. H. e FURUKAWA, C. H. Calorímetro didático, Rev. Bras. Ens. Fis., (1995).

ALBUQUERQUE, W.V. et al., Manual de Laboratório de Física Ed. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, SP, 1ª Ed. (1980).

PANAYOTOVA, S. An undergraduate experiment on thermal properties. Eur. J. Phys. 8 ,(1987).

MATTOS, C. e GASPAR, A., Uma Medida de Calor Específico sem Calorímetro, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, no. 1, (2003).

LALY, C. M. e PARSONS, T. R., Biological Oceanography – An introduction. Eds. Butterworth Heinemann. University of British Columbia, Vancouver, Canadá, (1993).

BRESSAN, D.L. e MARTINI, M., Avaliação do potencial de economia de água tratada no setor residencial da região sudeste através do aproveitamento de água pluvial. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, (2005).

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. Agenda 21. **Conferencia das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Curitiba: Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e social - IPARDES, (2001).

CARDOS, P.M.M. , Diagnóstico dos resíduos sólidos de uma cadeia produtiva têxtil – Um estudo de caso, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, PPGEU/UEM, Maringá, (2012).

RIBEIRO, V.A.S., Fotodegradação de efluentes têxteis catalisada por ZnO, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, PPGEQ/UEM, Maringá, 128p, (2010).

JESUS, M.M.A. de, Caracterização Eletro-Óptica de Cristais Líquidos dispersos em Matriz Polimérica, Dissertação de mestrado, Programam de Pós-Graduação em Física, PFI / UEM, Maringá, 158 p, (2005).