

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Carvão de Babaçu como Fonte Térmica para Sistema de Refrigeração por Absorção no Estado do Maranhão

Autor: Ubiraci Silva Nascimento
Orientador: Prof. Dr. Jorge Isaías Llagostera Beltran

Curso: Engenharia Mecânica
Área de Concentração: Refrigeração e Condicionamento Ambiental

Trabalho Final de mestrado profissional submetido à Comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção de Título de Mestre em Engenharia Mecânica/Refrigeração e Condicionamento Ambiental

Campinas - SP

Fevereiro/2004

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA - FEM
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Trabalho Final de Mestrado Profissional

Carvão de Babaçu como Fonte Térmica para Sistema de Refrigeração por Absorção no Estado do Maranhão

Autor: Ubiraci Silva Nascimento

Orientador: Prof. Dr. Jorge Isaías Llagostera Beltran

**Prof: Dr. Kamal A. R. Ismail - UNICAMP
(Presidente)**

**Prof: Dr. Valdemar Silva Leal - UEMA
(2º Membro)**

**Prof: Dr. Waldemir Silva de Lima - UEMA
(3º Membro)**

Campinas, Fevereiro de 2004.

Dedicatória:

À minha esposa

Sandra Maria da Costa Cruz, por compartilhar sua vida à minha.

Agradecimentos

Neste espaço reservado, faço meus agradecimentos:

A Deus, por sempre me acompanhar, em todos os momentos difíceis, e felizes da minha vida.

À minha esposa Sandra Maria Cruz Nascimento, que sempre me ajudou e esteve ao meu lado na elaboração deste trabalho.

Ao Prof Dr. Jorge Llagostera, pela colaboração na orientação, sugestões, conhecimentos transmitidos e confiança em mim depositada.

Ao Prof Dr. Waldemir, que pelo companheirismo, e competência, soube conduzir o curso de mestrado até a montagem desta Dissertação.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram e auxiliaram em todas as fases da minha vida.

Aos meus filhos: Pablo, Ubiraci Filho e João Pedro, esperança de futuros profissionais competentes.

Aos amigos: Luís e Aldo solidários no fechamento do trabalho.

Finalmente aos colegas do curso de Refrigeração e Condicionamento Ambiental, pela troca de experiências nos momentos finais de conclusão do trabalho.

"Em momentos de crise, só a
imaginação é mais importante que o
conhecimento"

(Albert Einstein)

Resumo

NASCIMENTO, Ubiraci Silva, Carvão de Babaçú como Fonte Térmica para Sistema de Refrigeração por absorção no Estado do Maranhão, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004. 82p. Trabalho Final de Mestrado Profissional.

Neste trabalho procurou desenvolver-se uma análise teórica da utilização integral do babaçu como fonte energética, procurando dar ênfase às potencialidades agregadas ao carvão. Foi realizado um estudo de caso em municípios maranhenses, visando diagnosticar aspectos que relacionam o homem do campo a essa importante fonte de biomassa. O sistema de refrigeração consta de um acoplamento do forno acionado com carvão de babaçu uma geladeira de absorção tipo Platen-Munters, através de um termosifão bifásico fechado. Os resultados obtidos decorreram de uma análise comparativa a um experimento já realizado com um sistema similar, movido a um fogão à lenha, onde percebe-se claramente uma melhoria significativa da eficiência do sistema proposto.

Palavras Chave

— Babaçu, Biomassa, Carvão, Sistema de Refrigeração por absorção.

Abstract

NASCIMETO, Ubiraci Silva, Coal of Babassu as Thermal Source for System of Refrigeration for absorption in the State of the Maranhão, Campinas,: College of Engineering Mechanics, State University of Campinas, 2004. 82p. Final Work of Professional Mestrado.

In this work a theoretical analysis of the integral use of babaçu looked for to develop itself as energy source, looking for to give emphasis to the aggregate potentialities to the coal. A study of case in maranhenses cities was carried through, aiming at to diagnosis aspects that relate the man of the field to this important source of biomass. The refrigeration system consists of a coupling of the oven set in motion with coal of babassu an absorption refrigerator Platen-Munters type, through a closed two-phase thermosiphon. The gotten results had elapsed of a comparative analysis to a carried through experiment already with a similar system, moved to a stove to the firewood, where a significant improvement of the efficiency of the considered system is perceived clearly.

Words Key

Babassu, Biomass, Coal, System of Refrigeration for absorption

ÍNDICE

Lista de Figuras

Lista de quadros

Lista de abreviaturas/siglas

Lista de anexos

CAPÍTULO 01– INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO 02 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	07
2.1– A palmeira do babaçu.....	07
2.2 – Biomassa, avaliação técnica e econômica	14
2.3 – Sistema de refrigeração por absorção	20
CAPÍTULO 03 – ANÁLISE TEÓRICA DA UTILIZAÇÃO INTEGRAL DO BABAÇÚ COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA.....	22
3.1 – O coco do babaçu.....	22
3.2 – Tecnologia da produção e uso do carvão de babaçú	31
3.3 – Mercado e análise do carvão de babaçú no Brasil.....	38
3.4 – Análise de um estudo de caso no Maranhão.....	42
CAPÍTULO 04 – O SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO: ACIONAMENTO DE UMA GELADEIRA	48
4.1 – O forno como equipamento térmico.....	48
4.2 – O termosifão bifásico fechado.....	54
4.3 – Princípios dos sistemas de refrigeração (geladeira tipo Platen-Munters).....	63
4.4 – Acoplamento dos três sistemas (resultados da comparação).....	72
4.5 – Estrutura sistêmica da proposta.....	76
CAPÍTULO 05 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
ANEXOS	

Lista de figuras

Figura 01 – Áreas de ocorrência do Babaçu no Brasil.....	08
Figura 02 – Localização dos Municípios visitados do Maranhão.....	09
Figura 03 – Tamanho e composição médios de frutos do Babaçu colhidos em cinco Estados.....	22
Fluxograma 01 – Divisão do coco babaçu.....	27
Fluxograma 02 - Produtos alternativos do babaçu.....	33
Figura 04 – Balanço de energia para o teste de maior eficiência.....	52
Figura 05 – Projeto de nova câmara para o fogão.....	53
Figura 06 – Formato do termosifão utilizado.....	58
Figura 07 – Detalhe da montagem do termosifão.....	61
Figura 08 – Esquema de um sistema de refrigeração por absorção periódico.....	64
Figura 09 - Equilíbrio de pressão e temperatura no processo de absorção periódico	65
Figura 10 – Esquema de uma máquina de refrigeração por absorção e operação contínua	66
Figura 11 – Ciclo teórico de uma máquina de absorção de operação contínua.....	67
Figura 12 – Esquema de um sistema de refrigeração do tipo Planten-Munters.....	70
Figura 13 – Montagem final de acoplamento forno-termosifão e geladeira.....	74
Fluxograma 03 – Estrutura sistêmica da proposta.....	77

Lista de quadros

Quadro 01 - Área de ocorrência do Babaçu no Brasil	08
Quadro 02 – Maranhão – Área de ocorrências – Principais Regiões.....	09
Quadro 03 – Distribuição da população de palmeiras produtivas	11
Quadro 04 - Distribuição média da população de palmeiras produtivas	11
Quadro 05 - Período de safra do babaçu.....	12
Quadro 06 – Composição do coco de Babaçu	23
Quadro 07 - Composição do mesocarpo	23
Quadro 08 - Composição da amêndoa do Babaçu.....	24
Quadro 09 - Composição do Epicarpo e do Endocarpo	24
Quadro 10 - Composição do Epicarpo e do Endocarpo	25
Quadro 11 - Produtividade anual do babaçu	25
Quadro 12 - Potencial produtivo estimado do coco e seus produtos derivados	28
Quadro 13 - Resultados da industrialização do coco babaçu da cana de açúcar e mandioca	29
Quadro 14 - Rendimento do endocarpo em função da temperatura	35
Quadro 15 - Composição dos gases – carbonização do Endocarpo	36

Quadro 16 - Consumo de Carvão metalúrgico/ano	38
Quadro 17 - Consumo de coque fino	39
Quadro 18 - Consumo de carvão para produção de ferro-ligas	39
Quadro 19 - Produção/ano de coque nacional e importado	40
Quadro 20 - Demanda potencial do babaçu	40
Quadro 21 – Comparação das características do carvão de babaçu.....	41
Quadro 22 - Análise de Carvão de Babaçu.....	41
Quadro 23 - Poderes caloríficos superiores.....	42
Quadro 24 - Estrutura de posse da terra nos municípios pesquisados.....	45
Quadro 25 – Eficiências médias das painéis e total.....	51
Quadro 26 – Eficiência do fogão comum e modificado.....	54

Lista de Abreviaturas / Siglas

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias

EMAPA - Empresa Maranhense de Pesquisas Agropecuárias

EMATER/MA - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural

INT - Instituto Nacional de Tecnologia

SAGRIMA - Secretaria de Agricultura do Estado do Maranhão

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia Estatística.

IPEI/MA - Instituto de pesquisas Econômicas-Sociais e Informática do Maranhão

AGRIMA - Carioca Agrícola e Industrial do Maranhão

TOBASA - Tocantins Óleo de Babaçu S/A

PROJECTA - Projetos, Pesquisas, Consultoria

MIC - Ministério de Indústria e Comércio

CIT - Companhia Industrial Técnica

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

CTA - Centro Técnico Aeroespacial

CSN - Companhia Siderúrgica Nacional

CONSIDER - Companhia Nacional de Siderurgia

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

SUDAM –Superintendência do desenvolvimento da Amazônia.

Lista de Anexos

TABELAS DE BIOMASSA

CAPÍTULO 1

Introdução

O homem é um ser social e como tal, necessita satisfazer suas necessidades básicas para sobreviver: A alimentação, respiração, descanso, trabalho, educação, saúde e lazer e outras são componentes que devem está estreitamente vinculadas à melhoria dos índices de desenvolvimento humano (IDH) de uma sociedade.

As necessidades energéticas de uma sociedade (para cocção, locomoção, refrigeração, etc), assim como os modos de satisfação dessas necessidades e as capacidades energéticas dos equipamentos capazes de satisfazê-las, dependem portanto das características estruturais de cada sociedade: formas de interação social, contexto histórico e ecológico, dinâmica espacial das atividades, valores, instituições e outros.

Autores contemporâneos, por suas visões nos campos ambiental e estratégico, despertaram o interesse na pesquisa, como *D'Ávignon* (1993), ao afirmar que “*o ser humano, ao longo da história, usou a energia para o seu desenvolvimento*”. Nesse início de século, novamente cumpre um papel-chave. Se não formos capazes de desenvolver tecnologias que permitam o uso em grande escala de energias renováveis e não-contaminantes, corremos o risco de comprometer de forma irreversível a qualidade ambiental da vida do nosso planeta e, em consequência, todos os seres vivos estarão ameaçados de extinção.

Com o advento da crise energética sofrida pelo nosso país nos últimos anos, se faz necessário o estudo de viabilização de fontes alternativas de energia, que venham não substituir à elétrica, mas diversificar a tal ponto de se utilizar em alguns setores da indústria, comércio e residências ramificações variadas de materiais e ou recursos naturais que possam contribuir em diversos níveis de escalas em proporções quaisquer, desde que seja economicamente viável sua utilização.

Foi dentro dessa perspectiva que resolvemos desenvolver este estudo sobre a viabilidade da utilização da biomassa do “babaçu” na geração de energia para uso no meio rural.

O babaçu (*Orbignya Phalerata Martius*) escolheu o Maranhão para aqui fincar suas raízes e distribuir sua influência nas áreas econômica, social e política. O Maranhão escolheu o babaçu como sua principal espécie vegetal: entretanto, a influência do Estado sobre a planta, não a fez diferente ao longo dos anos e, também dela não extraiu o máximo possível e viável.

Uma visão global da problemática tecno-sócio-econômica do uso do babaçu como matéria-prima para a obtenção do carvão e outros produtos industriais já se constituía uma necessidade, tendo em vista o seu potencial e as carências energéticas nacionais de combustíveis fósseis e de carvão metalúrgico.

Apesar do babaçu já vir sendo explorado para a obtenção de óleo há mais de meio século, o desconhecimento técnico de vários de seus aspectos é muito grande. Estas impressões não enfraquecem, entretanto, a análise da enorme potencialidade que representa para o Maranhão esta importante riqueza renovável.

O babaçu desponta hoje como uma das melhores alternativas para acelerar nossa independência energética, em termos de petróleo e carvão mineral. Cumpre-nos torná-lo uma realidade. E isto poderá ser conseguido num prazo não muito longo, através de um plano integrado, visando o seu aproveitamento total.

Tal afirmação está fundamentada no potencial energético que representa esta riqueza nativa, a qual já vem sendo estudada desde há muito tempo, porém nem sempre abordada de maneira global. Hoje, face aos altos preços dos combustíveis, principalmente do petróleo e do carvão mineral, e também face aos programas de desenvolvimento de novas fontes de energia, o babaçu vem ganhando destaque, justificando plenamente a oportunidade de mais este trabalho no campo das alternativas energéticas de fontes renováveis.

