

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Evandro Davi Holz**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DOS  
RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Porto Alegre  
novembro 2008

**EVANDRO DAVI HOLZ**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DOS  
RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: Gino Roberto Gehling**

Porto Alegre  
novembro 2008

**EVANDRO DAVI HOLZ**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DOS  
RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovada em sua forma final pelo Professor/a Orientador/a e pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, novembro de 2008

Prof. Gino Roberto Gehling  
Dr. pela Universitat Politècnica de Catalunya  
Orientador

Prof. Inácio Benvegnu Morsch  
Chefe do DECIV

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Gino Roberto Gehling (UFRGS)**  
Dr. pela Universitat Politècnica de Catalunya

**Eduardo Fleck**  
Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo IPH-UFRGS

**Tiago Luis Gomes**  
Mestre em Engenharia Civil pela UFSM

Dedico este trabalho ao meu pai, Eliseu, por me fazer entender a importância dos estudos, e à minha mãe, Enia, pelo apoio irrestrito em todos os momentos da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Gino Gehling, pelo tempo e esforço despendidos na orientação deste trabalho, e por acreditar que o tema escolhido, apesar da dificuldade inicial, ao final renderia bons frutos.

Agradeço aos meus colegas de trabalho da ERM Brasil Ltda. e aos colegas das empresas pelas quais passei, pela paciência e entendimento de que minhas obrigações relativas à faculdade eram tão importantes quanto o aprendizado adquirido junto a eles.

Agradeço aos meus pais, Eliseu e Enia Holz, pelo apoio e orgulho que sempre demonstraram em ter um filho formando em Engenharia Civil.

Agradeço aos meus amigos (sem citar nomes para não criar atritos), na verdade meus irmãos, que me apoiaram, cada um à sua maneira, nesta longa, exaustiva e, graças a eles, divertida e inesquecível etapa da minha vida.

Agradeço, por fim, à minhas incontáveis bandas, com destaque para a atual, Stereocídio, por fazerem os meus momentos de estresse se tornarem momentos do mais profundo lazer e relaxamento, para recuperação da tranquilidade necessária para poder seguir adiante nas minhas tarefas.

A boa vida é aquela inspirada pelo amor e guiada pelo  
conhecimento.

*Bertrand Russell*

## RESUMO

HOLZ, E. D. **Avaliação do Potencial Energético dos Resíduos da Construção Civil**. 2008. 53 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Este trabalho tem como objetivo a análise do potencial energético dos resíduos da construção civil. Em um primeiro momento, foram analisados os resíduos desta atividade que poderiam ser utilizados com a finalidade desejada, e verificou-se que o material mais vantajoso a ser utilizado é a madeira. A partir disto, foram avaliados vários aspectos em relação a este produto, tanto na forma natural como na forma de resíduo, como os requisitos para o uso deste para fins energéticos e suas características, como poder calorífico, umidade, densidade de energia e composição química. Foi discorrido sobre qual seria o melhor método para separação e transporte deste resíduo, dando-se a ênfase de que estes são os fatores que mais fortemente influem no custo final do mesmo. Como método de geração de energia a ser utilizado foi dado ênfase à combustão, tendo-se, ao final deste projeto, uma análise desta tecnologia e suas alternativas, tanto para uso em escala comercial e industrial, quanto para uso residencial.

Palavras-chave: energia elétrica; energia; combustão; biomassa; madeira.

## **ABSTRACT**

HOLZ, E. D. **Avaliação do Potencial Energético dos Resíduos da Construção Civil**. 2008. 53 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

### **Construction and Demolition Residues Energetic Potential Viability Analysis**

The present essay objectives the analysis of the energetic potential of the residues originated from construction and demolition activities. At first, were analyzed the residues from these activities that could be used for the suggested purpose, being found that the material that showed more advantages in this case is wood. From this, were studied some aspects related to this material, as the main requirements to use it for energetic purposes and its characteristics, as energy and moisture content, energy density and chemical components. The alternatives for separation and transportation of the residue were analyzed, being emphasized that these are the issues that most highly affect its final cost. In the analysis of the possible practices to generate energy from wood, this essay emphasizes combustion techniques, being studied industrial and residential alternatives.

Key-words: electric energy; energy; combustion; biomass; wood.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: delineamento da pesquisa .....	17
Figura 2: evolução do consumo de madeira para energia no Brasil – 1970 a 2005 .....	21
Figura 3: combustão direta para aquecimento .....	33
Figura 4: combustão direta para produção de eletricidade .....	34
Figura 5: processo de co-geração .....	36
Figura 6: geração de energia a partir de co-combustão de biomassa e carvão .....	39
Figura 7: funcionamento de uma lareira convencional .....	42
Figura 8: forno à lenha .....	43
Figura 9: exemplos de fogão utilizados .....	47
Figura 10: fogão com capacidade de gerar e armazenar energia elétrica .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: consumo final de energia no Brasil por fonte, ano 2005 .....	20
Tabela 2: composição elementar média da madeira .....	25
Tabela 3: valores de X e Fc segundo fonte e potência elétrica instalada .....	38

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 MÉTODO DE PESQUISA</b> .....	14
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	14
2.2 OBJETIVOS .....	14
2.3 PREMISSAS .....	15
2.4 DELIMITAÇÕES .....	15
2.5 LIMITAÇÕES .....	15
2.6 DELINEAMENTO .....	16
<b>3 ANÁLISE DOS MATERIAIS</b> .....	18
3.1 CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS .....	18
3.2 MADEIRA .....	19
<b>3.2.1 Uso Energético</b> .....	19
<b>3.2.2 Requisitos Principais Para Utilização Como Combustível</b> .....	22
<b>3.2.3 Caracterização</b> .....	22
3.2.3.1 Poder calorífico .....	23
3.2.3.2 Umidade .....	23
3.2.3.3 Densidade de Energia .....	24
3.2.3.4 Composição Química .....	24
3.2.3.5 Tratamento e Acabamento .....	25
3.2.3.6 Emissões Atmosféricas .....	26
<b>4 SEPARAÇÃO, PREPARAÇÃO E TRANSPORTE</b> .....	28
4.1. SEPARAÇÃO E TRANSPORTE .....	28
4.2. PREPARAÇÃO .....	29
<b>5 MÉTODOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA</b> .....	30
5.1. A COMBUSTÃO DA MADEIRA .....	31
5.2. MÉTODO DA COMBUSTÃO DIRETA .....	33
5.3. CO-GERAÇÃO .....	35
5.4. CO-COMBUSTÃO .....	38
5.5. COMBUSTÃO RESIDENCIAL .....	40
<b>5.5.1 Aquecimento de Ambientes</b> .....	41
5.5.1.1 Lareiras e Fornos .....	41
5.5.1.2 Fornos ou Caldeiras Centrais .....	44
<b>5.5.2 Aquecimento para Cozimento de Alimentos</b> .....	46

<b>5.5.3 Fogão Com Gerador de Energia Elétrica .....</b>	<b>47</b>
<b>5 ANÁLISE FINAL E CONCLUSÕES .....</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>52</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O atual cenário econômico e social tem favorecido muito o crescimento da indústria da construção civil no Brasil. Junto a esse crescimento, há um óbvio aumento na geração de resíduos oriundos dessa atividade e muitos estudos têm sido feitos no sentido de tentar reduzir este problema diretamente na fonte, usando métodos variados.

Sabendo que a geração destes resíduos é inevitável, este trabalho visa avaliar uma das alternativas de destinação que pode ser dada aos resíduos gerados: a geração de energia. Parte-se do princípio de que a alternativa mais coerente para geração de energia a partir desses resíduos é a combustão, e, conseqüentemente, que os materiais que podem ser aproveitados são os que apresentam alto poder calorífico, como a madeira.

Atualmente, na cidade de Porto Alegre, estes produtos, quando tendo recebido algum tipo de tratamento para o uso na construção, estão sendo destinados para aterros sanitários, e não mais para aterros de materiais inertes, como era feito anteriormente. A utilização desse material para geração de energia seria muito eficiente na diminuição do volume de resíduos destinado a esses aterros. Deste modo, seria possível o prolongamento da vida útil dos locais de destinação, além de, dependendo o caso, se poder ter uma redução de volume e espaço utilizados.

Além disso, há a geração de sais minerais decorrentes da sedimentação das cinzas resultantes do processo da combustão que podem ser aproveitados como corretivo de solos ou para fabricação de tijolos. Ainda na área da diminuição de impactos ambientais, observa-se que este é um meio renovável de geração de energia, tema de extrema importância diante do atual cenário mundial, em que os recursos destinados para esta finalidade se encontram cada vez mais escassos.

Teve-se, então, em um primeiro momento, uma análise sobre as principais características do material definido como o mais viável para geração de energia a partir da combustão, neste caso a madeira. Foram explicitados vários aspectos relativos às suas propriedades, tanto na forma natural quanto na forma de resíduo.

Após isto, foi feita uma breve descrição das possibilidades relativas à separação, preparo e transporte desse material para o local onde seria realizada a geração. Como último passo, foram avaliados os métodos e tecnologias disponíveis para a combustão da madeira com objetivo de geração de energia tanto para uso comercial e industrial quanto para uso residencial.

## 2 MÉTODO DE PESQUISA

### 2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: qual o potencial de geração de energia dos resíduos da construção civil?

### 2.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é a avaliação do potencial energético dos resíduos gerados pelas atividades relacionadas à construção civil. Para isto, este estudo foi dividido em três etapas, que podem ser classificadas como objetivos secundários.

Como primeiro objetivo secundário, tem-se a elaboração de uma breve análise dos materiais que podem ser usados para a geração de energia. Era previamente sabido que, atualmente, o resíduo mais propenso a ser utilizado é a madeira. Foi realizada uma análise de quais são as premissas e propriedades para que este material possa ser utilizado para o fim desejado, como as condições em que o mesmo deve se encontrar em relação à limpeza, tamanho e outros.

Em uma segunda parte, fez-se um estudo para fins de se obter informações relativas a qual o meio de separação, preparação, recolhimento e transporte do resíduo é o mais apropriado neste caso, e quais alternativas gerariam menos custos.

Na terceira fase, o objetivo foi a avaliação de quais os possíveis métodos para a geração de energia a partir destes resíduos, além de suas possíveis limitações, tanto técnicas como financeiras.

Após isso, se fazendo uma análise pertinente sobre as possibilidades levantadas, teve-se, ao final do trabalho, um resultado da viabilidade desta idéia.



## 2.3 PREMISSAS

Como uma premissa do trabalho, deve-se considerar que todos os resíduos com potencial combustível serão utilizados para a geração de energia, com um aproveitamento a ser determinado a partir da análise pertinente das condições em que o mesmo se encontra ao ser recolhido nos canteiros de obras de construção civil.

