

# **CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO TÉRMICA DE UM FOGÃO SOLAR TIPO CAIXA**

**Márcia Molina Cavalcanti**

**Faculdade Carlos Drummond de Andrade**

**Docente de Metodologia do Trabalho Científico**

[monografia.prof@yahoo.com.br](mailto:monografia.prof@yahoo.com.br)

**Johnson Pontes de Moura**

**Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).  
Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do  
Norte (UFRN). Professor do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental  
da Faculdade do Vale do Cricaré- UNIVC. Discente do Curso de Bacharel em  
Direito da Faculdade Carlos Drummond de Andrade**

[johnsonmoura@gmail.com](mailto:johnsonmoura@gmail.com)

**RESUMO:** O presente trabalho apresenta uma contribuição no estudo de modelagens de transferência de calor para os alimentos submetidos aos testes experimentais no forno solar proposto, onde foi avaliada a melhor modelagem para o bife de frango em estudo, comparando os resultados, considerando este alimento como um objeto semi-infinito (1º modelo proposto) e, em seguida, considerou o bife de frango como uma placa plana em regime transiente em duas condições distintas: não considerando e outro modelo considerando a contribuição do termo de geração, através do Critério de Pomerantsev. O Sol, além de fonte de vida, é a origem de todas as formas de energia que o homem vem utilizando durante sua história e pode ser a resposta para a questão do abastecimento energético no futuro, uma vez que aprendamos a aproveitar de maneira racional a luz que esta estrela constantemente derrama sobre nosso planeta. Brilhando a mais de cinco bilhões de anos, calcula-se que o Sol ainda nos privilegiará por outros seis bilhões de anos, ou seja, ele está apenas na metade de sua existência e lançará sobre a Terra, só neste ano, 4000 vezes mais energia que consumiremos. Frente a esta realidade, seria irracional não buscar, por todos os meios tecnicamente possíveis, aproveitar esta fonte de energia limpa, ecológica e gratuita. Na presente dissertação avalia-se o desempenho de um fogão solar do tipo caixa. Foi construído pelo grupo (LES) Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN um modelo de fogão solar do tipo caixa e foi testada a sua viabilidade técnica, propondo modelagens para alimentos submetidos ao assamento no forno solar o fogão tem características principais a facilidade de fabricação e montagem, o baixo custo (foi utilizada material compósito acessível às comunidades de baixa renda) e a simplicidade no mecanismo de movimentação do protótipo para incidência da luz solar direta. Foram propostas modelagens para cálculos do tempo mínimo de cozimentos de alimentos, considerando os seguintes modelos de transferência de calor no estado transiente: objeto semi-

infinito, placa plana e o modelo da esfera para estudar a temperatura necessária para o assamento de pão (considerando geometria esférica). Após avaliação dos modelos de transmissão de calor para os alimentos submetidos aos processos de assamento, foram comparados os tempos obtidos pelas modelagens com os tempos experimentais de assamento no forno solar, explicitando a modelagem que melhor retrata a acurácia dos resultados do modelo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem; Energia Solar; Transferência de Calor; Fogões Solares.

**ABSTRACT-**The present work presents a contribution in the study of modelings of transference of heat for foods submitted to the experimental tests in the considered solar oven, where the best modeling for the beefburger of chicken in study was evaluated, comparing the results, considering this food as a half-infinite (1<sup>er</sup> object considered model) and, after that, considered the chicken beef burger as a plain plate in transient regimen in two distinct conditions: not considering and another model considering the contribution of the generation term, through the Criterion of Pomerantsev. The Sun, beyond life source, is the origin of all the energy forms that the man comes using during its history and can be the reply for the question of the energy supplying in the future, a time that learns to use to advantage in rational way the light that this star constantly special tax on our planet. Shining more than the 5 billion years, it is calculated that the Sun still in them will privilege for others 6 billion years, or either, it is only in the half of its existence and will launch on the Earth, only in this year, 4000 times more energy that we will consume. Front to this reality, would be irrational not to search, by all means technical possible, to use to advantage this clean, ecological and gratuitous power plant. In this dissertation evaluate the performance of solar cooker of the type box. Laboratory of Solar Energy of the Federal University of the Great River of North - UFRN was constructed by the group (LES) a model of solar stove of the type box and was tested its viability technique, considering modeling foods submitted when baking in the solar oven, the cooker has main characteristic the easiness of manufacture and assembly, the low cost (was used material accessible composition to the low income communities) and simplicity in the mechanism of movement of the archetype for incidence of the direct solar light. They had been proposals modeling for calculations of food the minimum baking time, considering the following models of transference of heat in the transient state: object the half-infinite, plain plate and the model of the sphere to study the necessary temperature for the it bakes of bread (considering spherical geometry). After evaluate the models of transmission of heat will be foods submitted you the processes of to it bakes of, the times gotten for the modeling with the experimental times of it bakes in the solar oven had been compared, demonstrating the modeling that more good that it portraies the accuracies of the results of the model.