Estima-se que o potencial produtivo do babaçu situa-se acima de uma dezena de milhões de toneladas de coco por ano, o que poderá permitir uma produção anual de cerca de 1 bilhão de litros de álcool, quase 2 milhões de toneladas de carvão, meio milhão de toneladas de óleo, mais de 2 bilhões de m³ de gás combustível e cerca de 1,5 milhões de toneladas de epicarpo (combustível primário), May (1990).

Um resultado imediato da industrialização integral de coco pode ser avaliado através da energia contida nesses produtos acima mencionados, cujo potencial energético global poderá atingir cerca de 40 bilhões de Mega-calorias por ano, o que equivale a uma potência instalada de, aproximadamente, 5 mil Mega-Watts, operando 24 horas por dia durante todo um ano.

Entre as diversas alternativas tecnológicas para o aproveitamento das partes do coco de babaçu, a que apresenta no momento o maior potencial para se desenvolver e ao mesmo tempo satisfazer os anseios da nação na busca de novas formas de energia, é aquela que utiliza o mesocarpo para produção de álcool, o endocarpo para produção de carvão e gases, a amêndoa para produção de óleo - com possível aplicação em motores Diesel - e o epicarpo para utilização direta como combustível primário.

Estudos tecnológicos para a produção do carvão já vem sendo desenvolvidos por alguns órgãos governamentais e empresas, tendo-se em vista a substituição parcial ou total de derivados do coque metalúrgico.

O endocarpo, um dos componentes do coco de babaçu, já vem sendo aproveitado em escala industrial, por empresa no Maranhão, para produção de carvão cuja qualidade é comparável aos melhores coques importados, tendo, inclusive, seu emprego sido assegurado por empresas de ferro-ligas e com boas possibilidades na indústria de fundição. Várias pesquisas, no sentido de se produzir um carvão de babaçu de alta qualidade estão em andamento na SIDERBRAS, com boas perspectivas de substituir o coque importado utilizado em suas grandes usinas.

Estima-se que no Estado do Maranhão a produção anual de coco de babaçu seja de 15 milhões de toneladas. Desse total, apenas 2,6 milhões de toneladas (17% do total) estaria sendo aproveitadas.

Com base nessa estimativa, pode-se inferir que a produção do endocarpo no estado é de aproximadamente 8,8 milhões de toneladas e que apenas 1,5 milhões estariam disponíveis para a produção de carvão, pois essa seria a quantidade que resulta dos cocos que são quebrados por ano. Portanto o **problema** que nos motivou a realização desse trabalho constitui em: Como utilizar a carvão do babaçu como energia alternativa para acionar um sistema de refrigeração?

O **objeto** de nosso estudo é utilização de energia alternativa limitando o campo de ação a biomassa do babaçu (carvão) no acionamento de um sistema de refrigeração.

Constitui portanto, o **objetivo** geral desse trabalho, desenvolver um estudo para acionamento de um sistema de refrigeração através do carvão do babaçu. Para tal, tratamos de analisar e caracterizar a biomassa do babaçu nos cenários nacional e local, elaborando um estudo de caso em 04 (quatro) municípios maranhenses, com o propósito de avaliar alguns aspectos socio-econômicos e potenciais do carvão.

Acreditamos na **hipótese** de que a utilização do carvão do babaçu poderá acionar um sistema de refrigeração, proporcionando uma alternativa na diversificação do uso da energia convencional.

Para alcance eficiente do objetivo nos propomos desenvolver, as seguintes **tarefas**:

- 1 - Analisar teoricamente o potencial energético alternativo do coco babaçu para seu aproveitamento integral.
- 2 - Estabelecer os indicadores para a tecnologia da produção, uso e mercado do carvão.
- 3 - Diagnosticar através de um estudo de caso aspectos que relacionam o homem rural e o carvão produzido no Maranhão.

- 4 - Avaliar um sistema de refrigeração acionado pelo carvão de babaçu.
- 5 - Sugerir o uso do mesmo de maneira sistêmica nas comunidades rurais do Maranhão como proposta de melhoria dos (IDHs).

No desenvolvimento destas tarefas foram utilizadas diferentes métodos de investigação: métodos de caráter teóricos (histórico-lógico, análise-síntese, e o sistêmico-estrutural) e métodos empíricos (questionário, observação direta e entrevista à especialistas).

Para tal foram visitados 04 (quatro) municípios do Maranhão, sem haver necessidade de ampliar a amostra, pois constatamos a uniformidade nos resultados que íamos colhendo.

O **Aporte teórico** está na concepção de um sistema de refrigeração acionado a carvão de babaçu que é produzido num forno, acoplado a uma geladeira através de um termosifão bifásico fechado (análise comparativa).

O **significado prático** desse trabalho, constitui-se na otimização do sistema, atendendo tanto o caráter da produção do carvão com melhor quantidade e qualidade, quanto no acionamento de uma geladeira por absorção.

A atualidade é que trata do uso alternativo de energia de biomassa em tempos de crise energética convencional.

Novidade é a existência de um trabalho científico sobre biomassa a ser inserido nas pesquisas da UEMA.

Nosso estudo está estruturado em 05 (cinco) capítulos:

O **capítulo 02**, trata de um estudo bibliográfico a respeito, tanto da palmeira do babaçu, quanto da biomassa e do sistema de refrigeração por absorção, procurando sempre dar ênfase ao sistema final proposto.

Uma análise teórica da utilização integral do babaçu como alternativa energética foi tratada no **capítulo 03**, onde se mostra a composição, produtividade e potencial produtivo e energético do coco, além da tecnologia da produção, uso e mercados para o carvão, no mesmo capítulo foram relatadas as regularidades diagnosticadas no estudo de caso.

O capítulo 04, apresentamos nossa proposta propriamente dita, trata-se da viabilidade do acionamento de uma geladeira de absorção (gás ou querosene), através da queima do carvão do babaçu, num forno projetado para fins de queima do carvão, ligados por um termosifão bifásico fechado. O trabalho não é de caráter experimental, mas de análise comparativa a um sistema já proposto e experimentado em condições similares podemos avaliar ainda nesse capítulo, alguns aspectos do conjunto acoplado, que diz respeito a resultados relativos a fluxo de calor e massa, os níveis de temperatura considerados e cálculo da eficiência do sistema,. Apresenta-se ao final um modelo sistêmico estruturado de todas as, etapas desse projeto.

Finalmente o **capítulo 05** apresentamos algumas conclusões sobre o trabalho como um todo, além de sugestões para estudos mais específicos de caráter experimental com todos os equipamentos utilizados: forno, termosifão e geladeira.

CAPÍTULO 02 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – A Palmeira do Babaçu

O babaçu, planta da família dos palmáceas, é nativo da região Centro-Norte brasileira, onde se localiza sua principal ocorrência, constituindo-se em espécie altamente dominadora, formando grandes matas, às vezes homogêneas, às vezes em concorrência com outras espécies. É nos estados do Goiás e, principalmente, Maranhão que o babaçu assume importante expressão econômica, May (1990).

A palmeira foi sempre considerado uma das maiores riquezas do País, com existência quantificada em “bilhões” de toneladas de coco. Há, sem dúvida, muita palmeira - talvez bilhões -mas de tal forma adensadas que se estabelece grande concorrência entre elas, o que constitui uma das prováveis causas da baixa produtividade dos babaçuais. Na literatura Menciona-se a existência de 10 a 40 bilhões de palmeira, incluindo-se todas as espécies ocorrentes no Brasil. Esta literatura, representada na maioria dos casos por trabalhos carentes de bases científicas suficientemente sólidas, generaliza a crença que a região dispõe de inesgotável potencial desta matéria-prima.

Até o presente momento, desconhece-se a existência de estudos rigorosos que objetivassem a avaliação do potencial florestal do babaçu. Recentemente; alguns trabalhos criteriosos, porém, regionais, foram levados a efeito e os resultados, apesar de apresentarem certas discrepâncias, uns em relação aos outros, provavelmente devidas ao caráter específico de cada um, conseguem refletir um panorama bastante aproximado da área coberta, densidade e produtividade dos babaçuais.

As áreas de ocorrências de babaçuais estendem-se de forma descontínua por 9 (nove) Estados, sendo que aproximadamente 2/3 se encontram no Maranhão, conforme pode-se verificar pelo mapa a seguir, que dá uma idéia da distribuição geográfica dos babaçuais, assim como através dos valores apresentados no **quadro 01**.

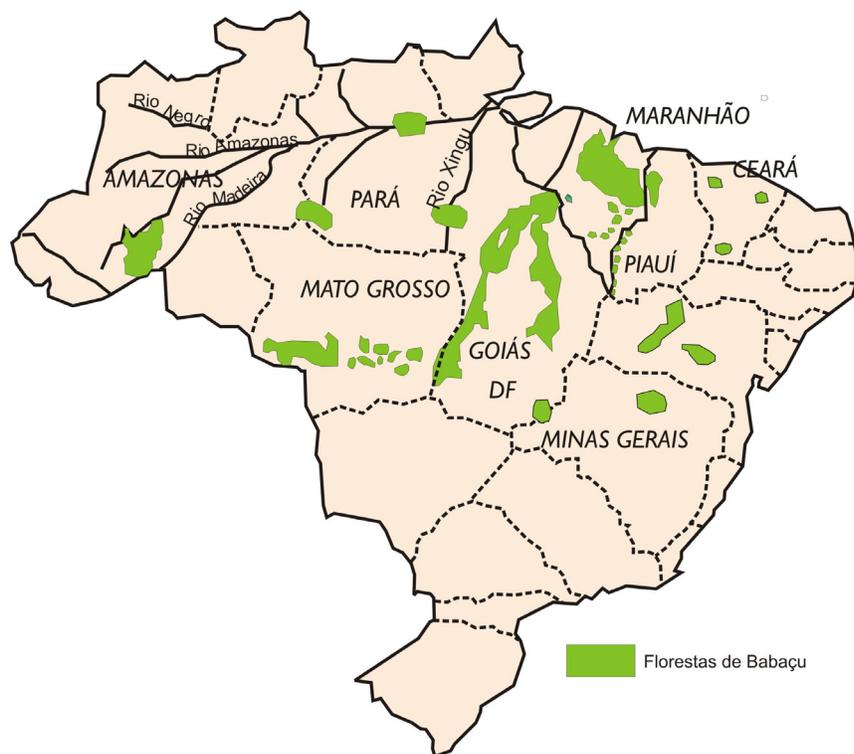


Figura 01 – Áreas de ocorrência do Babaçu no Brasil, May P. Herman (1990).

QUADRO – 01 ÁREA DE OCORRÊNCIA DO BABAÇUAL NATIVO, SAGRIMA (1976)
 ÁREA: (10³ ha)

ESTADO	(1)	(2)	(3)	(4)	MÉDIA
Maranhão	12.100	10.000	8.500	8.665	9.816
Piauí	1.200	11.200	1.200	300	3.475
Mato Grosso	1.500	2.000	800	2.000	1.575
Goiás	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Minas Gerais	1.000	1.000	-	1.000	1.000
Outros	700	480	2.500	280	990
Amazonas	-	200	-	50	125
Pará	-	200	-	200	200
Bahia	-	50	-	-	50
Ceará	-	30	-	30	30
BRASIL	17.500	15.680	14.000	13.245	15.106

O Estado do Maranhão participa, em média, com cerca de 65% da área nacional de ocorrência do babaçu, o que representa 30% da superfície do Estado. A área ocupada pelas palmeiras nas Regiões Ecológicas de Cerrado, Cocais e Baixada correspondem a 25% da superfície deste Estado, congregando as citadas Regiões aproximadamente 80% da produção de amêndoas. May (1990)