## 2.4 DELIMITAÇÕES

São delimitações deste trabalho:

- a) a região determinada para análise tanto dos materiais quanto das possibilidades de transporte e outros itens variáveis do caso estudado é a cidade de Porto Alegre;
- b) só serão considerados os materiais e técnicas possíveis para geração de energia a partir de combustão, relegando-se outras possibilidades, como gaseificação, fermentação e pirólise.

## 2.5 LIMITAÇÕES

A principal limitação do trabalho foi a falta de dados consistentes tanto do ponto de vista qualitativo quanto quantitativo do material residual gerado na atividade analisada, além de não se obter informações suficientes da destinação dada à totalidade dos resíduos. No Brasil são encontrados poucos estudos sobre o assunto, fazendo com que algumas adaptações à nossa realidade tenham que ser feitas em relação a experiências e estudos realizados no exterior.

Por fim, as conclusões teóricas apresentadas ao final desta pesquisa não poderão ser testadas na prática. Como esse estudo apresenta algumas premissas, limitações e delimitações, mesmo este apresentando um resultado satisfatório na teoria, pode necessitar de ajustes para um bom funcionamento na prática.

## 2.6 DELINEAMENTO

Em uma primeira etapa, foi feita uma apuração dos materiais a serem utilizados levando-se em consideração as premissas, limitações e delimitações apresentadas. Houve uma análise qualitativa dos materiais, tendo-se ao final, quais dos resíduos gerados são passíveis tecnicamente de utilização para geração de energia por combustão. Ainda nessa fase, avaliaram-se as características do material passível de utilização, sendo analisadas suas potencialidades e limitações.

A segunda etapa do projeto constituiu-se da reunião dos dados sobre as técnicas de combustão que são utilizadas atualmente para os resíduos analisados na etapa anterior. Foram levadas em considerações práticas de escala industrial, como a geração de energia elétrica ou vapor através de usinas, e práticas residenciais, como a utilização dos combustíveis em fornos para aquecimento de ambientes ou cozimento de alimentos.

Como último passo, foi feita uma análise final dos resultados obtidos e algumas considerações que possam ser pertinentes. No caso da confirmação da viabilidade da alternativa estudada, podem ser sugeridas algumas melhorias buscando facilitar o processo para um ainda melhor aproveitamento, e, no caso da idéia considerada não ser verificada, as considerações virão no intuito de identificar em quais momentos o processo é falho e passível de modificação para uma possível viabilidade do mesmo.

Houve uma pesquisa bibliográfica ininterrupta durante toda a elaboração do trabalho, já que cada nova etapa exigiu a busca de informações para um bom embasamento. Na figura 1 é apresentado o diagrama que representa o delineamento da pesquisa.

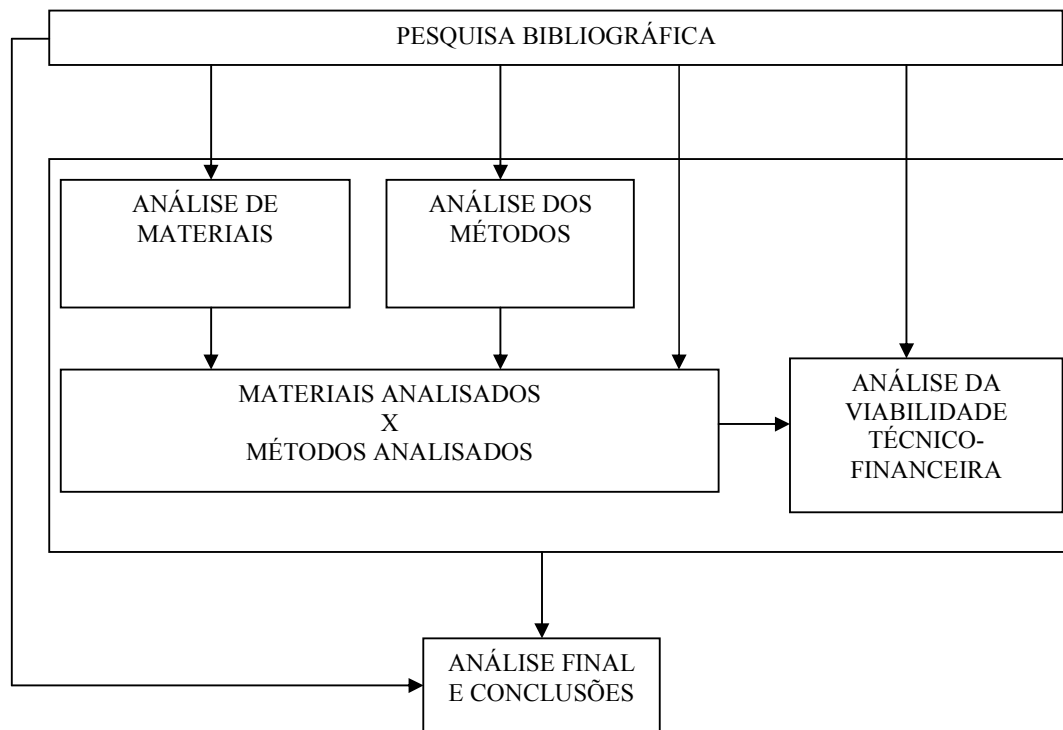


Figura 1: delineamento da pesquisa

### 3 ANÁLISE DOS MATERIAIS

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

A construção civil é uma atividade geradora de resíduos dos mais variados tipos. Segundo a Resolução n. 307 do CONAMA, de 2002, eles podem ser classificados do seguinte modo (BRASIL, 2002):

- a) classe A: são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como,
  - de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
  - de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc.), argamassa e concreto;
  - de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- b) classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- c) classe C: são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
- d) classe D: são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Segundo o Projeto de Lei 019/2005 da Cidade de Americana, em São Paulo (AMERICANA, 2005), são geradas em torno de 1.933 toneladas por dia de resíduos de construção civil e demolição na cidade de Porto Alegre.

Dentre estes, neste trabalho serão estudados aqueles que podem ser usados como geradores de energia em suas mais variadas formas, a partir da combustão. Após uma análise inicial,

verificou-se que não são muitos os materiais oriundos da construção civil que podem ser utilizados com a finalidade sugerida. Por ser um produto que é gerado em volumes significativos e por apresentar características propícias para a queima, decidiu-se, então, focar este projeto na madeira. Assim, passa-se a detalhar esse material.

## 3.2 MADEIRA

A madeira é utilizada das mais diferentes maneiras na construção civil. Na forma estrutural, funcionando como pilar, viga, estrutura de suporte de coberturas, escoramento e outros. Em acabamentos, é usada em pisos (como parquet, assoalhos, tábua, deck, barrote, etc.) e em rodapés. Além disso, é utilizada em andaimes, tapumes, fôrmas, esquadrias dos mais variados tipos e acabamentos, como forros, lambris e cordões.

Porém, existe um desperdício muito grande deste material. Os fatores que levam a esse desperdício são desde culturais, pelo fato do País contar com uma grande capacidade de geração deste recurso natural, levando a crer que este nunca se esgotará, até técnicos, com métodos de planejamento de uso, manuseio e utilização não totalmente condizentes com todas as possibilidades que se tem hoje em dia.

Nos itens a seguir, será analisado o uso da madeira residual destas atividades para fins energéticos.

### 3.2.1 Uso Energético

Segundo Quirino (2000), a utilização energética dos resíduos pode se dar através de diversas maneiras; algumas delas apresentadas a seguir:

- a) queima direta, em caldeiras, como lenha ou resíduo, gerando calor ou vapor de processo;
- b) queima direta em termelétrica para produção e comércio de energia elétrica;
- c) utilização como lenha, em todos processos que tradicionalmente já são utilizados comumente para carbonização de lenha;

- d) queima direta em queimadores de partículas como ocorre na indústria de cerâmica vermelha;
- e) compactação de resíduos, transformando-os em briquetes para posterior utilização como lenha, em todos os processos que tradicionalmente já utilizam lenha, sejam padarias, pizzarias, caldeiras em geral;
- f) produção de carvão utilizado comumente para carbonização de lenha; e
- g) produção de carvão ativo, a partir de finos de carvão ou de finos de madeira, através de ativação física ou química.

Brito (2007) destaca que:

O uso da madeira para energia engloba diminuir a dependência energética externa e uma maior segurança quanto ao suprimento da demanda, algo que muitos dos combustíveis hoje empregados não proporcionam. Além do mais, graças ao seu alto potencial renovável e produtivo, especialmente no caso brasileiro, pode expressar uma matriz energética ambientalmente mais saudável e socialmente mais justa, pois é uma das fontes de energia que possibilitam uma das maiores taxas de geração de emprego por recurso monetário investido.

A tabela 1 apresenta o quanto é consumido de cada matéria-prima para uso energético (dados do ano de 2005).

Tabela 1: consumo final de energia no Brasil por fonte (2005)

Fontes	Milhões de toneladas equivalentes de petróleo	%
Derivados de Petróleo	83,68	42,71
Gás Natural	13,41	6,84
Carvão Mineral <sup>1</sup>	4,85	2,48
Eletricidade	32,38	16,48
Madeira <sup>2</sup>	22,37	11,42
Produtos da Cana <sup>3</sup>	21,55	11,00
Outras Fontes	17,77	9,07

(fonte: BRASIL, 2006a)

<sup>1</sup> Carvão Natural, coque e gás de coqueria

<sup>2</sup> Lenha e carvão vegetal

<sup>3</sup> Etanol e bagaço

Somente há pouco tempo a madeira deixou de ser a principal fonte de energia primária no Brasil, sendo ultrapassada pelo petróleo na década de 70 e, em seguida, pela hidroeletricidade. Pelo maior incentivo dado a estes dois últimos métodos, houve um decréscimo do uso da madeira, tendência esta que tem mudado nos últimos anos, como se pode ver na figura 2. Essa mudança de cenário provavelmente esteja relacionada às incertezas quanto à oferta das outras fontes e, também, às vantagens econômicas e oportunidades ambientais e estratégicas oferecidas pelo uso da madeira como fonte de energia (BRITO, 2007).