**KEYWORDS:** Modeling; Solar Energy; Heat Transference; Solar Stoves.

## INTRODUÇÃO

O uso de concentradores para captar a energia solar, remonta pelo menos dois séculos antes de Cristo, quando Arquimedes havia repellido um ataque romano a Siracusa. Mas somente a partir da década passada se intensificaram os estudos e o desenvolvimento de tecnologias para cozinhas solares.

A idéia de um fogão alimentado por energia solar não é novidade. Nem mesmo a utilização de parábolas para aquecer é uma descoberta: os vikings ateavam fogo às velas das embarcações inimigas utilizando um equipamento semelhante (BEYER et al., 2004).

Segundo Beyer et al (2004), os primeiros experimentos relacionados com fornos solares tipo caixa para a preparação de alimentos foram descritos por Nicholas de Saussure, há mais de 200 anos, por volta de 1770. Saussure projetou um fogão que consistia numa caixa

retangular isolada e com a parte de cima envidraçada, cuja tampa refletora, encarregava-se de concentrar a radiação para dentro da caixa. Quando essa radiação entrasse na caixa, seria absorvida pelo seu fundo pintado de preto mate. Ao sair deste, já teria um comprimento de onda infravermelho, que não permitiria que voltasse a passar pelo vidro (este é opaco aos infravermelhos). Este aparelho atinge cerca de 160 °C, conseguindo cozer ou assar qualquer alimento.

Em 1837, o astrônomo inglês John Herschel, filho do famoso astrônomo Sir William Herschel, construiu um pequeno dispositivo para seu próprio uso durante uma expedição que realizou no Cabo da Boa Esperança. Consistia também numa caixa negra que era enterrada na areia, para isolá-la termicamente, e era coberta com dupla chapa de vidro para permitir a entrada da luz solar e evitar que o calor escapasse. Herschel registrou uma temperatura de 116 °C nesse fogão, que era utilizado para cozinhar alimentos à base de carne e vegetais durante a expedição (BEYER et al., 2004).

Também C. G. Abbot, outro astrônomo nascido em 1873, usou um fogão solar ao sul do Monte Wilson, onde tinha o seu observatório, e lhe serviu durante muitos anos para preparar seus alimentos.

Como se vê, historicamente o fogão solar se apresenta como um aparelho bastante simples de se fazer e utilizar, e que trás muitos benefícios a quem o utiliza, constituindo-se em um equipamento eficaz. Todavia, é importante saber e compreender os motivos pelos quais, essa tecnologia não foi amplamente adotada por países em desenvolvimento como o Brasil, embora algumas tentativas tenham sido tomadas nesta direção. Uma das possíveis explicações seriam a de ser visto como um aparelho “feio e artesanal”, concebido por pessoas que não podem ter um fogão convencional; bem como, a sua funcionalidade que foge aos padrões sociais existentes; além da falta de incentivo mais efetivo por parte do governo.

Provavelmente uma das diretivas na concepção de um fogão solar é dar-lhe uma visão moderna, uma imagem de alternativa do futuro, de ser resistente e facilmente transportável, sem, contudo, comprometer a simplicidade de utilização e o baixo custo.

No Brasil a predominância energética é de origem hídrica o que hoje representa 92 % da capacidade nominal instalada. Somos um país praticamente monoenergético o que não é bom para o seu desenvolvimento industrial.