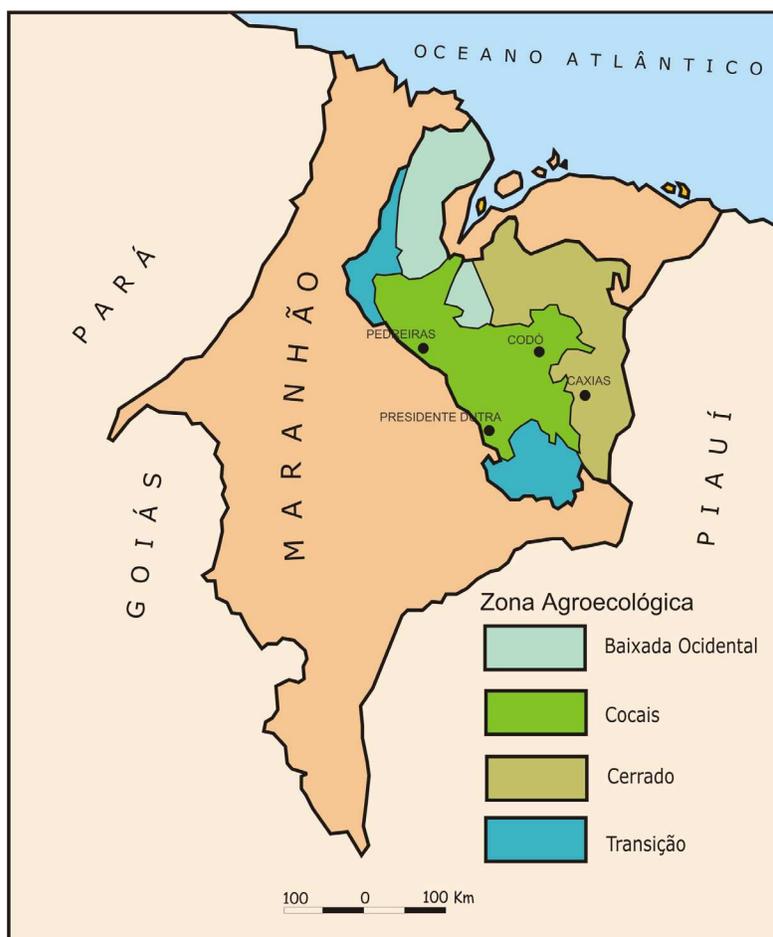


Figura 02 – Localização dos municípios visitados do Maranhão

QUADRO 02 - MARANHÃO – ÁREA DE OCORRÊNCIAS – PRINCIPAIS REGIÕES, May(1990)

REGIÃO ECOLÓGICA	ÁREA (103 ha)	% SOBRE O ESTADO
Cerrado	4.488	13,81
Cocais	1.970	6,06
Baixada	1.770	5,44
TOTAL	8.228	25,31

Os babaçuais, em zonas ecológicas compatíveis com sua propagação natural, sofrem o avanço da fronteira agrícola, como ocorre no Maranhão, Goiás e Mato Grosso, Estados onde se faz o desbravamento de florestas para instalação de culturas temporárias. Na sucessão vegetal, a palmeira comporta-se como planta dominante, constituindo populações estratificadas, por faixa de crescimento, em quatro tipos bem caracterizados na terminologia regional dos Estados do Maranhão e Piauí, a saber: pindoveiras, palmiteiros, capoteiros e palmeiras, sendo que estas duas últimas são consideradas palmeiras adultas.

Pesquisas recentes executadas pela Carioca Agrícola e Industrial do Maranhão - AGRIMA e pela Empresa Maranhense de Pesquisas Agropecuárias - EMAPA, em babaçuais maranhenses, vieram a confirmar resultados anteriores quanto à complexidade e à variabilidade das concentrações e distribuições dos palmeirais. Os resultados destes estudos foram obtidos através de um levantamento de potencialidade e produtividade de babaçuais junto a 368 amostras de 1 hectare cada, nas seguintes áreas:

- Itapecuru (MA).....283 hectares
- Mearim (MA)..... 85 hectares

Devido ao grande grau de dispersão dos valores encontrados nesta amostragem, os dados da pesquisa foram agrupados em diferentes classes estatísticas a fim de permitir uma maior concentração das informações e um tratamento estatístico mais objetivo. Assim sendo, obteve-se os seguintes resultados com relação à distribuição das palmeiras produtivas:

QUADRO 03 - DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO DE PALMEIRAS PRODUTIVAS, May (1990)

CLASSE	LIMITE DAS CLASSES (PALMEIRA PRODUTIVAS /HA)		FREQUÊNCIA (Nº de unidades amostradas)	Nº DE PALMEIRAS PRODUTIVAS -A-	Nº DE PALMEIRAS ADULTAS -B-	RELAÇÃO A/B (%)
	INFERIOR	SUPERIOR				
1	0	15	33	293	1.688	17,4
2	16	25	39	829	3.570	23,2
3	26	35	48	1.517	3.947	38,4
4	36	50	86	3.574	8.377	42,7
5	51	75	75	5.199	9.942	52,3
6	76	100	47	4.102	7.880	52,1
7	101	150	33	3.969	6.961	57,0
8	151	200	7	1.214	1.956	62,1
TOTAL			368	20.697	44.321	46,7

Com relação às palmeiras adultas, capoteiros mais palmeiras, foi encontrado uma variação de 1 a 329 indivíduos, por hectare, com uma média de 120 palmeiras/ha, dentre as quais, em média 56 eram produtivas, havendo uma variação de 1 a 196 palmeiras produtivas, por hectare. Pode-se concluir, dependendo ainda de estudos mais cuidadosos, que a própria natureza já se encarrega de chegar perto do valor considerado ótimo por parte de alguns agrônomos especialistas, pesquisadores do assunto, que o número de palmeiras adultas de babaçu por hectare deve situar-se entre 100 a 150 unidades.

Entretanto, a distribuição média da cobertura do babaçual obtida nesta pesquisa foi a seguinte:

QUADRO 04 - DISTRIBUIÇÃO MEDIA DA POP. DE PALMEIRAS DE BABAÇU, May (1990)

DENOMINAÇÃO REGIONAL	IDADE ESTIMADA	POPULAÇÃO MÉDIA (PALMEIRA/HÁ)
PINDOVEIRAS	1 A 5 ANOS	969
PALMITEIROS	6 A 9 ANOS	21
CAPOTEIROS	10 A 20 ANOS - NÃO PRODUTIVAS POR MOTIVOS NÃO IDENTIFICADOS	25
PALMEIRAS	ACIMA DE 10 ANOS SE PRODUTIVAS E, ACIMA DE 20 ANOS SE PRODUTIVAS OU NÃO	95
TOTAL		1.110

As pesquisas demonstraram que a distribuição das populações de palmeiras de babaçu, nos seus vários estágios de desenvolvimento, tem uma ampla faixa de variação, sendo que a concorrência entre indivíduos da mesma espécie, quando se aproximam ou atingem os limites de transição de uma população para outra, são fenômenos dignos de estudo a curto prazo, assim como as razões da improdutividade de 53,2% das palmeiras adultas restantes, que nem sempre se pode atribuir à concorrência entre os indivíduos desta população e/ou outros tipos de vegetação.

A época e a intensidade da safra variam com a região considerada e, dentro da mesma região, de acordo com a localização dos babaçuais, populações existentes e condições meteorológicas vigentes.

QUADRO 05 - PERIODO DE SAFRA DO BABAÇU, SAGRIMA (1976)

ESTADO	ÉPOCA DE COLETA	PONTO MÁXIMO DA SAFRA
MARANHÃO (1)	JULHO - DEZEMBRO	SETEMBRO - NOVEMBRO
PIAUI (2)	AGOSTO - FEVEREIRO	NOVEMBRO - DEZEMBRO
GOIÁS (3)	JUNHO - DEZEMBRO	AGOSTO - SETEMBRO

Não se conhece com precisão os períodos de floração, frutificação, maturação e queda dos frutos das espécies ocorrentes, sabendo-se apenas que o período de queda mais intensa dos frutos localiza-se no segundo semestre do ano. Estudos sistemáticos ainda necessitam ser elaborados para precisar estas informações.

Muito embora se tenha observado sua preferência pelas zonas baixas, não alagadas, onde se registram normalmente as mais altas produtividades, investigações mais detalhadas sobre o ambiente mais propício ao desenvolvimento da palmeira e à produção de coco devem também ser levados a efeito.

A maior incidência do babaçu entretanto, é verificada no Maranhão, especialmente nas regiões dos Cerrado, Cocais e Baixada, o que parece estar ligada às características da natureza de transição desta área, com clima quente e úmido, estações atmosféricas. A deficiência de luz solar é fator que prejudica o desenvolvimento da cultura. Não se dispõe de qualquer estudo correlacionando as variações anuais de pluviosidade, temperatura, fertilidade dos solos, capacidade de

retenção d'água, etc., com a produção, nem tampouco se dispõe de informações científicas referentes aos solos e nutrientes necessários à planta: porém, pelo conhecimento factual das áreas de ocorrência, pode-se afirmar que os solos são predominantemente argilosos, escuros profundos e com médio e elevado grau de umidade.

Não se conhecem doenças que atacam a palmeira, Quanto às pragas, sabe-se que:

- coleópteros atacam o fruto, destruindo a amêndoa, Exemplo: Gongo;
- insetos destroem o mesocarpo, em céu aberto e no armazenamento;
- pragas no estipe da palmeira, formam galerias profundas;
- as folhas são atacadas pela lagarta;
- os besouros no caule e no ápice causam danos de pequena natureza.

2.2 – Biomassa, Avaliação Técnica e Econômica

O aumento contínuo dos preços de petróleo, o aumento contínuo de consumo energético per capita além do rápido aumento da população mundial agravaram a necessidade e aumentaram a demanda urgente de achar e desenvolver fontes alternativas de energia. É claro que não há uma fonte que não pode atender essa necessidade pelo fato que cada país tem suas particularidades e reservas, etc. Várias tecnologias incluindo conversão solar biológica, vento, solar, hidropotência, geotérmica devem ser avaliados e suas potencialidades técnicas e econômicas devem ser bem analisadas.

Dessas possíveis fontes energéticas, a biomassa ocupa a posição de liderança entre as várias fontes. Hoje em dia o uso da biomassa como fonte energética varia dependendo do estado de desenvolvimento do país em questão. Nos EUA, a biomassa representa 1% da oferta energética, enquanto que no Sudão representa cerca de 65%. No presente, nos países subdesenvolvidos, onde o consumo energético per capita é baixo, a biomassa fornece maior parte dessa demanda em formato de lenha, rejeitos de animais, resíduos agrícolas, etc. Ismail (2000).

Os processos mais importantes pela qual a energia pode ser obtida da biomassa inclui combustão direta, pirólisis alcoólicas e biofotólisis. Cada uma dessas tecnologias tem suas vantagens dependendo da fonte de biomassa e do tipo de energia requerida.

As maiores dificuldades na utilização da biomassa na conversão de energia solar são:

1. A porcentagem de energia solar convertida em biomassa pelas plantas é relativamente pequena (menor que 0,1%).
2. A concentração baixa de biomassa por metro quadrado de terra e da água.
3. Terras adicionais adequadas para plantação, são raras.
4. Alto conteúdo de umidade (50 a 95%) na biomassa resulta em coleta e transporte, o que encarecem e a conversão energética fica indeficiente.

Esses fatores resultam no fato que a energia a partir de biomassa é cara, com produto energético final reduzido.

As vantagens de utilização da biomassa como fonte energética inclui os seguintes:

1. Biomassa produz um combustível com baixo enxofre.
2. Em alguns casos, o combustível é realmente barato e disponível, tais como, lenha, biogás, álcool, etc.
3. Em alguns casos, processamento de biomassa para produção de combustíveis, diminui a poluição ambiental (esgoto, rejeitos de processamentos).
4. Produção de combustíveis biológicos pode ser acoplado a sínteses de proteínas.

a) Avaliação da biomassa

O Brasil é o quarto maior país do mundo com área total de $8,51 \times 10^6$ ha e população de 120 milhões de habitantes com taxa de crescimento de 3% ao ano como está na tabela-10.1. Ainda a densidade de população é em torno de 13 pessoas/km². Florestas cobrem mais que 60,6% do Brasil, conforme a tabela-10.2. A área do Amazonas coberta por florestas é em torno de 500×10^6 ha. Terras para agricultura ocupam 4% do total da terra deixando perto de 8% com possibilidade de plantação.

A riqueza nacional brasileira medida pela renda nacional per capita é de 1190\$ e o produto nacional grosso é de 760\$ conforme (tabela-10.1) considerada relativamente aceitável. A taxa de crescimento anual entre 1960 a 1970 foi de 6%. Esse crescimento acelerado resultou em movimento rápido da população da área rural para áreas urbanas (centros urbanos), mais que 56% da população está na área urbana comparada a 36% em 1960. Ambos, urbanização e aumento no produto nacional provocaram aumento no consumo energético estimado em $5,8 \times 10^6$ kcal/per-capta, conforme as (tabelas-10.3) e (10.4). O consumo energético no Brasil é fornecido pelo carvão (3,6%), hidroelétrica (20,8%), petróleo (44,8%) e biomassa (30,5%). O petróleo sendo das fontes mais importantes no Brasil quase 50% desse é importado.