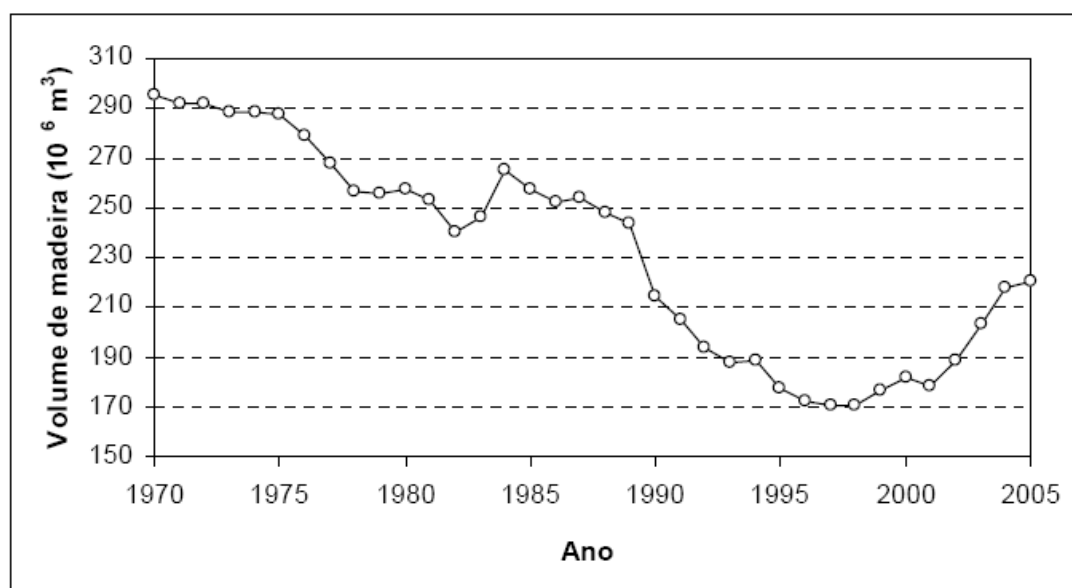


Figura 2: evolução do consumo de madeira para energia no Brasil – 1970 a 2005 (BRASIL, 2006a)

O volume de madeira atualmente consumido para energia é da ordem de 220 milhões de metros cúbicos anuais, segundo dados do Ministério das Minas e Energia (2006a). Também segundo fontes do Governo e de instituições ligadas a setores de aplicação de madeira no Brasil, como a Associação Brasileira de Celulose e Papel (2007) e a Sociedade Brasileira de Silvicultura (2007), o seu consumo anual como matéria-prima industrial atinge 142,7 milhões de metros cúbicos, compreendendo a produção de celulose e papel, serraria, chapas e painéis. Desse modo, conclui-se que 69% da madeira usada no Brasil têm destinação energética, o que, sem nenhuma contestação, representa o maior volume de madeira vinculada a um determinado uso no País.

### **3.2.2 Requisitos Principais Para Utilização Como Combustível**

Pelo fato de ser utilizada das mais variadas formas, o resíduo de madeira não é apresentado de maneira homogênea. Mas, para sua utilização na combustão, ele deve seguir certos pré-requisitos, pois sabe-se que este resíduo não é o melhor produto utilizado para este fim (ROY, 2002).

Ainda segundo Roy (2002), que é gerente da divisão de geração térmica e co-geração a partir de resíduos da madeira da empresa canadense Boralex Inc., maior produtora de energia elétrica a partir de resíduos de madeira na América do Norte, o ideal é que as lascas deste material sejam pequenas, de tamanho menor do que três polegadas (7,62 cm).

Além disso, o material deve estar preferencialmente livre de sujeira, gesso acartonado, areia, metais, plásticos e outros. Estes materiais não queimam junto com a madeira, mas, quando aquecidos a altas temperaturas, aderem às paredes da caldeira e acabam diminuindo sua vida útil. Ainda, certos tipos de produtos utilizados para o tratamento da madeira, como os feitos a base de arsenato de cobre cromatado, quando queimados, liberam níveis de dioxina nas emissões de ar e cinzas que não são aceitos pelos órgãos reguladores. Não obstante, a limpeza da madeira ainda ajuda na redução da geração de cinzas após a combustão do material. Resquícios de tinta que podem estar na madeira não causam grandes problemas, desde que seja feito um monitoramento constante das condições do ar no entorno da usina de geração, para que os limites de emissão de certos poluentes não ultrapassem o que é estipulado pelas leis vigentes.

### **3.2.3 Caracterização**

As características do resíduo de madeira (particularmente a sua umidade e pouca densidade energética, assim como sua forma) afetam o modo o qual o material pode ser utilizado, o método que pode ser utilizado para geração de energia e o quanto de energia se consegue obter destes recursos. Ainda, a tecnologia utilizada pode requerer um tratamento particular do material, podendo ser um pré-tratamento, o seu corte, a diminuição da umidade até ser atingido um nível específico ou a mistura deste com outras fontes de energia, renováveis ou não.



### 3.2.3.1 Poder calorífico

O poder calorífico de um material é a quantidade de energia liberada na combustão completa de uma unidade massa de combustível. Este pode ser classificado como poder calorífico superior e inferior. O superior é aquele obtido através do combustível seco, e o inferior é calculado partindo-se do poder calorífico superior, mas se considerando o teor de umidade do material. Sendo assim, o poder calorífico inferior retrata melhor a qualidade do combustível. Para o cálculo do calor específico inferior, considerando o calor de vaporização da água como sendo 580 kcal/kg, pode-se utilizar a fórmula abaixo (QUIRINO, 2000):

$$PCI = \left( \frac{PCS - 25,11 \times H}{100 + H} \right) \times 100$$

Na fórmula, tem-se PCI como poder calorífico inferior, PCS como poder calorífico superior e H como porcentagem de umidade do material em relação ao seu peso seco.

Ainda segundo Quirino (2000), “[...] o calor oferecido pela combustão da madeira vai variar de acordo com seus constituintes. Entretanto, girará em torno de 4.700 a 5.000 kcal/kg da madeira seca a 0% de umidade, independente de sua espécie.”.

Para madeiras duras, como eucaliptos, o conteúdo energético tem um valor aproximado de 20GJ/t (ou 4.777 kcal/kg), sendo 1 MWh igual a 3,6 GJ (AUSTRÁLIA, 1999<sup>4</sup> apud AUSTRÁLIA, 2005). Considerando uma eficiência na conversão de resíduos de madeira em energia de 100%, se tem que cada tonelada de madeira seca produz entre 5 e 6 MWh. No entanto, segundo a *National Association of Forest Industries*, da AUSTRÁLIA (2005), em plantas de geração de energia atuais essa eficiência fica em torno de 20 a 30%, resultando em um valor entre 1,2 e 1,8 MWh/t.

### 3.2.3.2 Umidade

A água contida em árvores recém cortadas responde por um valor médio de 50% do peso inicial da madeira. Durante o processamento desta, este valor varia bastante podendo chegar a índices menores que 40%. Em casos como este, em que a matéria-prima apresenta um alto índice de umidade, existe um custo significante associado à retirada da água contida no

<sup>4</sup> AUSTRÁLIA. Sustainable Energy Development Authority. Investigation of Potential for Electricity Generation from Forestry By-products in New South Wales. Austrália, 1999. Energy Development Authority.

produto, sendo usada neste processo uma quantidade substancial de energia, chamada de calor latente de vaporização (AUSTRÁLIA, 2005). Segundo Quirino (2000), são necessárias 580 calorias para evaporar um grama de água, sendo que, se a água estiver fortemente ligada à madeira, é necessário ainda mais energia. Essa perda de potencial de energia durante o processo de conversão reduz o valor de madeira como combustível.

Mesmo resultando em valores relativamente menores, pode ser levado em consideração, adicionalmente, o valor do calor sensível da água. O calor sensível é quantidade de energia despendida para variação de temperatura de uma substância. Neste caso, seria a energia utilizada para que a água atingisse seu ponto de ebulição (100°C à pressão atmosférica). Tem-se que é necessária uma caloria para elevação em um grau Celsius a temperatura de um grama de água.

#### 3.2.3.3 Densidade de energia

A densidade de energia (energia por unidade de volume) dos resíduos da madeira pode ser muito pequena, com valores chegando a apenas um décimo dos obtidos em combustíveis fósseis (STUCKLEY et al., 2004). Por esse motivo, um volume muito maior de madeira do que de carvão é necessário para gerar uma mesma quantidade de eletricidade. Conseqüentemente, plantas de energia renovável precisam ser projetadas tanto para o manejo quanto para o armazenamento do resíduo, considerando pátios para estocagem de tamanhos significativos e outros. Quirino (2000) indica que a madeira, depois de picotada e compactada, pode ter sua densidade energética multiplicada por três.

#### 3.2.3.4 Composição química

Outro fator a ser levado em conta na combustão da madeira, além dos já citados, é a sua composição química. Neste sentido, existe uma uniformidade entre as espécies, podendo ser generalizada como na tabela 2.

Tabela 2: Composição elementar média da madeira

Elemento	%
Carbono	42,71
Hidrogênio	6,84
Nitrogênio	2,48
Oxigênio	16,48
Cinzas	11,42

(fonte: BRITO; BARRICHELO, 1979)

A madeira ainda contém uma quantidade negligenciável de enxofre.

### 3.2.3.5 Tratamento e acabamento

Para conferir uma maior resistência da madeira em relação aos agentes de deterioração, proporcionando maior durabilidade, são usados preservantes para o tratamento desta. Estes agentes podem ser de natureza física, química e biológica (fungos e insetos xilófagos), que afetam suas propriedades.

Segundo consta em estudo feito pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (FERREIRA, 2003),

[...] considerando a Lei nº 4.797 de 20 de outubro de 1965 e a Instrução Normativa Conjunta IBAMA e ANVISA, em fase final de implementação para substituição da Portaria Interministerial nº 292 de 20 de outubro de 1989 e Instrução Normativa nº5, de 20/10/92, que disciplinam o setor Preservação de Madeiras no Brasil, o tratamento preservativo de madeiras é obrigatório para peças ou estruturas de madeira, tais como dormentes, estacas, vigas, vigotas, pontes, pontilhões, postes, cruzetas, torres, moirões de cerca, escoras de minas e de taludes, ou quaisquer estruturas de madeira que sejam usadas em contato direto com o solo ou sob condições que contribuam para a diminuição de sua vida útil.

Além disso, são usados tintas e vernizes para acabamento deste material.

### 3.2.3.6 Emissões atmosféricas

Segundo a *National Energy Foundation* [2008?], da Inglaterra, as principais emissões atmosféricas liberadas a partir da combustão da madeira limpa consistem basicamente de vapor de água e dióxido de carbono (juntamente com nitrogênio e oxigênio proveniente do ar de combustão). Além disto, as emissões contêm monóxido de carbono, material particulado e compostos orgânicos voláteis. Como vantagem, a madeira quase não emite dióxido de enxofre e óxidos nitrosos quando queimada, compostos estes que são responsáveis pela formação de chuvas ácidas.

Quando não são utilizadas boas técnicas de combustão, a queima da madeira pode ocasionar a poluição do ar, na forma de fumaça ou monóxido de carbono.

A fumaça é composta de partículas que não foram queimadas, como resultado de uma combustão incompleta. Ela contém poluentes danosos à saúde humana, que podem ocasionar tosse, dor de cabeça, irritação nos olhos e na garganta além de agravar problemas respiratórios. Além disto, o combustível não queimado pode se depositar na chaminé na forma de creosoto.