As bacias hídricas das regiões sul e sudeste, portanto onde se encontram os grandes centros populacionais e industriais, representadas pelos rios Paraná e São Francisco já utilizam praticamente 80 % do potencial hídrico em operação ou em construção. O que ainda resta a ser utilizado em longo prazo representa pouco mais de 17 %. Resta-nos apenas a região Amazônica cujo potencial a ser explorado com vistas à geração de energia de origem hídrica, representa 54 %. Porém se ainda nos resta este potencial o seu aproveitamento implica (como ocorreu em outras áreas), em promover impactos ambientais significativos que não devem ser negligenciados.

A formação da bacia de acumulação necessária à operação de uma usina hidrelétrica significa a inundação de florestas, aquíferos, o desaparecimento pela submersão de áreas ocupadas pela fauna, inundação de solos agricultáveis, vilas e povoados com suas tradições e culturas, deslocamentos populacionais etc. Isto significa um custo social que não será contemplado pelas vantagens que a usina possa oferecer.

Agredir a Natureza com o objetivo de gerar energia necessária ao desenvolvimento do país não parecer ser a solução lógica e viável. *"A hidrelétrica de Balbina, por exemplo, devido à emissão de metano na degradação da massa florestal inundada, produz para o efeito estufa um resultado similar ao de uma usina termelétrica de mesma capacidade". "A usina termelétrica de Piratininga, dentro de São Paulo, por exemplo, produz sozinha mais dióxido de enxofre do que toda a frota de ônibus do município"*, segundo o engenheiro Lúcio César Mesquita, diretor da Agência de Energia de Belo Horizonte.

Mas, talvez seja necessário importar fogões solares, pois não é dado ao brasileiro o direito de produzir e/ou utilizar novas tecnologias sem que antes encham os bolsos dos nossos irmãos do 1º Mundo (BEYER et al., 2004).

No início da década de 70 o calor produzido pelo homem era equivalente a 0,01 % da energia solar incidente na Terra. Alguns cientistas especulam que pode existir uma conexão causal entre a liberação de calor na Europa e a seca na África Subsaariana. Por isto muito antes que o limite térmico ao consumo mundial de energia seja atingido, é bem possível que ocorram substanciais efeitos locais ou regionais (BEYER et al., 2004).

De acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), se o fogão solar fosse usado por apenas 30% desta população, a extração de lenha para cozimento de alimentos sofreria uma redução anual de 5.370.000 m<sup>3</sup>, cifra esta nada desprezível (Souza, 2004).

Esses dados apontam para a necessidade de se realizar uma pesquisa do fogão solar como tecnologia apropriada para o cozimento de alimentos, como forma de preservação da natureza, e contribuição para amenizar o desequilíbrio ecológico pelo uso indiscriminado da lenha e do gás Butano, minimizando a emissão de gases poluentes para a atmosfera.

Desse modo é preciso incentivar estudos que viabilizem o uso do fogão solar, através da otimização do seu processo de construção e dos níveis de temperatura gerados. Além da melhoria do conforto de quem o utiliza, deve ser imprescindível uma política de combate ao desequilíbrio ecológico, que amenize a matriz energética, contribua para a fixação do homem no campo e possa dar-lhe mais uma opção de geração de renda, através do domínio da construção de fogões solares e de seu uso pela população (BEZERRA, 1986).

#### *O objetivo geral do estudo*

Realizar uma pesquisa bibliográfica acerca da construção e uso do fogão solar e seus benefícios à população, e dos fatores que viabilizam a sua utilização.

#### *Justificativa e relevância do estudo*

Desde muito tempo as comunidades rurais do Brasil e principalmente as do Nordeste sofrem com a falta de infra-estrutura básica. No Rio Grande do Norte, por exemplo, existem comunidades rurais isoladas nas quais são estudados fogões solares tipo caixa e o pessoal treinado para a construção dos fogões solares de baixo custo, para fins de geração de emprego e renda com benefício direto e indireto para o município.

A justificativa aborda sobre a necessidade e vantagens do uso do fogão de modo a fundamentar a elaboração do estudo. E este, por sua vez, justifica a necessidade de produção do fogão.