A produção de energia é de 390×10^{12} kcal ($3,54 \times 10^6$ kcal/habitante) a biomassa sendo uma fração importante representando 53% do total conforme a (Tabela-10.5). Petróleo e hidroeletricidade representam quase a fração restante 40%. O produto nacional grosso, renda nacional, e fontes de energia não são igualmente distribuídos. Por exemplo: 2% de eletricidade gerada é consumida na área rural onde há cerca de 44% da população, e 80% ganha menos que a renda média. Ismail (2000).

b) Conversão da biomassa

A energia solar total fixada pelas plantas em vários lugares é mostrada na (tabela-10.6). A energia total fixada foi feita considerando a produtividade independente da latitude. A quantidade de biomassa produzida anualmente foi estimada para cada país, baseada nas características geográficas. A energia equivalente produzida por kg de biomassa foi calculada assumindo um equivalente energético de 4200 kcal. A energia solar fixada pelas plantas nos EUA, 2926% do consumo do Brasil, 702% de consumo da Índia é 17467% de consumo do Sudão. O potencial da biomassa produzido em cada país para fornecer a demanda do país varia em função do consumo e as condições ambientais locais. Ismail (2000).

c) Produção agrícola e de florestas

A conversão biológica da energia solar é importante para cada país é geralmente avaliada pela produção agrícola e de florestas. Essa energia é incluída na produção de alimentos, fibras, madeira, etc. Uma avaliação de energia coletada em agricultura e floresta para vários países é mostrada na (tabela-10.7). A razão da energia coletada como produto agrícola e florestal a energia solar total fixada pode mostrar o potencial máximo de uso de biomassa. No caso dos EUA, essa razão é de 50% no caso do Brasil, 25% no caso da Índia é 17% no caso do Sudão. Ismail (2000).

d) Fontes de biomassa

Estrume de animais, resíduos plantís, cana de açúcar, refugo urbano, esgoto municipal, plantas aquáticas, plantações de lenha e a lenha existente são fontes em potencial de biomassa. Detalhemos a seguir a fonte da lenha, cujo o processo é semelhante ao da casca do babaçú. Ismail (2000).

d.1) Lenha

A lenha representa uma contribuição importante como fonte de energia em vários países em desenvolvimento. Na Índia isso representa 16% da energia consumida, no caso do Brasil isto representa 26%, e no caso do Sudão 65%. Na realidade a maior parte das necessidades de energia no campo rural é suprimida pela lenha. Lenha é uma fonte energética para algumas atividades industriais nesses países, essas atividades incluem indústrias cerâmicas e de tijolos, processamento de alimentos, produção de borracha e até na fabricação de aço. Lenha pode ser usada no aquecimento, geração de vapor, cogeração gerando eletricidade. O aumento de demanda da lenha resultou em deflorestação em certos países provocando assim redução de lenha, erosão do solo e escassez de água. O Brasil tem grande potencial por causa da bacia amazônica mostrado na (tabela 10.8). A produção de madeira e polpa é importante na produção de biomassa. Quando utiliza a floresta para obter madeira e polpa 7 a 20% da madeira fica como resíduo que pode ser utilizado para produção de energia a partir da biomassa. Ismail (2000).

e) Tecnologias disponíveis para produção de energia da biomassa

Podemos obter biomassa através de fermentação, pirólise e digestão anaeróbica, da mesma forma, explicaremos o processo de pirólise que é o meio utilizado em fornos de carvão de babaçú. Ismail (2000).

e.1) Pirólises

Pirólises ou destilação destrutiva é uma mudança química irreversível causada por calor na ausência de oxigênio, a energia entregue para o processo é usada na separação química do produto deixando a energia armazenada. Dependendo da matéria prima, o produto de pirólises pode ser combustível sólido, líquido ou gasoso. As variáveis do processo incluem, a temperatura, tempo de retenção, taxa de aquecimento e o ar para alimentação. No processo típico, o material passa nas seguintes operações: a) corte pequeno primário, b) secagem do material cortado, c) separação do ar para remover inorgânicos, d) corte do material, e) pirólisis, onde o material carbônico é aquecido rapidamente (1400°F a 3000°F) e f) armazenamento de produtos energéticos. Produção típica por tonelada métrica de estrume molhado e refugo urbano são mostrados nas tabelas-10.9 e 10.10 respectivamente. O processo de pirólisis opera com pressão um pouco mais alta que a pressão ambiental e com temperatura máxima de 1800°F. Para recuperação de óleo a temperatura no reator é 1000°F e para recuperação do gás fica 1400°F. As reações durante pirólisis são complexas com os produtos obtidos variando conforme a matéria prima e as condições de operação. Produtos principais identificados no combustível gasoso vindo da pirólisis de estrume de vaca, serragem de madeira e cascas de arroz incluem H₂, N₂, CO, CO₄, C₂H₆ (etano), C₆H₆ (benzeno) e C₇H₈ (tolueno). Vários outros produtos também na fração liquor e na parte líquida alcatrão.

Metanol e carvão vegetal foram obtidos em escala industrial a partir de pirólisis de madeira. Taxas de produção típica é 1 a 2% de peso inicial seco para metanol e 37% para carvão vegetal. Pirólisis em escala laboratorial para produção de combustível líquido, a partir da biomassa, estrume de vaca, refugo urbano, cascas de arroz, restos de algodão e restos vegetais estão em desenvolvimento. Ismail (2000).

f) Potencial energético da biomassa

O potencial de conversão de biomassa em energia foi verificado anteriormente como está na (tabela-10.11). Estrume e esgoto municipal podem ser melhor processado pela digestão anaeróbica produzindo energia líquida por kg de estrume seco na base de 784 kcal.

Pirólisis dos rejeitos urbanos produz 1417kcal/kg comparada com energia líquida produzida por incineração desses rejeitos da ordem de 2939 kcal/kg. Produção de etanol a partir de cana de açúcar produz 1479 kcal/kg a 1327 kcal/kg. Incineração da biomassa florestal para produzir eletricidade produz energia líquida de 935 kcal /kg comparada com a energia de incineração direta de 3740 kcal/kg.

O uso de biomassa para reduzir a dependência energética é um fato importante e uma alternativa de grande potencial. A conversão da biomassa é similar a produção agrícola, necessita de mão de obra para coletar a matéria prima, preparar e armazenar além de transportar se for necessário. Assim é óbvio que é melhor operação com biogestores comunitários para evitar transporte de matéria prima e de energia, além de utilização dos subprodutos no próprio local. O uso da biomassa florestal pode provocar problemas ambientais graves além da erosão na terra. A conversão dos esgotos e rejeitos municipais é válida e viável, pois além disso, resolve problemas de poluição ambiental que está cada vez mais grave. Produção de etanol a partir de fermentação de produtos, tais como, cana, etc. para substituir combustíveis líquidos é válido quando há na terra adequada e livre para essa plantação. Deve ser lembrado aqui, os problemas dos subprodutos como vinhoto que deve ser tratado e processado para obter mais energia e subprodutos úteis, além de eliminar problemas ambientais de jogar esse produto nos rios, canais ou na terra. O uso da lenha na conversão energética é de grande potencial. Grandes cuidados devem ser tomados para não causar erosão na terra e problemas ambientais criando pequenos desertos. A plantação de lenha para conversão energética é um alternativa que deve ser bem planejada plantando árvores de taxa de crescimento rápido e regulamentado a plantação e o uso adequado do material.

Não há dúvida que a conversão biológica de energia solar oferece aos países em desenvolvimento uma oportunidade de suprimir parte de suas necessidades energéticas que devem ser utilizadas e aproveitadas da melhor maneira possível evitando o abuso e mau uso. Ismail (2000).

2.3 – Sistema de Refrigeração por Absorção

Devido a segunda lei da termodinâmica, resfriamento pode ser feito às custas de energia. Os ciclos frigoríficos à compressão a vapor, utilizam energia elétrica ou mecânica. Uma instalação frigorífica de absorção necessita de energia térmica para produção de resfriamento. O fluido de trabalho – o refrigerante – na fase gasosa, cede calor para o ambiente, tornando-se líquido no condensador. À pressão e temperatura baixa, retirando calor do meio a ser resfriado, o mesmo evapora. Para manter o ciclo contínuo, o vapor de baixa pressão deve ser comprimido para a pressão de condensação. No ciclo frigorífico de absorção este processo será realizado pelo “compressor térmico” . Fornecendo a energia térmica necessária numa temperatura mais elevada do que a do ambiente, o vapor do refrigerante será expulso da mistura rica. Retirando o calor de absorção, o vapor do refrigerante de baixa temperatura será absorvido pela mistura pobre. A mistura binária do ciclo fica composta do refrigerante e de um absorvente. Os dois componentes devem-se misturar em grande medida. Os refrigerantes são aqueles que se usam para ciclos de compressão a vapor. Os sólidos, utilizados junto com os refrigerantes, são os adsorventes, os líquidos da mistura binária são os absorventes, Stoecker (1985).

Taylor, (1945) apresenta uma retrospectiva histórica do desenvolvimento dos sistemas de absorção, enfocando diversas alternativas de mecanismos de bombeamento da solução rica em sistemas contínuos que não necessitam de trabalho externo. Cita também numerosos modelos de sistemas periódicos que obtiveram sucesso comercial. O sistema Platen-Munters é apresentado sussintamente, ressaltando ainda as possibilidades de surgimento de novos ciclos de absorção.

Bjuström & Raldow, (1981) apresentam os princípios dos processos de absorção também sob uma perspectiva histórica, discutindo suas possibilidades de utilização não só para refrigeração e aquecimento mas também para armazenamento de calor e ciclos de potência, trazendo uma extensiva bibliografia a respeito.

As características e especificações técnicas do sistema escolhido para teste são apresentadas pelo fabricante Consul S.A (1984) em sua publicação técnica.

Alguns trabalhos experimentais utilizando esse mesmo tipo de geladeira foram também encontrados: Lombardi *et alli* (s.d.), testaram seu desempenho para refrigerar a produção diária de leite de uma pequena propriedade, utilizando uma solução de água e álcool como volante térmico e GLP e eletricidade como fonte térmica.

Os sistemas de absorção utilizando o par amônia-água com bomba para circulação de solução são estudados por vários autores com vistas principalmente ao aproveitamento de energia solar para refrigeração em sistemas de médio porte. Da tese de mestrado: Figueiredo (1980) simula numericamente em computador o comportamento desse tipo de sistema sob diferentes condições externas.

A possibilidade de melhoria técnica de um fogão a lenha tradicional brasileiro, visando obter uma queima com menor emissão de poluentes tóxicos para o usuário e para o ambiente, foi proposto por Borges (1994) em sua tese de mestrado.

Uma outra tentativa de se obter refrigeração a partir do aproveitamento das perdas térmicas de um fogão a lenha, só que retirando calor dos gases de escape do fogão através de um banco de tubos de calor e utilizando um sistema periódico de absorção sólida com o par zeólita-água é relatada por Passos & Escobedo (1986). O fogão utilizado é o desenvolvido pela EMATER, discutido na bibliografia de fogões a lenha e o artigo apresenta o dimensionamento e o princípio de operação., entretanto não traz nenhum resultado experimental ou conclusão sobre seu desempenho.

Finalmente utilizamos como referência principal um trabalho de cunho teórico-experimental, tese de mestrado de Martins (1989), que estuda um fogão a lenha tradicional de alvenaria como equipamento energético acoplado a uma geladeira de absorção do tipo Platen-Munters (geladeira a gás ou querosene), através de um termosifão bifásico fechado utilizando água como fluido de trabalho. O referido trabalho apresenta dimensionamento da câmara de combustão, o fluxo de calor necessário e os níveis de temperatura suficientes p/ o acionamento do sistema de refrigeração e medidas de temperaturas no gabinete e congelador da geladeira.

CAPÍTULO 03 – ANÁLISE TEÓRICA DA UTILIZAÇÃO INTEGRAL DO BABAÇU COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

3.1 - Coco do Babaçu

a) Composição

O coco do babaçu é constituído de 03(três) camadas; uma externa, fibrosa (epicarpo); uma intermediária, fibrosa-amilácea (mesocarpo) e uma interna, lenhosa (endocarpo), na qual estão inseridas as amêndoas. E usual chamar-se cascas ao conjunto das três camadas, as quais correspondem cerca de 93%, em peso, do coco.

Devido à existência de várias espécies e às diferentes regiões de ocorrência do babaçu é comum encontrar-se uma certa variação na composição do coco, conforme a amostra que se toma **quadro-6**. Para efeito deste estudo, considerá-se-há uma composição média, em peso, com os seguintes percentuais: epicarpo=12%, mesocarpo=23%, endocarpo=58% e amêndoa=7%.