Segundo Hinrichs e Kleinbach (2008) “[...] o creosoto é formado quando os gases de combustão condensam dentro da chaminé fria e formam uma substância preta, alcatroada”. Havendo a formação de várias camadas de creosoto, poderá ocorrer uma diminuição na abertura da chaminé, além de que, em temperaturas suficientemente altas, o creosoto pode pegar fogo, causando um incêndio.

Normalmente, a combustão incompleta é notada através da saída de uma fumaça de cor escura e com odor pela chaminé.

O monóxido de carbono é gerado toda vez que ocorre a combustão de um combustível a base de carbono, como gases, óleos, carvão e a madeira. Se a combustão é operada de modo incorreto, essas emissões podem chegar a níveis perigosos.

A *National Energy Foundation* [2008?] cita que o monóxido de carbono reduz a capacidade do sangue em fornecer oxigênio para os tecidos do corpo. Quando inalado em níveis maiores, o composto pode causar fadiga, dor de cabeça, tontura, náusea, confusão mental e

desorientação e, a níveis muito altos, perda de consciência e morte. Como se decompõe rapidamente, ele tem mais efeito em ambientes fechados.

Além disso, as tintas e vernizes usados para acabamento da madeira contêm componentes tóxicos, por vezes metais pesados, que podem ocasionar emissões poluentes que devem ser controladas e monitoradas segundo legislação vigente.

## 4 SEPARAÇÃO, PREPARAÇÃO E TRANSPORTE

### 4.1 SEPARAÇÃO E TRANSPORTE

Os resíduos de madeira, no caso da construção civil, são gerados junto a tantos outros já citados anteriormente. Para a utilização deste na geração de energia, é necessária a realização da separação do material desejado. Para isto, temos duas possibilidades: a separação na fonte, no caso as próprias obras, sendo o serviço realizado pelas próprias construtoras; e a separação no aterro ao qual são destinados os resíduos de vários locais.

Atualmente, são poucas as empresas de construção civil na cidade de Porto Alegre que separam os materiais residuais de suas atividades no próprio canteiro de obras, o que dificultaria uma alternativa de coleta somente dos resíduos da madeira diretamente onde é gerado. Isto poderia ocasionar uma diminuição nos custos, já que não seria necessário pagar duplamente pelo transporte do material (da obra até o aterro e do aterro até a usina).

A outra opção, da separação do material ser feita somente nos aterros, possibilita uma viagem menor em última instância, sendo necessária somente uma viagem até um só aterro para que se enchesse um caminhão de resíduos. Esse é o sistema utilizado na América do Norte, pela Boralex Inc., e ROY (2002) ainda sugere a possibilidade de utilização do mesmo veículo que carrega os resíduos até a usina para levar, na sua volta para o aterro, as cinzas geradas pela combustão, com um aproveitamento ainda maior desta viagem.

A alternativa a ser utilizada depende da localização, distribuição e disponibilidade dos recursos, fontes geradas, aterros e usinas. Sendo o transporte um dos fatores que mais influenciam no custo do material, é pertinente que, independente do sistema utilizado, se tenha o máximo de economia possível nesta etapa.

## 4.2 PREPARAÇÃO

Além da separação deste material, é importante que ele seja preparado de modo a minimizar os problemas e custos tanto no transporte quanto no manuseio do mesmo. Para isto, tem sido utilizado o processo da briquetagem.

A briquetagem consiste em um processo de densificação de resíduos para obtenção de maior densidade de energia e poder calorífico. Este processo resulta em um material com um teor de umidade entre 8 e 12% e elevada homogeneidade. Todos os tipos de resíduos orgânicos podem ser briquetados, necessitando apenas serem colocados numa granulometria e num teor de umidade adequadas ao processo de densificação (QUIRINO, 2000).

A briquetagem ocorre após a secagem e picoteamento do material, podendo ser feita em extrusoras de pistão mecânico, extrusoras de pistão hidráulico ou extrusoras de rosca sem fim (QUIRINO, 2000).

No caso estudado, para facilitar e baratear o transporte e a estocagem do material no local onde será realizada a geração de energia, o ideal é que este processo seja realizado logo após a sua separação. Além disso, a briquetagem ainda facilita o processo de mecanização da alimentação das caldeiras de combustão.

## 5 MÉTODOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Há uma grande variedade de tecnologias de conversão de biomassa para energia em que resíduos de madeira podem ser utilizados, como combustão, gaseificação, pirólise, produção de etanol e processos químicos. Destes podem ser gerados vários produtos energéticos como calor, eletricidade, vapor, combustíveis líquidos, gases e outros (AUSTRÁLIA, 2005). Ainda há uma incerteza sobre qual o método mais apropriado para a produção desta energia renovável e a quantidade e tipo de madeira que é requerida para cada atividade.

Para definição deste método existem fatores importantes a serem considerados como o tamanho das plantas de produção desta energia, o custo relativo para cada um dos seus produtos resultantes, a eficiência da geração da energia e a natureza dos recursos de resíduo de madeira. A *National Association of Forestry Industries* (AUSTRÁLIA, 2005) cita quatro questões como as principais a ser analisadas:

- a) existe um volume seguro e constante de geração de resíduo de madeira disponível para geração de energia na região?;
- b) existe uma rede de distribuição pronta e acessível para os produtos gerados?;
- c) existem tecnologias, de comprovado baixo risco, disponíveis para utilização na escala e no tipo de resíduo de madeira disponível?;
- d) qual é a comparação dos custos dos produtos energéticos derivados dos resíduos da madeira com os produtos similares existentes no mercado?.

Complementando, Brand (2004) destaca outros pontos a serem considerados:

- a) detalhada análise técnica e de engenharia do balanço do sistema energético com as necessidades de energia da indústria, incluindo co-geração, se desejado;
- b) existência de resíduo confiável, conveniente e barato;
- c) adequado controle de poluição;
- d) disponibilidade de coleta e distribuição ou venda do "resíduo" (por exemplo a cinza da combustão);



- e) pessoal treinado para operação e manutenção dos equipamentos de geração de energia;
- f) eficiência na diminuição nos custos de distribuição ou venda, diminuição nos custos de energia e novas fontes de rendimento que excedam o capital do investimento, sistemas de operação e manutenção.

Brand (2004) ainda comenta que o principal problema enfrentado pelas indústrias que utilizam a madeira para geração de energia é a falta de capital para construção inicial ou expansão da planta de geração de energia. Além disso, ela cita como dificuldades a ineficiência no uso da energia gerada, a manutenção constante necessária neste tipo de usina, a necessidade de automação, a dificuldade para encontrar critérios para o controle da poluição, a baixa eficiência do processo, o excesso de resíduos e as deficiências na sua armazenagem e as poucas taxas de incentivos.

Após essa análise, mais fatores impactam na escolha na tecnologia de conversão de energia empregada, como a escala de operação possível e desejada e a eficiência de conversão de biomassa em energia da instalação.

## 5.1 A COMBUSTÃO DA MADEIRA

O processo de combustão da madeira pode ser dividido em três fases: evaporação da água a partir do resíduo de madeira, queima da matéria volátil na madeira e a combustão do carbono.

Brito e Barrichelo (1979) explicam cada uma dessas etapas:

A primeira fase da combustão aquece a madeira para a evaporação e eliminação da água. É uma energia praticamente perdida. A segunda fase de combustão se inicia quando a temperatura atinge aproximadamente 260°C, quando a madeira começa a ser quimicamente degradada e materiais voláteis começam a ser vaporizados. Quando a temperatura chega aos 600°C e havendo possibilidades de uma correta e adequada mistura com o ar, estes gases passam a se inflamar. Se a temperatura dos gases voláteis não é mantida ao redor dos 600 °C e a quantidade de ar não for suficiente a combustão não se completa. O terceiro estágio de combustão é o da queima do carvão que permanece após a liberação dos gases voláteis. O carvão se queima a temperaturas acima dos 600 °C. Finalmente, uma pequena quantidade de cinza permanece após a queima do carvão.

Na prática, a madeira é alimentada continuamente em uma câmara de combustão e todos os três passos ocorrem simultaneamente. Os sistemas de combustão são projetados para

balancear a evaporação e a queima do combustível, levando em conta as características do material, como tamanho de partícula, variação de umidade e outros (*FOREST AND WOOD PRODUCTS RESEARCH AND DEVELOPMENT CORPORATION*, 2001).

O teor resultante de cinzas da madeira é bastante baixo, sendo que geralmente menos que 1% do peso da madeira se transforma em resíduo (BRITO; BARRICHELO, 1979).

Para se minimizar as emissões atmosféricas resultantes da combustão da madeira que possam causar danos ambientais, alguns fatores devem ser levados em conta no projeto de uma chaminé. A *US Environmental Protection Agency* [2008?] cita alguns:

- a) tamanho, evitando o superdimensionamento do cano da chaminé;
- b) altura, normalmente um pouco acima dos mínimos previstos na legislação;
- c) localização, de preferência protegida de frio extremo; e
- d) configuração, evitando deslocamentos horizontais do ar e mudanças de direção.

Ainda, a *National Energy Foundation* [2008?] comenta que, mesmo com todos estes cuidados, a chaminé pode não funcionar conforme o esperado, e um refluxo de fumaça pode ocorrer, com esta voltando para dentro das instalações ao invés de sair pela chaminé. Outro problema freqüente é a pouca dispersão da fumaça após a saída pela chaminé, causando concentrações mais altas de poluentes nas áreas próximas ao prédio.

Esses problemas podem ser causados por vários motivos, como um recapeamento interno do conduto da chaminé (o que reduz o diâmetro interno do mesmo), a redução da altura da chaminé por questões de segurança (por patologias que atingem o topo da chaminé), redução de ventilação por mudanças de leiaute das instalações ou o crescimento de árvores ou construção de prédios nas proximidades, criando barreiras para dispersão do ar.

Um modo simples de se evitar alguns destes fatores é a instalação de um equipamento de ventilação no topo da chaminé. Estes ventiladores têm um controle de velocidade ajustável, com a vantagem de ser possível controlar a exata vazão para melhor eficiência da combustão. No caso de pouca vazão, não há uma dispersão correta e no caso de uma vazão muito alta, a corrente de ar ocasiona uma combustão mais rápida da madeira, com o esfriamento da chama e conseqüente aumento na produção de fumaça.

## 5.2 MÉTODO DA COMBUSTÃO DIRETA

A tecnologia mais aceita atualmente para geração de energia a partir da madeira é a combustão direta. A conversão de biomassa para calor e energia já é uma alternativa bem estabelecida, sendo que 90% das plantas de bioenergia atuais utilizam este processo (STUCKLEY et al., 2004). As tecnologias de combustão direta já são bem entendidas, apresentam comprovado baixo risco na sua instalação e operação e são comercialmente viáveis.