### **REFERENCIAL TEÓRICO**

Como o trabalho em desenvolvimento apresenta vertentes no campo energético, térmico, de materiais e econômicos, passa-se a descrever estudos e ações implantadas nestes campos, principalmente no que diz respeito à realidade mundial atual das energias alternativas, dos materiais e de suas inter-relações.

O uso de combustível não-renovável vindo de áreas mais populosas por parte das comunidades carentes é difícil e caro, devido ao fato de a maioria das comunidades estarem em áreas muito isoladas. O nível de radiação solar nestas regiões é muito alto, eis o porquê de

o cozimento solar se tornar uma possível solução. O uso de fogões solares implica alcançar os dois objetivos, tanto boa comida, quanto desenvolvimento, diminuindo o impacto no meio ambiente (SOUZA, 2004).

#### *Fogão solar tipo caixa de baixo custo*

Um fogão solar alternativo construído a partir de uma sucata de um fogão convencional a gás, funciona segundo os princípios do efeito estufa e da concentração. Ele é adaptado, sendo retirados os queimadores e outros acessórios que acompanham os fogareiros. Na **Figura 1** é apresentado um fogão solar tipo caixa, de baixo custo, sendo um protótipo solar de média concentração que trabalha com dois efeitos, o efeito estufa e a concentração; destinado ao uso doméstico em zonas rurais e urbanas, no período de 9:00h a 16:00h, voltado principalmente para a fabricação de pães e bolos. O forno do fogão convencional é o recinto de cozimento onde o absorvedor (panela) do fogão solar fica localizado, sendo recoberto por uma lâmina de vidro para a geração do efeito estufa e tendo seu fundo e com laterais isoladas por um compósito a base de gesso e isopor. Segmentos de espelhos facetados foram colocados nas laterais do fogão para a concentração da radiação e uma parábola refletora foi introduzida no recinto de cozimento para o aproveitamento da radiação refletida incidente no interior do forno. O fogão é móvel para permitir um melhor direcionamento do mesmo em relação ao movimento de rotação da Terra. Testes preliminares já realizados demonstraram a viabilidade de tal fogão pela obtenção de temperaturas internas, superiores a 150 °C, porém serão estudados outros parâmetros que avaliem sua competitividade com outros fogões do tipo caixa desenvolvidos em todo mundo (SOUZA, 2004).

O uso do fogão solar proposto da **Fig.1** tem grande importância também na área ambiental, pois preserva a natureza e ameniza o desequilíbrio ecológico que ocorreria pelo uso indiscriminado da lenha, além de minimizar a emissão de gases poluentes para a atmosfera. Como se pode ver, estudos que viabilizem o uso do fogão solar são imprescindíveis para uma política de fixação do homem no campo, podendo dar-lhe uma opção de geração de renda, através do domínio da construção de fogões solares, para sua futura comercialização (MOURA, 2007).



**Figura (1):** Fogão solar tipo caixa de baixo custo do Laboratório de Maquinas Hidráulicas e Energia Solar(LMHES) da UFRN.

## MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com a metodologia que será descrita a seguir, primeiramente, foram realizados levantamentos bibliográficos no que no concerne a utilização de energias renováveis, especificamente a pesquisa focou o estudo de fogões solares tipo caixa sob a supervisão do mestre Johnson Pontes de Moura, que supervisionou e colaborou com este trabalho acadêmico na construção de um fogão solar, conforme será descrito o procedimento experimental da construção e teste deste protótipo solar na metodologia do trabalho científico.

O fogão solar proposto foi construído a partir de uma sucata de fogão convencional a gás, recebendo alguns elementos para se tornar um fogão solar tipo caixa. Sua estrutura interna sofreu as seguintes modificações:

- Toda a tubulação de gás foi retirada;
- A chapa superior do forno e seu isolante térmico (lã de vidro) foram retirados para colocação de uma lâmina de vidro plano transparente de 3 mm de espessura;
- As paredes laterais, a parede traseira e o fundo do forno foram revestidos com compósito de gesso, isopor, cimento, areia e água, com a finalidade de se fazer o isolamento térmico dessas superfícies.
- Na parte interna, foi colocado um parabolóide de 180 mm de raio e 50 mm de profundidade adaptável ao espaço disponível neste local, com seu foco voltado para o fundo da panela no interior do forno. No topo do forno colocamos um tampo em vidro transparente, de 480 x 465 mm, com a finalidade de se produzir o efeito estufa no seu interior.
- Em três lados do fogão, acima da tampa de vidro que recobre o forno, foram colocadas placas de espelho plano espelhos, em estruturas móveis, nas dimensões de 0,80 X 0,50 m.