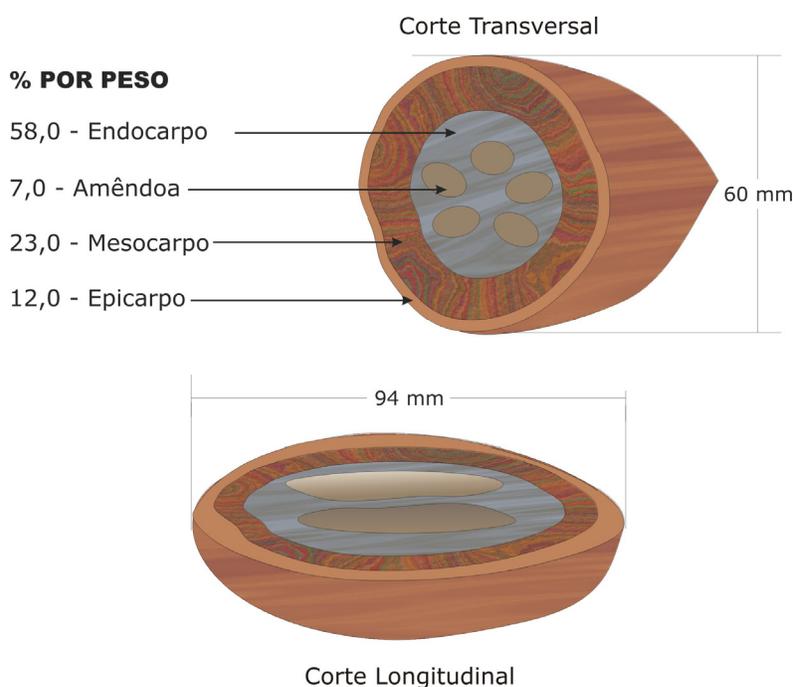


Figura - 03 - Tamanho e composição médios de frutos do babaçu colhidos em cinco Estados May (1990).

QUADRO 06 - COMPOSIÇÃO DO COCO DE BABAÇU, May (1990)

COMPONENTE	PARTICIPAÇÃO EM RELAÇÃO AO PESO DO COCO (%)					MÉDIA
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
EPICARPO	12,4	13,4	11,0	15,0	11,0	12,56
MESOCARPO	25,2	25,4	23,0	20,0	23,0	23,32
ENDOCARPO	55,1	54,5	59,0	59,0	57,0	56,92
AMÊNDOA	7,3	6,7	7,0	6,0	9,0	7,20

A composição do mesocarpo também varia com a espécie e a procedência. Resultado de análises realizadas com o mesocarpo de cocos procedentes de Codó/MA e separado por processo manual é representado no **quadro-07**.

QUADRO 07 - COMPOSIÇÃO DO MESOCARPO, STI/MIC-INT (1977)

COMPOSIÇÃO	DISTRIBUIÇÃO DO PESO (%)
UMIDADE	14,90
AMIDO	68,30
PROTEÍNA	1,54
FIBRA	2,41
GORDURA	0,27
CARBOIDRATOS SOLÚVEIS	1,25
PENTOSANAS	3,36
CINZAS	1,10
NÃO DOSADOS	6,87
TOTAL	100,00

Conforme se observa, o conteúdo em amido do mesocarpo é de aproximadamente 68%, o que corresponde a cerca de 16% em relação ao peso do coco.

As amêndoas contêm cerca de 65%, em peso de óleo. Porém, pelos atuais métodos de industrialização, consegue-se obter um rendimento em torno de 57%, que corresponde aproximadamente a 4% do peso do coco. Análise da amêndoa de babaçu realizada pelo Prof: Vivacqua e confirmada por outras análises posteriores, apresentou os seguintes resultados:

QUADRO 08 - COMPOSIÇÃO DA AMENDOA DO BABAÇU, May (1990)

COMPOSIÇÃO	PARTICIPAÇÃO EM PESO (%)
UMIDADE	4,70
ÓLEO	66,20
PROTEÍNAS	7,80
FIBRAS	6,90
CINZAS	2,30
CARBOIDRATOS	12,10
TOTAL	100,00

O epicarpo e o endocarpo são constituídos basicamente por celulose e, devido as suas características físicas, devem ter seus usos mais imediato como combustível e na produção do carvão, respectivamente. O epicarpo tem condições de fornecer um combustível com poder calorífico de origem de 3.800 Kcal/kg (INT - 1977). Do endocarpo pode obter-se carvão de excelente qualidade, com um rendimento em até 25% do seu peso, além de gases resultantes do próprio processo de carbonização. Parte desses gases é condensável, de onde se extrai uma série de subprodutos como alcatrão, ácido acético, ácido fórmico, metanol, etc. O restante dos gases pode ser utilizado como combustível. É necessário se destacar que o rendimento de cada produto resultante do processo de carbonização do endocarpo é função direta da velocidade do processo e da sua temperatura **quadro-09**.

QUADRO 09 - COMPOSIÇÃO DO EPICARPO E DO ENDOCARPO, May (1990)

COMPONENTE	PARTICIPAÇÃO EM PESO (%)	
	EPICARPO	ENDOCARPO
MATÉRIAS VOLÁTEIS	68	76
CARBONO FIXO	30,7	22
CINZAS	1,3	2
TOTAL	100	100

Os resultados de um outro tipo de análise, realizada pelo INT, baseando-se nos açúcares obtidos pela hidrólise ácida do epicarpo e do endocarpo, é apresentada no **quadro-10**.

QUADRO 10 - COMPOSIÇÃO DO EPICARPO E DO ENDOCARPO, STI/MIC-INT (1977)

COMPONENTE	PARTICIPAÇÃO EM PESO (%)	
	EPICARPO	ENDOCARPO
CELULOSE	32	23
HEMI-CELULOSE	18	22
LIGNINA	35	39
OUTROS	15	16
TOTAL	100	100

b) Produtividade

Os dados sobre produtividade dos babaçuais são controvertidos **quadro-11**. Alguns pesquisadores chegam a considerar esta produtividade variando entre 10 e 15 toneladas de coco por hectare ano: Outros, em torno de 2 a 3 t/ha-ano. Na realidade o desconhecimento acerca do babaçu ainda é grande; e, como já se disse, os poucos estudos criteriosos são limitados e específicos a uma determinada região. Os dados apresentados por estes estudos, apesar de não permitirem uma extrapolação a todas as regiões de ocorrência do babaçu, são úteis como indicadores. A taxa de produtividade em torno de 2,5 t/ha-ano pode ser considerada, entretanto, como um valor médio razoável, pois, além de ser uma estimativa bastante conservadora, já existe confirmação deste valor em várias regiões onde atualmente se explora o babaçu.

Destaca-se que esta produtividade de 2,5 t/ha-ano poderá ser facilmente triplicada através de simples tratamentos dos babaçuais nativos, sem contar o que se poderá obter, a mais longo prazo, com uma cultura racional

QUADRO 11 - PRODUTIVIDADE ANUAL DO BABAÇU, May (1990)

ITEM	PRODUÇÃO MÉDIA ANUAL				
	(1)	(2)	(3)	(4)	MÉDIA
CACHO					
Nº DE CACHOS P/ PALMEIRA	3,0	1,8	1,2	1,8	1,945
Nº DE CACHOS P/ HECTARE	600,0	101,0	137,0	93,0	232,75
COCO					
PESO DO COCO (g)	120,0	160,0	200,0	-	120,0
Nº DE COCOS P/ CACHO	150,0	-	119,0	-	67,3
PESO DO COCO P/ CACHO (kg)	26,0	24,4	26,2	26,2	25,7
PESO DO COCO P/ PALMEIRA (kg)	130,0	44,0	48,0	44,3	66,6
PESO DO COCO P/ HECTARE (kg)	15,6	2,5	3,6	2,2	6,0

c) Potencial Produtivo e Energético

A área de cobertura vegetal em babaçuais é estimada em 15 milhões de hectares (cap.02). Nesta área apenas parte das palmeiras é produtiva. Torna-se necessário, portanto, estabelecer um fator de correção que nos permita obter uma idéia de cobertura produtiva. Adotemos 33% como esse índice, retirados de experiência, com culturas semelhantes ao babaçu. Os restantes 67% são áreas representadas por palmeiras por enquanto não produtivas, onde se concentram as pindoveiras, os palmiteiros, os capoteiros e áreas rarefeitas ou com excessivas concentrações de babaçuais conjugadas à outras essenciais florestais. Assim sendo, pode-se estimar a potencialidade produtiva (Pp) em coco, como se segue:

$$P_p = A \times F \times P \quad (3.1)$$

onde:

Pp = Potencial produtivo de coco (t/ano)

A = Área de cobertura dos babaçuais (ha)

F = Fator de cobertura produtiva

P = Produtividade (t/ha-a)

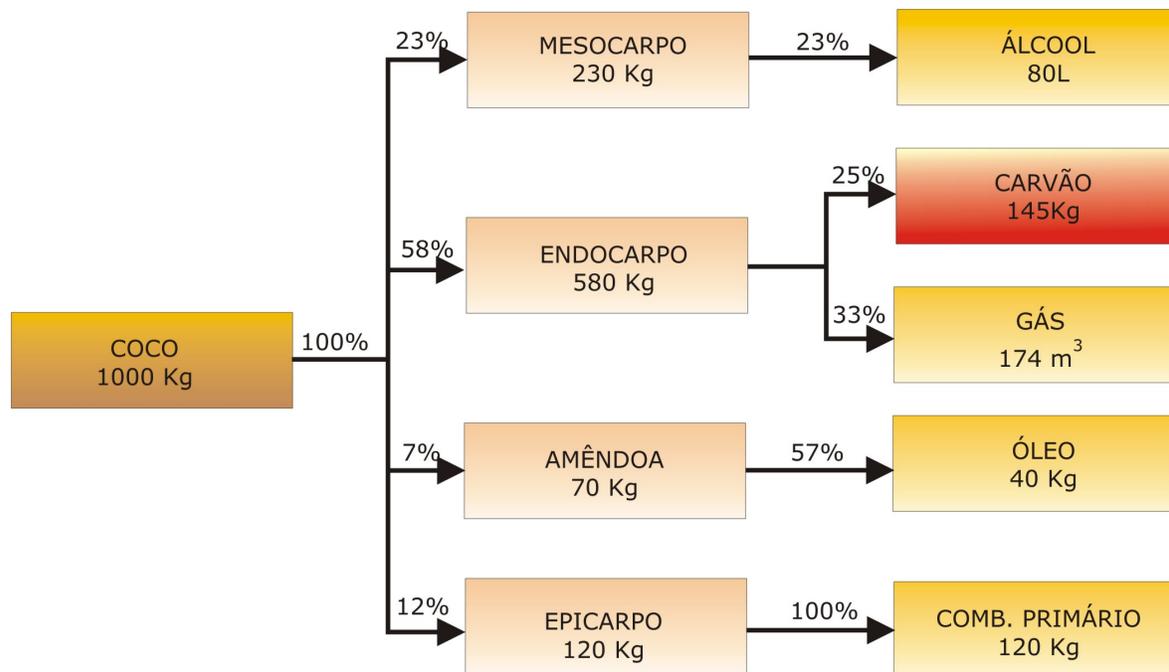
$P_p = 15,0 \times 10^6 \times 0,33 \times 2,5$

$P_p = 12,4 \times 10^6$ t/ano de coco

Visto que este resultado será a base de todos os cálculos posteriores, cabe-se esclarecer que, apesar deste potencial está fundamentado em dados ainda precários, tomou-se todo o cuidado para que ele fosse mais significativo possível, resultando inclusive numa imagem conservadora da atual situação. Consideramos, entretanto, que somente estudos mais elaborados, não existentes no momento, de caráter mais abrangentes e sistemáticos, poderão dar condições melhores de avaliação. Não há dúvida, portanto, que não só o fator de cobertura como a produtividade podem ser substancialmente melhorados. Através de técnicas de desbastes, por exemplo, já se obtiveram produtividade três vezes superiores à aqui consideradas.

O aproveitamento integral do coco de babaçu objetiva, em primeiro plano, melhorar o balanço energético nacional, através da substituição dos combustíveis convencionais de fontes não renováveis, petróleo e carvão mineral. Neste sentido, o babaçu pode fornecer álcool, óleo e carvão, além da possibilidade de se utilizar o epicarpo diretamente como combustível primário no processo de produção de álcool que, aliado ao gás combustível originário da carbonização do endocarpo, são mais do que suficientes para suprir as necessidades energéticas de uma usina de álcool, num complexo industrial para o aproveitamento integral do coco.

Baseando-se na experiência existente, pode-se estabelecer, para efeito de visão energético global, os seguintes rendimentos médios para a produção de álcool, carvão, gás combustível, óleo e combustível primário, em relação aos componentes e destes em relação ao próprio coco **Fluxograma 01** .



FLUXOGRAMA 01 – Divisão do coco babaçu, STI/MIC, INT (1977)

O alcance da contribuição que o babaçu poderá dar a Nação, somente através de seus produtos energéticos derivados, é sem dúvida inestimável. O **quadro-12** apresenta uma avaliação deste potencial, baseado nos babaçuais existentes e nas atuais condições.