Esta técnica envolve a queima da madeira em uma câmara para permitir a liberação de energia como calor e gás. A energia contida na radiação de calor e nos gases quentes é usada para esquentar água ou óleo contido nos bancos de tubos, pelos processos de radiação, convecção e condução. Atualmente, muitas fábricas de processamento de madeira para construção civil usam o óleo aquecido no funcionamento de prensas hidráulicas de chapas de madeira ou compensados, e o vapor para secagem dos produtos de madeira (AUSTRÁLIA, 2005). A figura 3 apresenta as etapas deste processo.

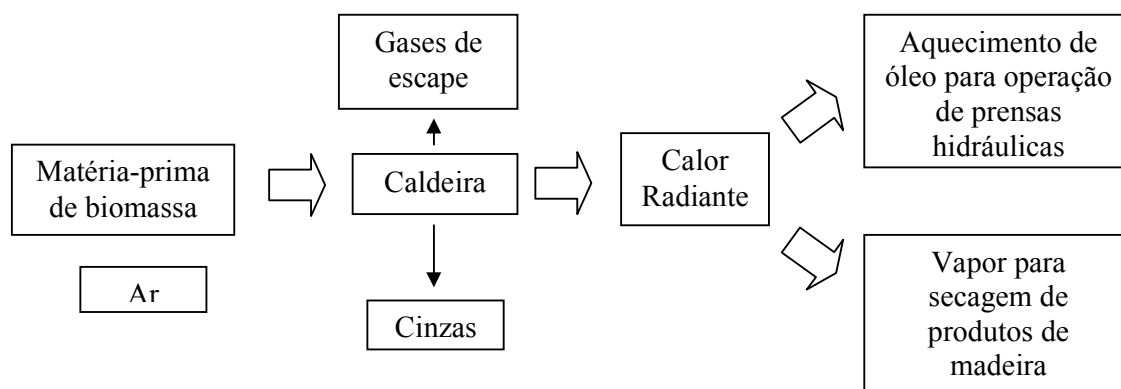


Figura 3: combustão direta para aquecimento (baseado em AUSTRÁLIA, 2005).

Com a instalação de uma turbina, é possível usar o vapor à alta temperatura para geração de eletricidade, como mostrado na figura 4.

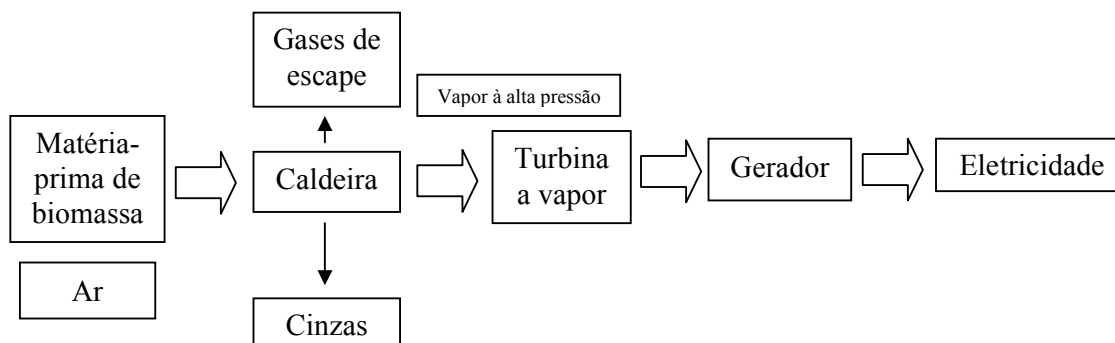


Figura 4: combustão direta para produção de eletricidade (baseado em AUSTRÁLIA, 2005).

Elias (2004) complementa que a geração nessa opção contempla, entre os principais equipamentos, um sistema de alimentação de combustível, uma caldeira, painéis de controle, subestação, torres de resfriamento e um turbo-gerador, em condensação (geralmente a vácuo), destinado exclusivamente para a geração de energia elétrica.

Um grande número de variações da tecnologia de combustão já foi desenvolvido, sendo que se têm dois tipos como principais no processo de combustão direta: de leito fixo e de leito fluidizado. A tecnologia de leito fixo apresenta uma grade, por vezes móvel, onde o material combustível fica com ar sendo soprado através do material. A de leito fluidizado permite uma vazão de ar muito mais rápida ao redor da madeira, que é misturada com até 90% de areia na câmara de combustão. Tendo o contato da madeira com a areia, ocorre uma transferência mais rápida de calor para dentro do resíduo. Como resultado, os materiais se comportam de modo semelhante a um fluido, com uma maior proporção de madeira sendo queimada. Leitões fluidizados são tecnologias complexas e caras para serem empregadas, mas apresentam a vantagem de poder queimar uma variedade maior de combustíveis. Também tendem a causar uma emissão menor de óxido de nitrogênio, pois operam a menores temperaturas (AUSTRÁLIA, 2005).

Uma grande limitação associada a plantas de combustão que utilizam somente a madeira como combustível é a grande dispersão em que se encontram estes recursos, encarecendo o custo relativo ao seu transporte e coleta. O tamanho de plantas de geração de energia pela biomassa é geralmente restrito a disponibilidade destes, mas normalmente os valores variam

entre 25 a 40 MW. Isto significa que aproximadamente 300 a 500 mil toneladas de madeira são requeridas, anualmente, para suprir cada planta.

Segundo Rizza (2003<sup>5</sup> apud AUSTRÁLIA, 2005), uma nova planta tem um custo médio de dois milhões de dólares por megawatt de capacidade instalada, resultando em custo de 50 a 80 milhões para usinas nos tamanhos mencionados.

Outra parte importante do custo é o de transporte e manuseio do combustível dentro da planta. Dado os grandes volumes de resíduo de madeira necessários para o suprimento dessas usinas, necessita-se um projeto bem elaborado para armazenamento e movimentação deste material.

Ao final do processo, aproximadamente 0,4% da madeira seca resulta em cinzas. Esta cinza é livre de contaminantes tóxicos, podendo ser usada para produção de uma variedade de produtos comerciais, como mistura em adubo, fertilizantes e condicionantes de solo.

Apesar de estar bem desenvolvida, esta prática ainda necessita de melhorias, principalmente em relação a sua eficiência de produção de energia para escalas menores com custos menores.

### 5.3 CO-GERAÇÃO

Segundo reconhece a Agência Nacional de Energia Elétrica (BRASIL, 2006b), “[...] a atividade de co-geração de energia contribui para a racionalidade energética, possibilitando melhor aproveitamento e menor consumo de fontes de energia, quando comparada à geração individual de calor e energia elétrica”. Nestes termos, pode ser gerado até 10 vezes mais vapor que eletricidade a partir da combustão de madeira, com a geração de energia na forma de vapor, água ou óleo quente ou simplesmente como gases quentes para aplicações em secagem e aquecimento (AUSTRÁLIA, 2005).

A co-geração consiste em um sistema combinado de geração de calor e energia, com a produção de calor, tipicamente na forma de vapor e energia elétrica. O princípio de co-geração é usar vapor a alta temperatura e pressão para produção de eletricidade e vapor de

---

<sup>5</sup> RIZZA, A. Personal Communication with Adrian Rizza. Babcock and Brown Pty Ltd. Melbourne, Austrália, 2003.

baixa temperatura e pressão para processamento do calor. A figura 5 apresenta um modelo esquemático do processo.

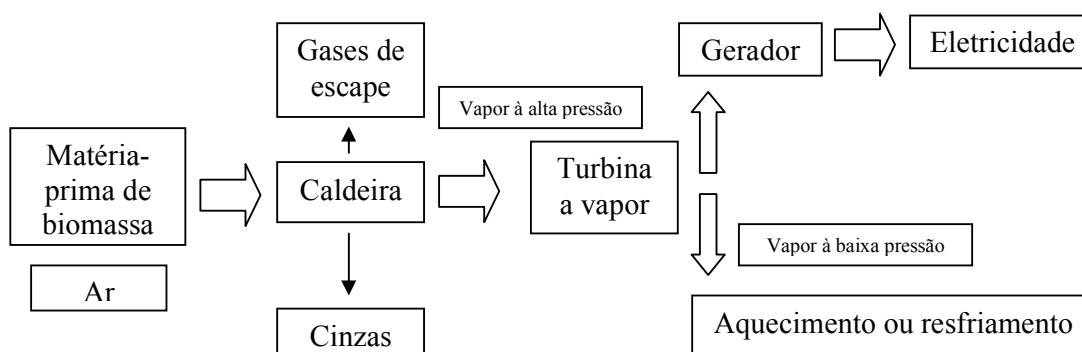


Figura 5: processo de co-geração (baseado em AUSTRÁLIA, 2005)

Neste caso, segundo Elias (2004), utiliza-se um sistema de alimentação de combustível, uma caldeira, painéis de controle, torres de resfriamento e um turbo-gerador, em condensação (mais comum a vácuo) com extração ou ainda, em contra-pressão, destinado tanto para a geração de energia elétrica, quanto ao fornecimento de vapor para o processo.

Usando este método, fábricas de co-geração conseguem alcançar uma eficiência global de conversão de energia de até 85% (*FOREST AND WOOD PRODUCTS RESEARCH AND DEVELOPMENT CORPORATION*, 2001).

As considerações relativas a custos e projetos para plantas de co-geração são similares àquelas para plantas que geram somente eletricidade ou somente calor, com um pequeno aumento de custo associado ao uso do vapor quente. O custo mais alto é geralmente sobreposto pela maior energia global gerada por tonelada de resíduo de madeira queimada.

Como no caso anterior, para melhorar a competitividade financeira da energia gerada a partir de resíduos de madeira, é necessária uma melhora na eficiência da conversão. Além disso, um dos principais problemas está em reduzir as reações que ocorrem nos gases no corpo da chaminé, que causam corrosão e incrustações nos fornos e caldeiras atualmente.

Para qualificação da central termelétrica para este fim, a Resolução 235 de 2006 da Agência Nacional de Energia Elétrica (BRASIL, 2006b) requisita o preenchimento de requisitos mínimos de racionalidade energética, mediante cumprimento das inequações a seguir:

- a)  $\frac{Et}{Ef} \geq 15\%$
- b)  $\left(\frac{Et}{Ef}\right) \div X + \frac{Ee}{Ef} \geq Fc\%$

Cada um de seus termos é explicado abaixo (BRASIL, 2006b):

- a) energia da fonte (*Ef*): energia recebida pela central termelétrica co-geradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, com base no conteúdo energético específico, que no caso dos combustíveis é o Poder Calorífico Inferior (PCI);
- b) energia da utilidade eletromecânica (*Ee*): energia cedida pela central termelétrica co-geradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando da energia bruta gerada o consumo em serviços auxiliares elétricos da central;
- c) energia da utilidade calor (*Et*): energia cedida pela central termelétrica co-geradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando das energias brutas entregues ao processo as energias de baixo potencial térmico que retornam à central;
- d) fator de co-geração (*Fc %*): parâmetro definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica co-geradora, o qual aproxima-se do conceito de Eficiência Energética; e
- e) fator de ponderação (*X*): parâmetro adimensional definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica co-geradora, obtido da relação entre a eficiência de referência da utilidade calor e da eletromecânica, em processos de conversão para obtenção em separado destas utilidades.