### *Experimento com o Fogão Tipo Caixa*

Otimização do equipamento de energia alternativa, considerando o tempo mínimo para cozinhar um bife de frango de 2 cm de espessura, igual a  $t = 5$  minutos com temperatura de superfície  $T_s = 155^\circ\text{C}$  (ao meio dia), se o bife estava à temperatura inicial  $T_1 = 4^\circ\text{C}$  e o seu centro deveria atingir  $T_c = 90^\circ\text{C}$  para que ficasse bem cozido. O bife tem condutividade  $K = 0,55\text{W.m}^{-1}.\text{C}^{-1}$ , densidade  $\rho = 1,006\text{g.cm}^{-3}$  e calor específico  $c_p = 3,64\text{J.g}^{-1}.\text{C}^{-1}$ . a situação descrita nos experimentos corresponde a um número de Biot tendendo a infinito, definido como  $Bi = hL/K$ ; sendo:

$h$  ( $\text{W.m}^{-2}.\text{C}^{-1}$ ): Coeficiente convectivo de transferência de calor;

$k$  ( $\text{W.m}^{-1}.\text{C}^{-1}$ ): Condutividade térmica do bife ;

$L$ (m): Metade da espessura do bife.

Com o fogão solar proposto, conseguiu-se em um dos lados do bife a temperatura  $T_p = 155^\circ\text{C}$ , porem do outro lado havia um coeficiente convectivo  $h = 20\text{W.m}^{-2}.\text{C}^{-1}$  e uma temperatura ambiente  $T_a = 30^\circ\text{C}$ .

**Tabela (1) tempo de Cozimento**

Tempo (h)	Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )
-----------	----------------------------------

10:15	30,7
10:20	36,3
10:25	44,7
10:30	47,0
10:33	50,6
10:35	52,8
10:40	54,0

**Observações:**

Entre 10:25 a 10:30h ocorreu período de nebulosidade.

O alimento obteve seu cozimento na temperatura de 54°C.

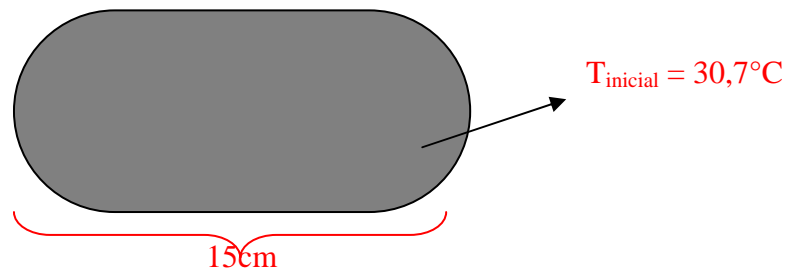


Figura. Esboço bife de frango



Figura 2: Fogão utilizado para o teste.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desempenho do fogão solar tipo caixa quente com espelhos planos é muito versátil, pois a cada inverno extremo duas refeições podem ser preparadas em dias frios, quando comparado com fogões solares parabólicos em que é difícil cozinhar uma refeição em dias de frio extremo.

O fogão solar tipo caixa com três espelhos planos não requer nenhuma mudança de posição por 3 horas quando comparado ao fogão solar parabólico que requer a mudança de posição em direção ao Sol a cada hora; o tempo requerido para cozimento de algum prato não excede 3 horas. O período de amortização do custo do equipamento varia entre 1,45 e 3,86 anos dependendo do combustível substituído e está em ordem crescente com relação aos seguintes combustíveis: lenha, hulha, eletricidade, querosene. A vida estimada é em torno de 15 anos.