QUADRO 12 - POTENCIAL PROD. ESTIMADO DO COCO E SEUS DERIVADOS, LEITE (1953)

PRODUTO	POTENCIAL POR HECTARE - ANO	PRODUTIVO TOTAL/ ANO
COCO (ton)	2,50	12,4x10 ⁶
ALCOOL (litros)	200,00	1,0x10 ⁶
CARVÃO (ton)	0,36	1,6x10 ⁶
ÓLEO (ton)	0,10	0,5x10 ⁶
GÁS (m ³)	435,00	2,2x10 ⁶
EPICARPO (ton)	0,30	1,5x10 ⁶

Quando se menciona o babaçu como matéria-prima para produção de álcool surge imediatamente a comparação com a cana-de-açúcar e a mandioca. Esta comparação tem que ser encarada com os devidos cuidados pois, enquanto destas duas últimas se extrai, respectivamente, apenas os açúcares fermentecíveis e o amido para a produção de álcool, com o aproveitamento do bagaço da cana e das ramas da mandioca, para melhorar o balanço energético da usina, o coco de babaçu, como já foi mencionado anteriormente, além de fornecer o amido para produção do álcool, fornece outras matérias-primas para a produção de carvão e óleo, resultando ainda o gás combustível e epicarpo, que podem ser utilizados como fonte de energia primária, sem contar com uma série de subprodutos de caráter não energético que irão resultar da industrialização integral do coco.

Além disso, ainda comparativamente à cana-de-açúcar e à mandioca, o babaçu é um produto nativo, perene, com safras anuais, não exigindo, no momento, investimentos com, plantio ou tratos culturais dispendiosos. Aliado a todas essas vantagens existe o problema da baixa produtividade dos babaçuais quando comparada àquelas das outras duas culturas. Porém, se pudesse tomar isoladamente cada matéria-prima verificar-se-ia facilmente que, peso por peso, o babaçu é mais nobre em termos energéticos.

Entretanto, é indispensável deixar bem claro que o uso de cada uma destas matérias-primas, para fins energéticos, não deve ser considerado exclusivo. Em termos nacionais, são complementares. Cada uma delas tem características próprias, podendo-se adotar ora uma ora outra, conforme as condições ecológicas, sociais ou econômicas, locais ou regionais.

QUADRO 13 - RESULTADOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DO BABAÇU, DA CANA-DE-AÇÚCAR E DA MANDIOCA, STI/MIC (1977)

MATÉRIA PRIMA	PRODUTOS RESULTANTES DA INDUSTRIALIZAÇÃO DE 1 T DE PMATÉRIA PRIMA		ENERGIA CONTIDA NOS PRODUTOS RESULTANTES DA INDUSTRIALIZAÇÃO	
	PRODUTOS	QUANTIDADE	1 T MATÉRIA-PRIMA (Kcal x 10 ³)	1 ha MATÉRIA-PRIMA (Kcal/ha ano-10 ³)
COCO DE BABAÇU	ALCOOL	80,1	409,6	1.024,0
	CARVÃO	145 Kg	1.058,5	2.646,3
	GÁS	174 m ³	696,0	1.740,0
	ÓLEO	40 Kg	344,0	860,0
	EPICARPO (¹)	120 Kg	451,8	1.129,5
	TOTAL	-	2.959,9	7.399,8
CANAD-DE-AÇUCAR	ÁLCOOL	65,1	332,8	16.640,0
	BAGAÇO (¹)	278 Kg	1.046,7	52.335,0
	TOTAL	-	1.379,5	66.975,0
MANDIOCA	ALCOOL	901	455,8	11.520,0
	RAMA SECA (¹)	167 Kg	628,8	15.718,9
	TOTAL	-	1.083,8	27.238,9

Para elaboração do quadro anterior, tomou-se como referência os seguintes dados:

a) Produtividade

Babaçu.....2,5 t/ha-ano
Cana-de-açúcar..... 50,0 t/ha-ano
Mandioca: Raiz..... 12,5 t/ha-ano
Rama 12,4 t/ha-ano

Com relação à produtividade da mandioca se faz necessário esclarecer que o valor acima representa a média que se obteve nos anos 1975/76 em todo o Brasil. Este resultado é produto de uma cultura desenvolvida sem o mínimo cuidado técnico ou orientação agrícola, na maioria das vezes encarada como cultura de subsistência. Se encarada como cultura racional, a mandioca poderá fornecer, em cultivares de um ano e meio, produtividade de ordem de 2 a 4 vezes a atual. Resultados desta natureza são esperados pelo INT em Frei Orlando - MG, com uma produtividade da ordem de 30 t/ano.

b) Poder calorífico

Álcool.....	5.120 kcal/kg
Carvão	7300 kcal/kg
Gás	4 000 kcal/kg
Óleo	8 500 kcal/kg
Epicarpo.....	3.765 kcal/kg
Bagaço.....	3.765 kcal/kg
Rama seca.....	3.765 kcal/kg

Tanto para o epicarpo, quanto para o bagaço e como para a rama, foi considerado um poder calorífico da ordem de 3.765 kcal/kg, tendo em vista que estas matérias-primas são constituídas basicamente por celulose. No entanto, foi necessário padronizar também a umidade (10%) para se ter uma base comum no cálculo da energia contida.

Como se pode verificar pelo **quadro-13** para uma mesma quantidade de matéria-prima, o babaçu fornece 2,1 vezes mais energia que a cana-de-açúcar e 2,7 vezes mais que a mandioca, isto sem levar em conta a energia que deverá ser gasta no processo de secagem do bagaço da cana e da rama de mandioca. Entretanto, pode-se ainda verificar que quando se utiliza a matéria-prima produzida por unidade de área, nas atuais condições de produtividade o babaçu irá fornecer 9,1 vezes menos energia que a cana-de-açúcar e 3,7 vezes menos que a mandioca.

Considerando-se, então, que uma tonelada de coco poderá fornecer 2.960×10^3 Kcal, pode-se avaliar para o País uma potencialidade energética de ordem de:

$$P_p = 12,4 \times 10^6 \text{ (t/ano)} \times 2.960 \times 10^3 \text{ (kcal/t)}$$

$P_p = 36,7 \times 10^{12}$ Kcal/ano, ou seja, 36,7 bilhões de Mega-caloria por ano, ou ainda 5 mil Megawatts. Isto equivale a mais de 20% de toda capacidade de geração de energia de origem hidroelétrica, hoje instalada no país.

É evidente que nem todo este potencial poderá ser utilizado de imediato, devido à localização de alguns babaçuais, a baixa densidade de cobertura ou ainda devido a outros aspectos; é evidente, entretanto, que representa um poderoso potencial energético, nativo e perene, aguardando o seu aproveitamento.

3.2 – Tecnologia da produção e uso do carvão de babaçu

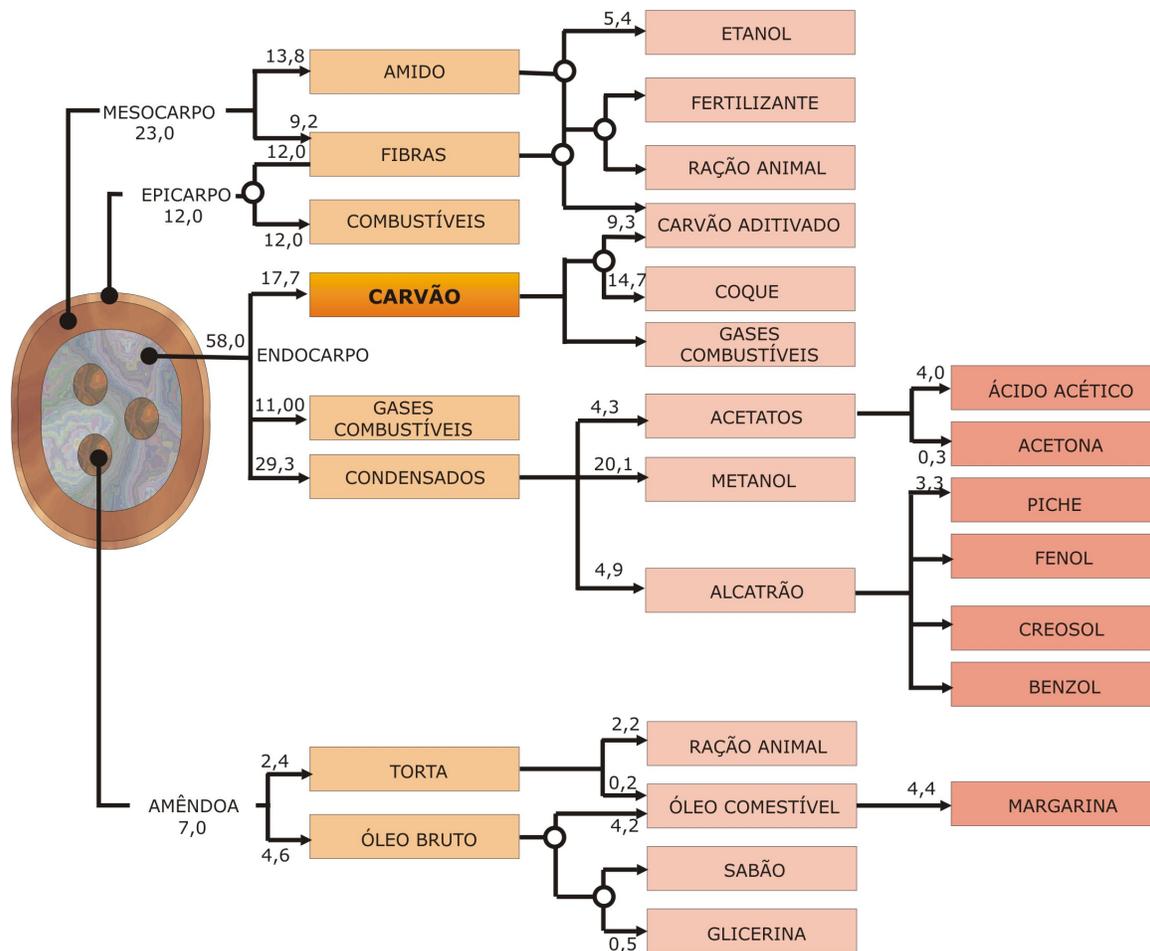
A indústria do babaçu está iniciando uma fase de grandes mudanças estruturais entre o sistema de produção de óleo e o sistema de aproveitamento integral do coco. A indústria do óleo, constituída por pequenas empresas que têm no extrativismo vegetal sua fonte de matéria-prima, o coco, está sofrendo forte concorrência dos outros tipos de óleos comestíveis: dendê, soja, etc. Sua tendência futura é não suportar a competição, tendo em vista o seu caráter empresarial precário e para os fins que hoje se utiliza o óleo.

Por outro lado diversos fatores têm contribuído para abrir mercados para outros produtos do babaçu, prevendo-se como viável, dentro de pouco tempo, a sua industrialização integral. Essa é a maior mudança tecnológica econômica que o setor está atravessando. Dentro desta perspectiva são passíveis de exploração as seguintes partes do coco, além de outras partes da palmeira:

epicarpo - como combustível primário; para álcool metílico e etílico, furfural e aglomerados; **mesocarpo** - para álcool etílico; amido para alimentos, rações animais e usos industriais;

endocarpo - para carvão; furfural; gases da pirogênese; álcool metílico e etílico;
folhas - para celulose e aglomerados;
caule - para palmito (exclusivamente das palmeiras resultantes dos desbastes);
amêndoa - óleo para usos tradicionais e como combustível em substituição ao diesel;
detergentes biodegradáveis; torta para ração.

Pela sua importância, o álcool e o carvão são produtos que merecem atenção especial, razão porque as proposições do programa tecnológico industrial neles se concentram. Para se ter idéia do que representa um complexo industrial para o aproveitamento integral do babaçu, é apresentado no **Fluxograma 02** as principais operações unitárias para obtenção do álcool, do **carvão** e outros produtos derivados.



FLUXOGRAMA 02 - Produtos alternativos do babaçu, Teixeira M. A (2003)

O grande problema para a industrialização integral do coco era a falta de um equipamento industrial eficiente para o descascamento, quebra e separação das diversas partes do coco. No entanto, hoje já existe no mercado um equipamento nacional comerciável, fabricado pela Máquinas Piratininga S/A, com capacidade de processar 6 t/h de coco. A máquina de 120 KW requer, para a instalação, uma área de 200 m². Como é modular, poderão ser instaladas para se atingir uma determinada capacidade produtiva.

A Cia. Industrial Técnica - CIT também desenvolveu um equipamento modular, processando 13 t/h do coco, porém, em princípio, pretende não comercializá-lo.

a) Tecnologia da Produção de Carvão de Babaçu.

O carvão vegetal é o resíduo carbonoso obtido pelo aquecimento sem queima (isto, sem oxigênio) da matéria vegetal. A câmara fechada para sua obtenção tanto pode ser um buraco no chão enchido de cascas do coco de babaçu, técnica comum no Maranhão, como fornos industriais de formatos diversos, com aquecimento e com aproveitamento de gases.

Muito embora seja possível a carbonização do coco inteiro, em geral se considera mais interessante fazê-lo apenas com o endocarpo, liberando as outras partes para outros usos.

No momento vários estudos sobre carbonização vêm sendo desenvolvidos por empresas e institutos de pesquisas nacionais.