Os valores de **X** e **Fc** das fórmulas deverão ser aplicados em função da potência elétrica instalada na central de co-geração e da respectiva fonte, obedecida a tabela 3:

Tabela 3: Valores de X e Fc segundo fonte e potência elétrica instalada

<b>Fonte/Potência elétrica instalada</b>	<b>X</b>	<b>Fc%</b>
<b>Derivados de Petróleo, Gás Natural e Carvão:</b>		
Até 5 MW	2,14	41
Acima de 5 MW e até 20 MW	2,13	44
Acima de 20 MW	2,00	50
<b>Demais combustíveis:</b>		
Até 5 MW	2,50	32
Acima de 5 MW e até 20 MW	2,14	37
Acima de 20 MW	1,88	42
<b>Calor recuperado de processo:</b>		
Até 5 MW	2,60	25
Acima de 5 MW e até 20 MW	2,17	30
Acima de 20 MW	1,86	35

(fonte: BRASIL, 2006b)

No caso de queima alternada ou mesclada de diferentes fontes, os valores de “X” e “Fc”, representativos dessa situação, serão obtidos por ponderação dos valores contidos na tabela acima, segundo a participação energética de cada fonte.

#### 5.4 CO-COMBUSTÃO

A co-combustão pode representar uma opção de baixo risco e custo para produção de energia a partir de resíduos da madeira. Esse processo inclui o uso de pelo menos dois combustíveis, com a biomassa perfazendo um total entre 3 e 15% do insumo usado no caso das usinas de eletricidade a carvão (STUCKLEY et al., 2004). Há a opção da colocação dos dois combustíveis juntos ou separados, utilizando câmaras e caldeiras de combustão distintas, com



a combinação de vapores dos dois processos dirigidos para as turbinas, como mostrado na figura 6.

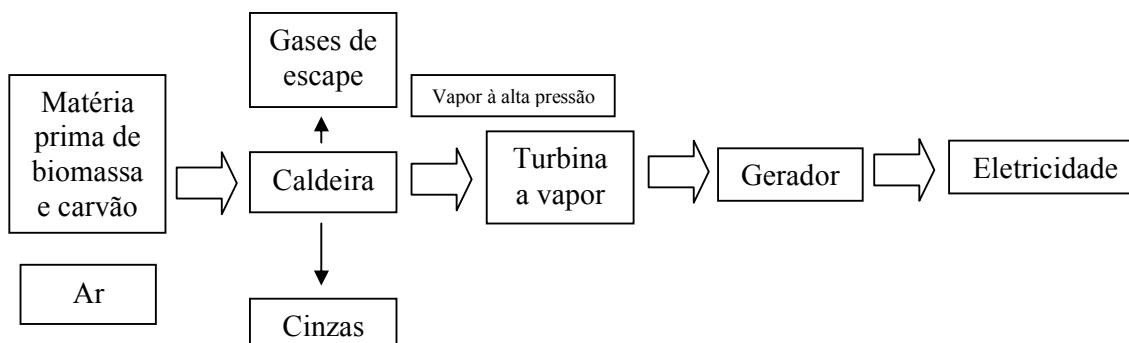


Figura 6: geração de energia a partir de co-combustão de biomassa e carvão (baseado em AUSTRÁLIA, 2005)

Esse método de uso de resíduos de madeira pode se utilizar da infra-estrutura e redes de distribuição das plantas existentes, diminuindo consideravelmente os custos associados à implantação de uma planta totalmente nova. Além de custos menores, a queima de madeira com carvão gera energia com um nível de eficiência termal que é basicamente o mesmo de uma usina que só utiliza carvão. Isso significa que uma proporção muito maior de energia pode ser gerada a partir da madeira pela co-combustão do que seria no caso de uma planta de queima só de biomassa.

As operações de co-combustão suportam um aumento de produção de eletricidade a partir de cada tonelada de matéria-prima, proporcionam um nível de flexibilidade na proporção de biomassa e combustível fóssil utilizada e reduzem a emissão global de gases do efeito estufa. O resíduo de madeira apresenta níveis muito baixos de concentração de enxofre (normalmente 0,05%) e as emissões totais de óxido de nitrogênio se reduzem pela co-combustão. Além disso, há uma diminuição nas taxas de deposição de cinzas (AUSTRÁLIA, 2005).

O sistema também apresenta algumas desvantagens. A mistura de cinzas de madeira e carvão tem usos limitados se comparados tanto as cinzas de madeira ou de carvão puro. Se há um mercado para as cinzas de madeira especificamente, a melhor opção é produzir energia a partir de operações de co-combustão paralelas, com a geração das cinzas separadamente.

As plantas existentes são tipicamente projetadas para a utilização de certos combustíveis fósseis e mudanças para combustíveis de madeira podem requerer uma vazão maior de gás

para alcançar a mesma energia de saída, o que limita o compartilhamento de biomassa que pode ser incluído na mistura de combustível.

Além disso, um dos principais problemas com a co-combustão vem das dificuldades na estocagem e manuseio do produto, já que as plantas já têm toda uma estrutura montada em operação.

## 5.5 COMBUSTÃO RESIDENCIAL

Segundo Hinrichs e Kleinbach (2008), “[...] a queima da madeira nas casas é diferente das operações comerciais ou em larga escala. Nas casas, a madeira é queimada em pedaços, enquanto a indústria utiliza lascas [...]”. Eles complementam ainda que, no caso dos países desenvolvidos, a madeira é mais utilizada principalmente para o aquecimento de ambientes e, em alguns casos, de água, enquanto que, nos países em desenvolvimento, ela é primariamente utilizada para cozimento de alimentos.

Para a melhor queima da madeira em fornos residenciais, é necessário um equilíbrio entre os pedaços colocados, para que haja espaço suficiente para a entrada de ar e, ao mesmo tempo, estes fiquem pertos o suficiente para que haja transmissão de calor entre um e outro. Mesmo com um controle grande sobre o processo, no uso destes fornos, o terceiro estágio da combustão da madeira, que é a queima do carvão vegetal e dos compostos voláteis, dificilmente ocorre.

Algumas recomendações feitas pela *National Energy Foundation* [2008?] e a *Environmental Protection Agency* [2008?] ajudam a aumentar a eficiência deste processo e diminuir a poluição gerada no caso de combustão residencial:

- a) a madeira usada deve estar preferencialmente seca;
- b) o armazenamento da madeira deve ser feito em áreas externas, mantendo-as cobertas e afastadas do chão;
- c) a madeira deve ser queimada até a formação de carvão, e este deve ser amontoado próximo a entrada de ar do fogão, lareira ou forno;
- d) não devem ser queimadas madeiras pintadas e tratadas, por causa da possível liberação de gases tóxicos;

- e) não devem ser queimados compensados, MDF (*medium-density fiberboard*) ou qualquer outro tipo de madeira que use cola como um de seus componentes, também pela possível liberação de gases tóxicos;
- f) não deve ser queimada madeira úmida, podre, verde ou com indícios de mofo, pela possível formação de creosoto na sua combustão;
- g) não deve ser queimada madeira retirada de água salgada, pois o cloro reage com a fumaça criando dioxinas e furanos, compostos cancerígenos;
- h) deve-se fazer pequenas fogueiras, pois assim há maior controle e menor produção de fumaça.

A seguir, é feita uma análise sobre as possibilidades de uso da combustão da madeira para usos residenciais.

### **5.5.1 Aquecimento de Ambientes**

Para o aquecimento de ambientes, a madeira pode ser queimada em lareiras ou fornos localizados em um determinado local da habitação ou em fornos ou caldeiras centrais, para aquecimento de mais de um cômodo. A seguir são analisadas estas duas alternativas possíveis.

#### **5.5.1.1 Lareiras e Fornos**

A figura 7 mostra o funcionamento de uma lareira convencional.

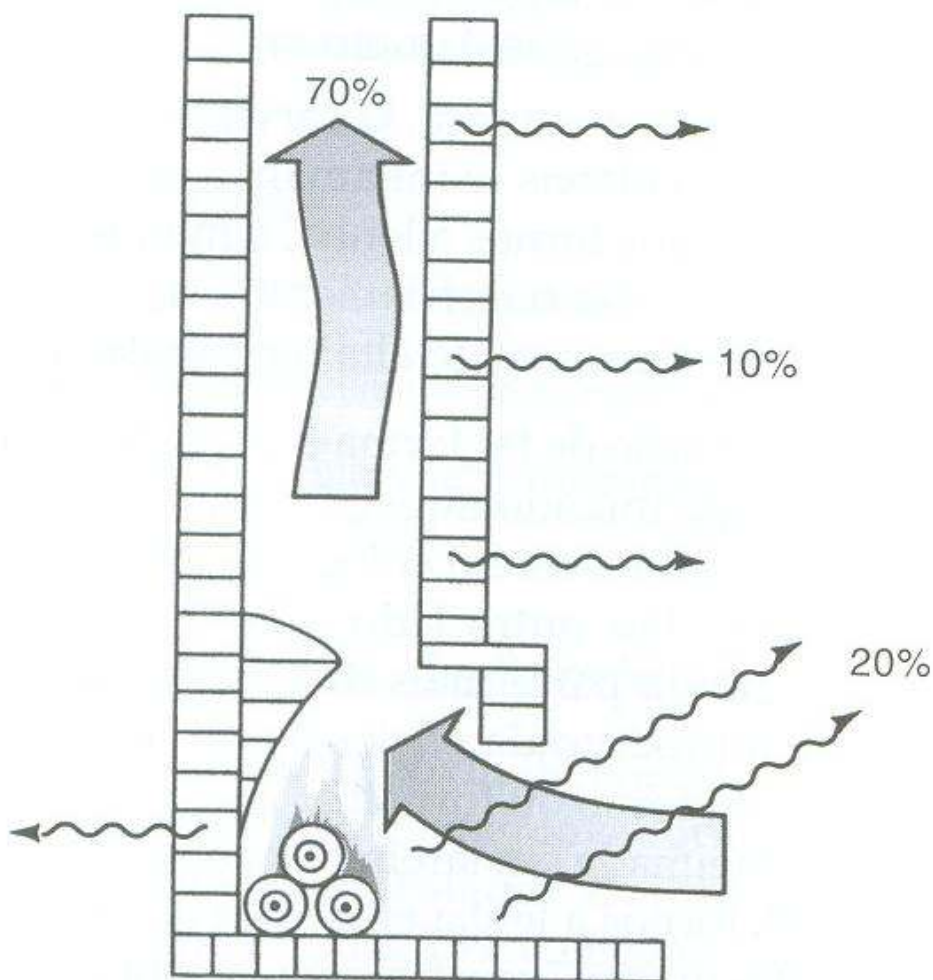


Figura 7: funcionamento de uma lareira convencional (HINRICHS; KLEINBACH, 2008)

Hinrichs e Kleinbach (2008) explicam que, à medida que a madeira é queimada no interior da lareira, energia radiante é emitida para dentro do cômodo enquanto os gases quentes da combustão, que ainda contêm uma grande quantidade de energia química, sobem pela chaminé. O ar para a combustão é retirado do próprio cômodo e deve, então, ser substituído por ar frio externo.