O uso deste novo fogão solar ajudaria na conservação de combustíveis convencionais, tanto a lenha (árvores), adubo e lixo orgânico nas áreas rurais do Brasil. A conservação da lenha das árvores ajuda na preservação dos ecossistemas, o adubo poderia ser usado como fertilizante que poderia auxiliar no aumento da produção de produtos agrícolas. Além disso, o uso do fogão solar resulta na redução da liberação de CO<sub>2</sub> no meio ambiente; tudo isso gera uma subsistência melhor para as comunidades carentes.

A contribuição acadêmica deste estudo é a utilização de fontes renováveis de energias, no que concerne a utilização de fogões solares do tipo caixa para comunidades carentes, que não têm o recurso financeiro de comprar o botijão de gás convencional (gás de cozinha), sendo esta pesquisa de grande valia para a inclusão social e o desenvolvimento sustentável da matriz energética brasileira, haja vista que este protótipo de fogão estudado apresenta viabilidades técnicas-econômicas e, sobretudo ambientais.

## REFERÊNCIAS

A. KAY, M. GRÄTZEL, J. Phys. Chem. 97, 6272 (1993).

ALGIFRI, A.H., AI-TOWAIE, H.A., 2001. Efficient orientation impacts of box-type solar cooker on the cooker performance. Solar Energy 70 (2), 165–170.

B. O' REGAN, M. GRÄTZEL, Nature 353, 737-739 (1991).

BALZAR, A., STUMPF, P., ECKHOFF, S., ACKERMANN, H., GRUPP, M., 1996. A solar cooker using vacuum-tube collectors with integrated heat pipes. Solar Energy 58 (1–3), 63–68.

BEZERRA, A.M. Energia Solar: Aquecedores de Água. Editora Universitária-UFPb: João Pessoa, 1986.

BIERMANN, E., GRUPP, M., PALMER, R., 1999. Solar cooker acceptance in south Africa: results of a comparative fieldtest. Solar Energy 66 (6), 401–407.



**CADENA, C., SARAVIA, L., 2001. Análisis del comportamiento térmico de absorbedores de aluminio empleados en cocinas solares con concentración. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ASADES, 5, 2, 08.121 – 126.**

**ESCOLA COOPERATIVA VALE (S.COSME) e DEPARTAMENTO DE FÍSICA, Universidade de Aveiro. Fazer uma célula fotovoltaica - Manuel Azevedo e António Cunha.**

**FUNK, P.A., 2000. Evaluating the international standard procedure for testing solar cookers and reporting performance. Solar Energy 68, 1–7.**

**G.P. SMESTAD, M. GRÄTZEL, J. Chem. Educ. 75, 752 (1998).**

**GOLDEMBERG, J., 1998. Energia, meio ambiente e desenvolvimento. São Paulo: EDUSP, Brazil.**

**GRUPP, M.T., MERKLE, M., OWEN-JONES, 1994. Deuxième essai international de cuiseurs solaires. In: Systèmes solaires, vol. 104, pp. 33-52.**

**MOURA, J. P. de, Construções e Testes de Fogões Solares para as comunidades carentes do Rio Grande do Norte, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2007.**

**SOUZA, L.G.M. de, “Tese de Doutorado”, Viabilidades Térmicas, econômicas e de materiais na utilização de tubos de PVC, como elementos absorvedores em coletores de um sistema de aquecimento de água por energia solar, PDCEM- 2002 Natal-RN.**

**SOUZA, L.G.M., A Importância da Energia Solar como Fonte Alternativa e o Desenvolvimento de um Instrumento para medir Radiação Solar Global, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 70 p., Natal, 1987.**

**SOUZA, L.G.M., Análise Comparativa entre Coletor Solar Plano Convencional e Coletor Solar Alternativo Composto por Múltiplos Tubos de PVC, CONEM-2004, Belém-Pa.**

**SOUZA, L.G.M., Coletor Solar não Convencional, de Baixo Custo, Composto por Múltiplos Tubos Absorvedores de PVC, CONEM-2004, Belém-Pa.**

**SOUZA, L.G.M., Fogão Solar Modulado para Aplicação em Camping e Comunidades Rurais, CONEM-2004, Belém-Pa.**

**TEIXEIRA, E. , RANIERI, M.S.S. , Diretrizes para elaboração do Trabalho de conclusão de curso TCC, 2000.**