A CIT - Cia. Industrial Técnica desenvolveu e construiu um forno horizontal de carbonização constituído de um cilindro giratório. A matéria-prima (endocarpo) recebida numa extremidade, percorre toda a extensão do cilindro, ligeiramente inclinado, saindo pela outra extremidade. Nesse trajeto, o endocarpo é aquecido e espela o material volátil que vai aquecer a matéria-prima que entra. É um forno com pequena capacidade de produção (atualmente 7 t/dia de carvão) e baixo custo de investimento. Tem a vantagem de trabalhar continuamente a ser modular.

A SIDERBRÁS está estudando a adaptação do forno Spulgas, usado atualmente para desvolatilização de carvões minerais alto volátil, para fazer a carbonização do babaçu. Esse processo tem uma maior capacidade de produção e é indicado para grandes projetos industriais.

O IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas está estudando um forno de tipo coluna, construído em refratário, para carbonizar continuamente o babaçu.

Outras importantes experiências já foram realizadas no Brasil, devendo-se destacar as experiências pioneiras de Silvio Froes Abreu no INT, a usina do Prof Antonio Vivacqua Filho, as da AGRIMA, da TOBASA, de Produtos Vegetais do Piauí e outras.

A qualidade do carvão depende exclusivamente dos parâmetros de carbonização, qual seja, temperatura e velocidade de carbonização. Testes preliminares de carbonização do endocarpo, realizados pela STI/SIDERBRAS, indicam que o rendimento em peso carvão/endocarpo, decresce com o aumento da temperatura de carbonização. May (1990).

QUADRO 14 - RENDIMENTO ENDOCARPO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA, LIMA (1954)

TEMPERATURA (°C)	RENDIMENTO (%)
340	36,9
400	33,7
500	30,6
520	29,3
750	24,7

Análise imediata deste mesmo carvão produzido a 750⁰C, apresentou a seguinte composição em peso:

Umidade.....	0,9 %
Cinzas.....	4,7 %
Matéria Volátil.....	3,2 %
Carbono Fixo.....	91,2 %

Isso nos mostra que sem sombra de dúvida, representa um carvão de excelente qualidade.

Verifica-se, ainda, que durante a carbonização do endocarpo, uma série de subprodutos são liberados, em quantidades muito maiores do que as obtidas nas destilações dos carvões usualmente utilizados na siderurgia. Assim, para uma carbonização efetuada a 520⁰C, tem-se, além dos 29,3% de carvão, a participação, em peso, dos seguintes subprodutos:

Gás (inclusive perdas).....	15,9%
Alcatrão.....	28,8%
Água Amoniaca.....	26,0%

Segundo o Prof Vivacqua, os gases liberados na carbonização do endocarpo, a uma temperatura entre 450 e 550⁰C, apresentam um rendimento médio de 300 m³/t (gás lavado). Estes gases, antes da purificação, contém elevada porcentagem de CO₂ e N₂, sendo relativamente baixo o seu poder calorífico. Após a lavagem e filtragem, estes gases saem sensivelmente enriquecidos, conforme mostra o quadro abaixo.

QUADRO 15 - COMPOSIÇÃO DOS GASES - CARBONIZAÇÃO DO ENDOCARPO, VIVACQUA (1968)

COMPONENTE	GÁS SEM TRATAMENTO	GÁS TRATADO
CO ₂	21,5	16,7
O ₂	2,3	1,2
N ₂	15,3	13,7
CH ₄	17,8	20,5
H ₂	16,5	18,5
CO	23,0	25,6
C _n H _m	3,6	4,0
P.C. (Kcal/m ³)	2.500 (1)	4.200 (2)

Este alcatrão bruto deve, por destilação, produzir de 30 a 60% de componentes, usualmente encontrados neste produto, tais como: óleos fenólicos, fenolatos, óleos antracênicos, etc. Dependendo de sua natureza, pode, ainda, o alcatrão bruto ser utilizado para melhorar a resistência e composição dos briquetes de carvão de babaçu com carvão mineral.

Da água amoniacal, por sua vez, resultam os seguintes produtos finais: ácido acético, ácido fórmico, metanol, etc.

Os subprodutos da carbonização podem viabilizar ainda mais o processamento do endocarpo do babaçu, possibilitando não só um faturamento extra, por meio dos destilados, bem como a auto-suficiência energética, por intermédio da reciclagem de uma parte do gás combustível liberado e que deve compensar o baixo rendimento carvão/endocarpo.

b) Tecnologia do Uso do Carvão de Babaçu

As excelentes qualidades do carvão de babaçu permitem substituir, vantajosamente, o carvão metalúrgico importado, exigindo, em certos casos, o uso de novas técnicas siderúrgicas. As possibilidades maiores são:

1. adição de carvão de babaçu nas misturas a serem coqueificadas .cerca de 2%;
2. substituição parcial ou total do fino de coque (“coke breeze”) no processo de sintetização de minérios de ferro;
3. fabricação de coque moldado, utilizando uma mistura de carvão mineral, na sua maioria nacional, e carvão de babaçu em até 70%;
4. uso em fornos cubilo de fundição de ferro, substiuindo o coque especial hoje importado;
5. uso em torno elétrico de redução, na produção de gusa ou ferro-ligas.

A STI e a SIDERBRAS estão trabalhando nos itens 1,2,3 acima e, em fins de 2008, já deverão ter realizados todos os teste em escala piloto ou semi-industrial. Em testes iniciais, realizados na França, o coque moldado, produzido com 70% de carvão de babaçu e 30% de carvão mineral de Santa Catarina, apresentou características de resistência mecânica e composição melhores que o coque utilizado atualmente em nossas siderúrgicas (70 a 80% importado). Em se concretizando uma produção deste coque moldado em escala industrial, nossas reservas carboníferas serão enormemente beneficiadas pela viabilização para fins siderúrgicos, das reservas de carvão de Santa Catarina.

Com relação ao item de número 4, a USIMINAS, por solicitação da Companhia Industrial Técnica, realizou em um de seus fornos cubilo testes com briquetes de carvão de babaçu, obtendo-se resultados surpreendentes com relação à qualidade do ferro produzido, comprovando, mais uma vez, as excelentes qualidades deste carvão como redutor. A utilização do carvão de babaçu na indústria de ferro-ligas já é uma realidade.

3.3 – Mercado e Análise do Carvão de Babaçu no Brasil

a) Mercado Potencial para o Carvão de Babaçu

No atual estágio de desenvolvimento tecnológico o carvão de babaçu, devido às suas excelentes qualidades, tem participação assegurada em diversos segmentos do mercado metalúrgico. Com o desenvolvimento de novas tecnologias de carbonização e usos, estes segmentos se ampliarão e toda oferta deverá ser absorvida, uma vez que ele se apresenta como substituto ideal ao coque importado. O carvão de babaçu já encontra suas principais aplicações em misturas a serem coqueificadas, no processo de sinterização, em carvão para produção de ferro-ligas e fundição.

a.1) Utilização como Inerte em Misturas a serem Coqueificadas

A demanda estimada a ser gerada pela utilização de 2% como inerte na mistura de carvões para a fabricação de coque, é mostrada no **quadro-16**.

QUADRO 16 - CONSUMO DE CARVÃO METALÚRGICO/ANO, May (1990)

Unidade: 10³t

ANOS	CONSUMO DE CARVÃO METALÚRGICO	DEMANDA 2% INERTE
1997	36.392	727,8
1998	37.960	759,24
1999	39.532	790,64
2000	41.101	822,0
2001	42.672	853,4
2002	44.243	884,9
2003	45.812	916,2
2004	47.380	947,6
2005	48.952	979,0

a.2) Uso na Sinterização

A demanda a ser gerada pela substituição parcial do coque fino, em sinterização, foi calculada a partir do consumo deste; considerando-se 10% como valor mínimo da relação coque fino/carvão a ser gerado na coqueificação, obtem-se o déficit de coque fino passível de ser coberto pelo carvão de babaçu.

QUADRO 17 - CONSUMO DE COQUE FINO, May (1990)

Unidade: 10³ t

CONSUMO DE COQUE FINO	GERAÇÃO DE FINOS	DÉFICIT DE FINOS
4.251,1	3.639,2	611,9
4.524,6	3.796,0	728,6
4.839,7	3.953,2	886,5
5.128,9	4.110,1	1.018,8
5.489,8	4.267,2	1.222,6
5.891,3	4.424,3	1.467,0
6.341,7	4.581,2	1.760,5
6.850,5	4.738,0	2.112,5
7.430,3	4.895,2	2.535,1

a.3) Carvão de Babaçu para Produção de Ferro-ligas

A estimativa da demanda para o setor de ferro-ligas foi considerada como sendo 30% do consumo previsto de carvão vegetal.

QUADRO – 18 CONSUMO DE CARVÃO PARA PRODUÇÃO DE FERROS-LIGAS, May (1990)

Unidade: 10³t

ANOS	CONSUMO DE CARVÃO VEGETAL	30% DO CONSUMO GLOBAL
1997	1.439,4	431,8
1998	1.498,0	449,4
1999	1.556,6	466,9
2000	1.615,1	484,53
2001	1.676,7	503,0
2002	1.732,2	519,7
2003	1.790,8	537,2
2004	1.849,4	554,8
2005	1.907,9	572,4

A.4) Briquete de Carvão de Babaçu para Fundição

O briquete de carvão de babaçu tem um mercado potencial no setor de coque de fundição, em substituição ao coque importado, nos seguintes montantes:

QUADRO 19 - PRODUÇÃO/ANO DO COQUE NACIONAL E IMPORTADO, May (1990)
Unidade: 10³ t

ANOS	COQUE TOTAL	COQUE NACIONAL	COQUE IMPORTADO
1997	847,6	466,2	381,4
1998	881,2	484,6	396,6
1999	914,8	503,1	411,7
2000	948,4	521,6	426,8
2001	982,0	540,1	441,9
2002	1.015,6	558,6	457,0
2003	1.049,2	577,1	472,1
2004	1.082,8	595,5	487,3
2005	1.116,4	614,1	502,3

a.5) Mercado Potencial

Os números globais da demanda potencial de carvão de babaçu estão reunidos no quadro abaixo:

QUADRO 20 - DEMANDA POTENCIAL DO BABAÇU, May (1990)
Unidade: 10³t

ANOS	DEMANDA POTENCIAL
1997	2.845,4
1998	2.970,6
1999	3.095,7
2000	3.220,8
2001	3.345,9
2002	3.471,1
2003	3.596,2
2004	3.721,4
2005	3.846,5

b) Análise do carvão

No empreendimento, o mercado de carvão está dimensionado para atender parte da demanda do setor siderúrgico nacional, visando inclusive contribuir para sanar um dos problemas fundamentais do atual Plano Siderúrgico Nacional, qual seja o da carência quantitativa e qualitativa do carvão vegetal ou mineral no País.

A alta qualidade do carvão de babaçu já era conhecida, em 1927, quando o coque produzido do endocarpo de babaçu foi apresentado para exame ao perito norte-americano em siderurgia, William Smith das Usinas Ford, em Detroit, que o qualificou “como uma das melhores espécies de coque, próprio para a fundição de ferro de mais alta qualidade. O teor de cinzas contido no carvão de babaçu é pequeno, fósforo e enxôfre não existem, seu alto ponto de fusão indica-o para a produção de ferros não porosos, cuja depuração, visto faltarem o enxôfre e o fósforo é desnecessária. O carvão de babaçu possui, além disso, um alto grau de filtração e absorção, e assim, pode ser usado como carvão de filtra”.

O carvão de babaçu, preparado a partir do endocarpo, 58% em peso do fruto, porta as qualidades apresentadas e comparadas com a madeira, no quadro. São dignos de maior atenção, o poder calorífico e ausência do enxofre.

QUADRO 21 – COMPARAÇÃO DAS CARAC. DO CARVÃO DE BABAÇU, May (1990)

ELEMENTOS	BABAÇU	MADEIRA
Umidade	4.100	5.860
Materiais Voláteis	16.400	23.520
Carbono Fixo	75.250	63.690
Cinzas	4.250	6.930
TOTAIS	100.000	100.000
Calorias	8.010	6.230
Enxofre	0,000	0,000

Os dados acima referidos foram confirmados posteriormente, em novembro de 1970, quando a Companhia Carioca Industrial solicitou ao Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul a análise do coque de babaçu. Os resultados foram os seguintes:

QUADRO 22 - ANALISE DO CARVÃO DE BABAÇU, May (1990)

ELEMENTOS	(%)
Umidade higroscópica	5,20
Materiais Voláteis	8,20
Carbono Fixo	78,00
Cinzas	8,60
Valor calorífico (kcal/kg)	7.305
Enxôfre	Zero

c) Comparativo com principais fontes primárias e secundárias de energia.

O quadro 23 abaixo, mostra o coque do babaçu, comparado com outras fontes de energia, principalmente no que se refere às fontes como: lenha e carvão vegetal, demonstrando que o coque do babaçu concentra um poder calorífico superior a estes

QUADRO 23 - PODER E CALORIFICO DO BABAÇU, ACIOLI (1994).