No entanto, o que acontece é que muito mais ar é retirado do cômodo do que é necessário para a combustão da madeira, saindo junto com os gases quentes pela chaminé, diminuindo muito a eficiência deste método. O autor cita três opções para aumentar a qualidade do processo (HINRICHS; KLEINBACH, 2008):

- a) redução da entrada de excesso de ar, através da instalação de portas de vidro na lareira com pequenas aberturas para ventilação na base da parte interna da lareira;
- b) canalização do ar resultante da combustão para fora do cômodo através de tubulações;
- c) posicionamento das achas de madeira de modo a permitir uma queima mais rápida (e não lenta e sem chama) e que concentre a emissão de energia calorífica radiante para dentro do cômodo.

Neste sentido, o forno à lenha exibe uma eficiência maior, já que o calor gerado é absorvido pelas suas paredes de metal, permitindo a transmissão deste para o cômodo. Além disso, é possível queimar os gases resultantes da primeira combustão, que ainda carregam uma grande quantidade de energia. A figura 8 demonstra esse processo, com a combustão secundária acontecendo na câmara superior.

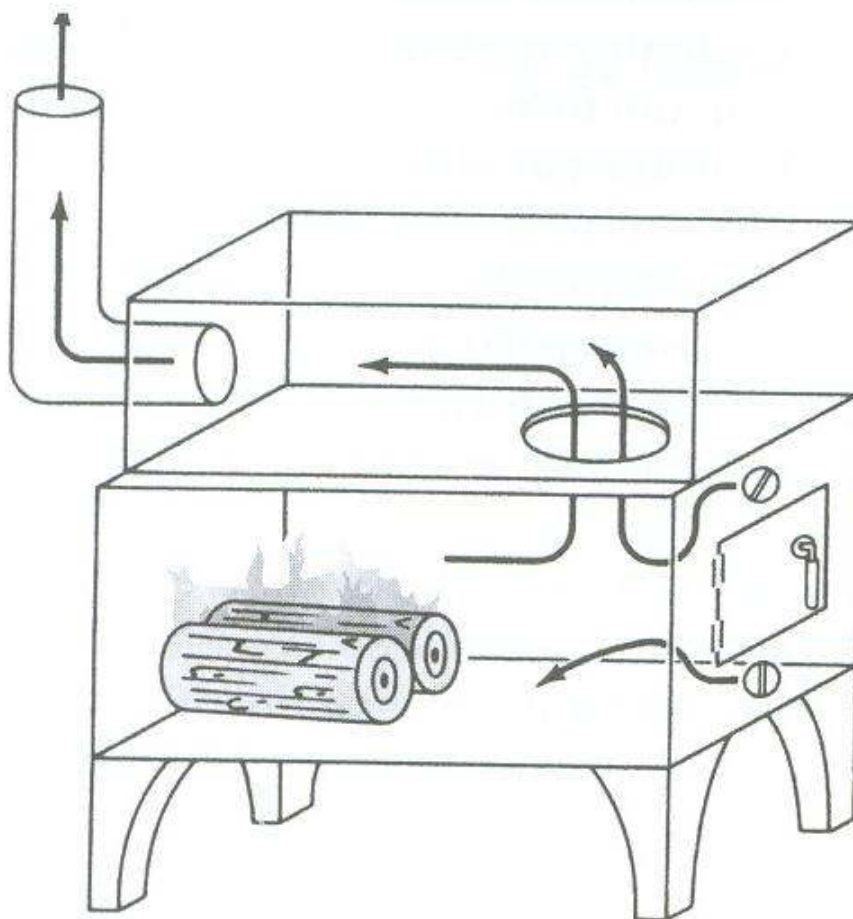


Figura 8: forno à lenha (HINRICHS; KLEINBACH, 2008)

Nestes fornos, deve-se ter cuidado especial com o uso de madeira verde, para não haver um acúmulo de creosoto na chaminé.

Para correta instalação de lareiras e fornos, a *Environmental Protection Agency* [2008?] indica os seguintes cuidados a serem seguidos:

- a) espaçamento adequado entre o forno e o sistema de ventilação e materiais combustíveis;
- b) proteção adequada de pisos feitos de materiais combustíveis;
- c) correta montagem de componentes e aparelhos de ventilação.

As lareiras e fornos comumente utilizados geralmente apresentam um custo de instalação menor em relação ao uso de um forno ou caldeira central. Porém, para uma habitação com vários ambientes, estes não funcionam como uma fonte de calor prática, pois não apresentam muito alcance (PAHL, 2003).

#### 5.5.1.2 Fornos ou Caldeiras Centrais

Como opção para aquecimento central, atingindo vários ambientes, tem-se a opção da instalação de um forno ou caldeira central, que queima a madeira e aquece os cômodos da habitação através do aquecimento de ar ou água e a passagem destes por tubulações.

O sistema é controlado por um termostato. Quando a temperatura desejada é atingida, a combustão é paralisada automaticamente, sendo reiniciada quando há uma queda da mesma. Ainda é possível a utilização do zoneamento, sistema no qual há múltiplos termostatos, permitindo que cada ambiente permaneça em uma temperatura diferente (*CENTRAL HEAT...*).

Segundo Pahl (2003), no caso do uso de ar para distribuição do calor pelos ambientes, a madeira é queimada em um forno e há a transferência do calor produzido para o ar através de um trocador de calor. O ar quente é então distribuído através de canalizações. A desvantagem deste método é que não há um meio de reserva para o calor gerado sendo necessário o contínuo abastecimento do forno para a manutenção da temperatura desejada. No artigo *Central Heat...* é comentado que esse sistema é mais utilizado em casos de clima mais ameno,

onde há a possibilidade do uso das mesmas canalizações conjuntamente a um sistema de ar condicionado.

Na utilização de água para distribuição do calor é utilizada uma caldeira, e a transferência de calor gerada pela queima para a água é feita através de uma camisa-de-água. A camisa-de-água é um espaço fechado, preenchido com água, externo à caldeira, onde há a possibilidade de circulação e bombeamento do fluido. A vantagem da existência da camisa-de-água é que esta serve como proteção contra um possível superaquecimento da caldeira, gerando um menor estresse do material a uma maior vida útil. Além disto, é possível aquecer diretamente a água utilizada na residência a partir da mesma caldeira. Ainda, pode-se instalar um tanque de armazenamento de água para estocar a água já aquecida, para uso posterior (PAHL, 2003). Em comparação ao sistema em que é utilizado ar quente, a água aquecida pode ser bombeada a distâncias maiores, além de utilizar condutos com menores diâmetros (*CENTRAL HEAT...*).

Há a possibilidade da instalação de um forno ou caldeira baseado na queima de madeira conjuntamente a um sistema que funciona a partir da queima de combustíveis fósseis, como carvão e óleo. Apesar de apresentar um alto custo, o sistema pode se tornar interessante se consideradas a flexibilidade operacional e a possibilidade de uso de energia renovável, pelo menos por parte do tempo, além de apresentar mais segurança em caso da falta de um combustível. Ainda, pode-se combinar o sistema de aquecimento central a partir da combustão de madeira com um aparato de captação de energia solar, criando assim um sistema de aquecimento de ambientes e água totalmente a partir de fontes renováveis.

Há ainda a possibilidade do uso de caldeiras externas. Neste caso, é possível aquecer, além de vários ambientes, mais de uma habitação ao mesmo tempo. O sistema é o mesmo de uma caldeira normal, com a utilização de uma camisa-de-água de onde a água é bombeada por tubulações subterrâneas até a habitação. Esse sistema apresenta a vantagem de não produzir emissões atmosféricas dentro de ambientes, mas, por serem normalmente menos controlados do que as caldeiras utilizadas internamente, apresentam uma eficiência global em torno de 20% menor (PAHL, 2003).

Como desvantagens do sistema de aquecimento central, tem-se que é necessário um espaço para armazenamento da madeira a ser utilizada, há o trabalho para alimentação por vezes contínua da caldeira ou forno, e o fato de que as bombas, termostatos e sopradores utilizados necessitam de eletricidade para seu funcionamento.

É interessante, ainda, no caso de aquecimento central interno, a instalação e manutenção de um detector de fumaça, pela possibilidade da ocorrência de um incêndio, e de um detector de monóxido de carbono, para monitoramento dos níveis deste composto no ar.

### 5.5.2 Aquecimento para Cozimento de Alimentos

Nos países em desenvolvimento, a maioria de sua população vive nas áreas rurais onde o cozimento de alimentos responder por cerca de 80% das demandas básicas de energia. Estima-se que 56% da população mundial consome alimentos preparados com o uso de combustíveis como madeira, restos de esterco e colheita, segundo Hinrichs e Kleinbach (2008).

No caso mais rústico, o tipo de forno mais utilizado é o fogareiro de **três pedras**. É fácil de ser construído e, além de ser usado para cozimento, fornece iluminação, aquecimento de ambiente e redução de insetos. Porém, apresenta eficiência muito baixa. Mesmo com o desenvolvimento de novos fogões e fornos a lenha, não houve uma grande aceitação destes, por não apresentarem a característica multiuso do modelo citado.

Nos casos onde há uma maior urbanização e maior uso de modelos novos de fogões e fornos, é utilizado cada vez mais como combustível o carvão vegetal. Este combustível, além de ser mais leve para carregar, apresenta maior conteúdo energético e pode ser utilizado em fornos mais eficientes do que as fogueiras de madeira (HINRICHS; KLEINBACH, 2008).

A energia calorífica utilizada nesta técnica é 20% utilizada no aumento da temperatura dos líquidos até o seu ponto de ebulição, 45% é perdido no recipiente de cozimento e os 35% restantes são usados na vaporização da água (STEWART, 1987).

Na figura 9 são mostrados três tipos de fogões e fornos utilizados para cozinhar com lenha.





Figura 9: exemplos de fogão utilizados (HINRICHS; KLEINBACH, 2008)

Stewart (1987) explica que a maior parte da transferência de calor se dá por meio da radiação a partir das chamas e da transferência convectiva de calor por meio dos gases quentes circulantes. A transferência condutiva de calor para as panelas é pequena, mas a condução é a principal causa de perda de calor através das paredes do forno. Nem todos os fornos precisam de chaminés, esta só sendo utilizada quando a fumaça na área da cozinha é um problema ou quando se precisa de uma corrente de ar. Fornos sem chaminé deixam uma abertura ao redor da segunda panela para permitir que os gases quentes residuais saiam.

### 5.5.3 Fogão Com Gerador de Energia Elétrica

A partir de um projeto realizado pela empresa Damp Electric Engenharia, Torres e Ferragens S.A., do grupo BMG, foi construído um fogão doméstico com a capacidade de gerar e armazenar energia elétrica (figura 10).



Figura 10: fogão com capacidade de gerar e armazenar energia elétrica (HINRICHS; KLEINBACH, 2008)

O aparelho construído tem a capacidade de gerar e acumular eletricidade para acender cinco lâmpadas, ligar um aparelho de televisão e ainda utilizar utensílios de baixo consumo.

Segundo a Damp, o sistema tem um funcionamento simples:

Requere-se a alimentação do combustível (biomassa), enchimento de um pequeno reservatório de água para a geração de vapor e a reposição periódica de lubrificante do motor, através de um borrifador. Periodicamente, deve-se realizar ainda a limpeza da fuligem que é retida e acumulada sob a chapa de cozimento, na parte superior do fogão.

O sistema consiste em um circuito térmico, um circuito mecânico e um circuito elétrico. Há o aquecimento da chapa superior de ferro fundido para cozimento por contato com a panela e, simultaneamente, a geração de uma corrente elétrica que alimenta uma bateria estacionária, que acumula a energia gerada.

É produzido vapor a baixa pressão através de um ciclo térmico, mediante um trocador de calor interno da câmara de combustão. É, então, acionado um motor a pistão e um sistema de engrenagens, que produz rotações em um eixo acoplado a um ímã permanente e alternador, capaz de gerar uma corrente elétrica. A partir da bateria alimenta-se um circuito elétrico, que chega a ter uma carga total de até 305 W.

Os principais benefícios deste sistema citados pela empresa são os seguintes:

- a) em relação à saúde humana, o fogão exibe um formato para inibir a circulação da fuligem nos ambientes internos e externos da casa, com a retenção desta entre as chapas do fogão;
- b) no campo da eficiência energética, a economia da madeira é na ordem de 35% a 50%, resultante da queima completa da biomassa, em decorrência do formato da câmara de combustão, que faz com que os voláteis pirolisados pela radiação e o ar passem pela grelha onde ocorre o craqueamento, forçando os gases resultantes da queima a passarem então por uma região adiabática que apresenta condições de tempo e temperatura onde a reação de combustão se completa;
- c) relativo ao aspecto ambiental, o fogão apresenta uma grande redução na emissão de monóxido de carbono lançado na atmosfera, eliminando a emissão de gases tóxicos e reduzindo a concentração de monóxido de carbono e voláteis não queimados.

## 5 ANÁLISE FINAL E CONCLUSÕES

Após a análise feita sobre a madeira, com exposição de suas características pertinentes, relativas ao uso ao qual foi sugerido neste trabalho, pode-se concluir que este material, oriundo ou não dos resíduos da construção civil, possibilita uma ampla utilização nos mais variados métodos para geração de energia.

Apesar de apresentar um poder calorífico menor se comparado a outros combustíveis, como os fósseis, outros fatores, como a disponibilidade espacial e a facilidade de obtenção, fazem da madeira um combustível extremamente competitivo em qualquer escala em que se der o seu uso. Ainda, como fator determinante, tem-se que a madeira é um recurso renovável e, desde que aproveitado e utilizado de uma maneira sustentável, serve como uma fonte infinita de recursos.

Todos os métodos analisados para uso em escala industrial já apresentaram viabilidade técnica e financeira comprovadas, por já estarem sendo utilizados, de maneiras similares às citadas neste trabalho, em várias partes do mundo. O consenso que se chega a partir do estudo dessas tecnologias é que, para se tornarem ainda mais competitivos financeiramente, é necessário um aumento na eficiência na geração da energia, pois são observadas muitas perdas neste processo.

Em relação aos meios de geração de energia para uso residencial, a idéia do uso da madeira como combustível é consagrada, não se tendo dúvidas sobre sua viabilidade tanto técnica quanto financeira. Atualmente, o uso de outros combustíveis nestes casos como gás e óleo, é muito difundido, principalmente em países mais desenvolvidos, mas em escala muito reduzida se comparado a utilização da queima da madeira.

Para o meio de separação e transporte, deve-se considerar para qual fim o material vai ser utilizado. Em caso de uso industrial, o que tem se tornado mais viável, conforme experiência da empresa canadense Boralex Inc., é o recolhimento dos resíduos gerados nos canteiros de obra para uma central de triagem para a separação da madeira. Nesta central, seria feita a briquetagem do material para posterior transporte para a usina geradora. Há a possibilidade da coleta da madeira diretamente dos canteiros de obra, a qual acarretaria menores custos de

transporte, mas isso exigiria uma separação dos resíduos já na própria obra. Sabe-se que esta prática não tem sido comumente adotada, tornando esta alternativa inviável.

No caso do uso residencial, o mais interessante financeiramente seria a coleta do material pelo usuário diretamente em uma central de resíduos, após a separação deste. Como não se tem relatos deste tipo de transação, pode-se identificar como melhor alternativa a compra da madeira já separada por um fornecedor central e, a partir deste, a venda do resíduo para os consumidores. Deve-se ressaltar que, para este uso, a madeira deve estar livre de qualquer tipo de produto que possa gerar emissões tóxicas.

## REFERÊNCIAS

AMERICANA. Projeto de Lei n. 019/2005, de 23 de fevereiro de 2005. Dispõe sobre a responsabilidade da destinação de resíduos da construção civil no Município e dá outras providências. Americana, SP. Disponível em: <<http://www.camara-americana.sp.gov.br/camver/pllegi/050019.doc>>. Acesso em: 23 ago. 2008.

AUSTRÁLIA. National Association of Forest Industries. **Report 4 - Converting Wood Waste into Renewable Energy: a Summary of Biomass Energy Conversion Technologies**. Canberra, Austrália, 2005. Disponível em: <<http://www.nafi.com.au/Report%204.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Relatório Estatístico Florestal 2005**. São Paulo, 2006. Disponível em: <[http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/Bracelpa-Relatorio\\_Estatistico\\_Florestal-2005.pdf](http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/Bracelpa-Relatorio_Estatistico_Florestal-2005.pdf)>. Acesso em: 14 jun. 2008.

BRAND, M. A. Contribuição dos resíduos de pinus para a geração de energia na região sul do Brasil. **Revista da Madeira**. Caxias do Sul, n. 83, ago. 2004. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/pt/revista\\_materia.php?edicao=83&id=617](http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=83&id=617)>. Acesso em: 18 set. 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, DF. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 5 jun. 2008.

\_\_\_\_\_. Ministério das Minas e Energia. Secretaria de Energia. **Balanco Energético Nacional 2006**. Brasília, 2006a. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2006\\_Versao\\_Completa.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2006_Versao_Completa.pdf)>. Consulta realizada em 30 de janeiro de 2007.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa n. 235, de 14 de novembro de 2006b. Estabelece os requisitos para a qualificação de centrais termelétricas cogeneradoras de energia e dá outras providências. Brasília, DF. Disponível em: <[www.aneel.gov.br/cedoc/ren2006235.pdf](http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2006235.pdf)>. Acesso em: 16 ago. 2008.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Usos Diretos e Propriedades da Madeira para Geração de Energia**. IPEF Circular Técnica nº 52, 1979. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr052.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2008.

BRITO, J. O. **O Uso Energético da Madeira**. 2007. Disponível em: <<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/SBS-2005.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2008.

CENTRAL HEAT from wood, pellets, corn or coal. Disponível em: <[http://www.hearth.com/econtent/index.php/articles/central\\_heat](http://www.hearth.com/econtent/index.php/articles/central_heat)>. Acesso em: 5 nov. 2008.

DAMP ELECTRIC. BMG Lux. Sabará, [2008?]. Disponível em: <<http://www.damp.com.br/bmglux.html>>. Acesso em: 13 out. 2008.

ELIAS, J. Resíduo de madeira utilizado para gerar energia. **Revista da Madeira**. Caxias do Sul, n. 80, abr. 2004. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/pt/revista\\_materia.php?edicao=80&id=533](http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=80&id=533)>. Acesso em: 16 jun. 2008.

FERREIRA, O. P. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003. Disponível em: <<http://www.ipt.br/areas/ctfloresta/lmpd/manual/>>. Acesso em: 28 set. 2008.

FOREST AND WOOD PRODUCTS RESEARCH AND DEVELOPMENT CORPORATION. **Bioenergy: a future for the Australian Forest Industry**. Melbourne, Austrália, 2001. Disponível em: <<http://www.fwprdc.org.au/content/pdfs/WFI%20A%20future%20for%20the%20Australian%20forest%20industry.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2008.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. **Energia e Meio Ambiente**. São Paulo: Thomson, 2008.

NATIONAL ENERGY FOUNDATION. The Log Pile Website. Milton Keynes, [2008?]. Disponível em: <[www.nef.org.uk/logpile/](http://www.nef.org.uk/logpile/)>. Acesso em: 17 out. 2008.

PAHL, G. **Wood-fired Central Heat**. Mother Earth News. Fevereiro/março 2003. Disponível em: <<http://www.motherearthnews.com/Do-It-Yourself/2003-02-01/Wood-Fired-Central-Heat.aspx>>. Acesso em 2 nov. 2008.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Laboratório de produtos florestais LPF/IBAMA. Módulo do Curso “Capacitação de agentes multiplicadores em valorização da madeira e dos resíduos vegetais”, 2000. Disponível em: <[www.funtec.org.br/arquivos/aproveitamento.pdf](http://www.funtec.org.br/arquivos/aproveitamento.pdf)>. Acesso em 5 out. 2008.

ROY, J. **C&D wood fuel quality: a customer viewpoint**. Construction and Demolition Recycler. 2002. Disponível em: <[http://findarticles.com/p/articles/mi\\_m0KVT/is\\_1\\_4/ai\\_83666240?tag=artBody;coll1](http://findarticles.com/p/articles/mi_m0KVT/is_1_4/ai_83666240?tag=artBody;coll1)>. Acesso em: 15 maio 2008.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. Fatos e Números do Brasil Florestal. Brasil, 2007. Disponível em: <<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/SBS-2005.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2008.

STUCKLEY, C. R.; SCHUCK, S. M.; SIMS, R. E. H.; LARSEN, P. L.; TURVEY, N. D.; MARINO, B. E. Biomass energy production in Australia: status, costs and opportunities for major technologies. Canberra, Austrália, 2004. Disponível em: <<http://www.rirdc.gov.au/reports/AFT/04-031.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2008.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Cleaner Burning Wood Stoves and Fireplaces. Washington, [2008?]. Disponível em: <[www.epa.gov/woodstoves/index.html](http://www.epa.gov/woodstoves/index.html)>. Acesso em: 22 out. 2008.