FONTES PRIMÁRIAS	PODER CALORÍFICO (Kcal/Kg)
GLP	11.760
Nafta	11.335
Gasolina de avião	11.350
Gasolina A	11.210
Gás de refinaria	8.800
Querosene de avião	11.080
Querosene	11.120
Óleo de combustível 10.000 a	10.800
Óleo de combustível médio	10.300
Óleo diesel	10.810
Coque de petróleo	8.500
Petróleo médio	10.800
Gás Natural	9.850 (1)
Carvão vapor 3.100 a	6.000
Carvão vapor médio	4.460
Carvão metalúrgico nacional	6.800
Carvão metalúrgico importado	7.920
Coque de Carvão de babaçu	7.300
Coque de Carvão nacional	7.300
Coque de Carvão importado	7.300
Gás canalizado 4.300 a	4.700 (1)
Gás de coqueira	4.500
Lenha	2.524
Carvão vegetal	6.800
Cana-de-açúcar média	1.070
Álcool etílico (etanol)	7.090
Álcool metílico (metanol)	4.760
Bagaco de cana	2.257 (2)
Xisto	1.458

3.4 – Análise de um Estudo de Caso no Maranhão

Caberia agora, depois de analisar o universo do potencial do coco babaçu, sua tecnologia, uso e mercado do mesmo, passar ao estudo mais detidamente das influências dessa importante matéria prima para o Estado do Maranhão.

Para a compreensão desse universo, realizamos um estudo de caso, em 04 (Quatro) principais municípios maranhense, localizados nas regiões dos cocais e cerrado, onde são maiores as ocorrências dos babaçuais **Figura 02**.

As pesquisas aconteceram na zona rural dos municípios de : Presidente Dutra (cocais); Codó (cocais); Pedreiras (cocais) e Caxias (cerrado).

Foram efetuadas 60 entrevistas em domicílios rurais situados no interior de fazendas e em cooperativas rurais em diferentes regiões, em média de 15 famílias por município.

Procuramos abranger no enfoque da pesquisa uma análise qualitativa e quantitativa da utilização integral do babaçu, em especial do carvão.

Os resultados são apresentados de forma unificada, visto que não houve grande variação nas respostas tabuladas nos diferentes municípios. Os principais aspectos evidenciados pelo estudo foram agrupados nos seguintes itens: perfil sócio-econômico do homem do campo, sistema de exploração atual, processo de fabricação do carvão, consumo do carvão e impactos ambientais, os quais são asseguir apresentados:

a) Perfil Sócio-econômico do Homem do Campo

Difícilmente se poderia analisar em separado o papel desempenhado pela terra e pelo homem, tendo em vista que a exploração do babaçu no Maranhão é de natureza extrativista.

A pesquisa mostrou que na zona dos cocais e cerrado maranhenses, a quebra do babaçu é encargo típico de famílias de baixa renda, onde 54 das 60 famílias (90%), possuem renda monetária menor que um salário mínimo, sendo que o maior número de quebradeiras são mulheres e crianças (80%) e se encontram entre os arrendatários, seguidos pelos posseiros e finalmente pelos proprietários com menos de 100 ha.

No entanto contrariando o pensamento generalizado de que a família rural tem na venda das amêndoas e da casca como sua principal fonte de renda, esta pesquisa mostrou que o número de famílias que dependem, quase que exclusivamente, do babaçu é realmente pequeno, ou seja, da população amostrada, apenas 21,67% das famílias é que dependem exclusivamente, do babaçu; os outros 78,33% restantes estão distribuídos do seguinte modo: em 16% das famílias, o babaçu contribui com 70% para a formação da renda familiar; em 29% com 50% e em 33,33%, com apenas 30%.

A média de habitantes por família é de 6 pessoas e em média cada quebradeira quebra de 8 a 12kg/dia e vende ao preço que varia entre R\$ 0,40 a R\$ 0,60 a amêndoa. Já o carvão é vendida a R\$ 5,00 o saco, que corresponde a 4 latas que também é vendida ao preço de R\$ 2,00.

No relacionamento proprietário/quebradeira é comum a obrigatoriedade de venda da amêndoa ao proprietário da terra, que oferece preço de 10 a 20% inferior ao vigente no mercado, funcionando a diferença como uma espécie de arrendamento pago ao proprietário. Há uma década essa diferença era maior, cerca de 40%.

A comercialização de amêndoas está montada sobre um sistema de intermediação entre produtores e a usina processadora. Qualquer modificação neste sistema objetivando a compra do coco inteiro poderá ser alvo de advertência por parte das pessoas vinculadas ao processo tradicional.

Os proprietários, ocupantes e/ou posseiros deverão ter abordagem adequada ao caso, objetivando o seu engajamento à estrutura industrial, assegurando assim o fornecimento da matéria-prima.

A pesquisa revelou ainda, o quadro à seguir, onde mostra os percentuais encontrados sobre a estrutura da posse da terra, onde se pode ver que a maior parte das terras está em posse dos proprietários e arrendatários, donde se conclui que a comercialização da amêndoa está estreitamente vinculada ao dono da terra.

QUADRO 24 - ESTRUTURA DE POSSE DA TERRA NOS MUNICÍPIOS PESQUISADOS

ESPECIFICAÇÕES	MUNICÍPIOS MARANHENSES								MÉDIA	
	PRES. DUTRA		CODÓ		PEDREIRAS		CAXIAS		TOTAL	
	Nº FAMÍLIAS	(%)	Nº FAMÍLIAS	(%)	Nº FAMÍLIAS	(%)	Nº FAMÍLIAS	(%)	Nº FAMÍLIAS	(%)
PROPRIETÁRIOS	2	13,33	1	6,67	3	20,00	5	33,33	11	18,33
ARRENDATÁRIOS	6	40,00	7	46,66	6	40,00	6	40,00	25	41,67
PARCEIROS	1	6,67	1	6,67	1	6,67	1	6,67	4	6,67
OCUPANTES OU POSSEIROS	6	40,00	6	40,00	5	33,33	3	20,00	20	33,33
TOTAIS	15	100	15	100	15	100	15	100	60	100

b) Sistema de Exploração Atual

Em resposta a 10ª pergunta do questionário, onde se enfoca sobre como é extraído a amêndoa da casca, obtivemos 100% das respostas que utilizam o machado como instrumento principal. A operação da quebra manual é demorosa e exaustiva, como vimos anteriormente, a mão-de-obra utilizada no setor é, em sua quase totalidade, composta por mulheres e crianças acima de 10 anos, sendo mínima a participação do homem, mais dedicado ao trabalho da lavoura de subsistência ou coleta do coco a ser quebrado pela família.

O sistema de coleta é rudimentar com transportes em mulas, com o uso de jacás até o destino de quebra e/ou vendas.

c) Processo de Fabricação do Carvão

A pesquisa revelou que o processo de fabricação do carvão de babaçu é feita pelo modo tradicional, praticado pela maioria dos extrativistas, consistindo em um buraco no chão, com dimensões variadas, denominado de “caeira”, onde as cascas são queimadas até ficarem brasas, quando então são abafadas com folhas de babaçu e coberta com terra.

O carvão produzido é de baixa qualidade, sem uniformidade quanto à umidade e aos teores de voláteis e de carbono fixo, devido a falta de controle de temperatura e velocidade de carbonização.

d) Consumo de Carvão

Pelos resultados obtidos na pesquisa este foi o único aspecto em que nos municípios apresentaram resultados diferenciados, pois nas cidades de Pedreiras e Codó, cerca de 50% das famílias produzem o carvão só para consumo próprio, já nas cidades de Presidente Dutra e Caxias esse percentual se inverte, pois só 30% das famílias produzem para consumo próprio, todo restante é destinado a comercialização (venda).

A utilização doméstica é feita através de fogão construído de latas com barro molhado, ou fogão feito de alvenaria maciça, construídas artesanalmente pelo próprio dono da casa ou pedreiro local, quando da construção da mesma.

O controle da intensidade do fogo é conseguido pela quantidade de manejo do carvão, sem o uso de qualquer dispositivo.

Alguns usos nos foi relatados atribuídos ao fogão de barro, movido carvão de babaçú nas localidades visitadas, trata-se de além de se utilizar o mesmo para cozer alimentos, se usa para aquecimento de água para lavagem de roupas. Um outro uso detectado, mesmo em domicílios que dispunham de energia elétrica, é o aquecimento do ferro de passar com a chama do fogão, seja pelo alto custo de eletricidade, seja pela impossibilidade de reparar o equipamento elétrico uma vez danificado.

Os percentuais de carvão produzidos destinados a venda, são entregues a comerciantes locais. Onde posteriormente são vendidas às indústrias (fábrica de cimento-NASSAU, padarias, olarias, cerâmicas e a Indústria), com quantidade mínima de fornecimento em caminhões de 10 a 15m³

e) Impactos Ambientais

Ao serem perguntados sobre se a quantidade de palmeiras tem aumentado ou diminuído nos últimos anos, 100% dos entrevistados declararam que as derrubadas e queimadas de palmeiras são uma constante em toda região, sempre por proprietários de terras com o objetivo de plantação de pastos para o gado. Esta prática já está sendo monitorada pelos técnicos do IBAMA, que regulamenta percentuais de números de palmeiras por ha a serem derrubadas para os fins anteriormente comentados. No entanto com a prática da utilização do carvão de babaçú em substituição à lenha de carvão vegetal, se reduz em muito os impactos ambientais como: desmatamento induzido da floresta nativa; a perda da biodiversidade, aceleração de erosões e perda da fertilidade do solo, contribuindo para o avanço do processo de desertificação.

CAPÍTULO 04 – O SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO: ACIONAMENTO DE UMA GELADEIRA POR ABSORÇÃO.

Procuramos estabelecer nesse capítulo um estudo individualizado sobre projeto de construção de um forno para produção de carvão de babaçu com melhores qualidades, em seguida estudar o termosifão bifásico fechado como elemento de troca de calor entre o forno e a geladeira e um sistema Platen – Munters da geladeira, só então estabelecermos o acoplamento final dos três sistemas, fazendo uma avaliação quantitativa e qualitativa, comparando aos resultados já estabelecidos em caráter experimental por Martins (1989).

4.1 – O Forno Proposto como Equipamento Térmico

Nosso objetivo agora é ter uma idéia quantitativa dos fluxos de calor que ocorrem no forno, analisando as perdas em relação à experimentos realizados com o fogão à lenha de madeira por Martins(1989) e Borges(1994) e manter a mesma localização para efetuar a retirada de calor para o acionamento da geladeira.

a) características do carvão de babaçu como combustível.

O fogo, em sua forma natural é conhecido do homem há. mais de 600.000 anos. Somente há cerca de 30.000 anos o homem conseguiu inventar uma fonte de ignição, conseguindo assim um certo controle sobre ele. Apesar de sua longa história, os fenômenos de combustão ainda não são completamente entendidos. As teorias modernas sobre combustão tiveram suas origens nos trabalhos de Mallard e Le Chateliêr, há cerca de 150 anos. Se considerarmos a combustão da madeira, que foi provavelmente um dos primeiros combustíveis utilizados pelo homem, somente tornou-se objeto de estudos científicos nos últimos 50 anos. O interesse principal desses estudos é o controle de incêndios (em prédios e florestas), tendo assim um caráter teórico pela dificuldade de se planejar e executar experimentos em escala real e seus resultados são de interesse restrito.

Uma descrição fenomenológica das transformações químicas que ocorrem com os três principais constituintes do endocarpo (celulose, hemicelulose e lignina) pode ser simplificada em três fases: (1) pirólise resultando na liberação de voláteis e formação de carvão, (2) queima de voláteis e (3) queima de carvão. Esses três processos dependem entretanto, das condições do endocarpo (umidade, tamanho, constituição, etc.).

Todos esses fatores tornam a análise do processo total muito complexa. Assim, para prover a taxa de liberação do calor vamos; ter que assumir hipóteses simplificadoras fortes.

Além da análise da constituição do endocarpo como um polímero natural, constituído em média de 23% de celulose. 22% de hemicelulose e 39% de lignina e 16% de outros materiais quadro-10, uma outra forma de analisá-la, de maior interesse para se determinar o calor de combustão e a quantidade de oxigênio necessária para a combustão é a chamada análise elementar (ultimate analysis). A análise elementar dá a porcentagem em peso dos principais elementos químicos: C, H, N, O, S e cinzas. Apesar de uma pequena variação das quantidades relativas de cada constituinte em diferentes tipos e partes do carvão há vários estudos que adotam valores diferentes, de modo que tomaremos nesse trabalho uma constituição média, proposta pelo MIC (1990). Quadro-22.

C	78%
O	8%
H	6%
Cinzas.....	8%

Além da constituição da madeira há outras propriedades físicas da madeira que são de interesse vital para os fenômenos da combustão: a umidade e o poder calorífico. Sendo um material higroscópico o endocarpo utilizado para a confecção de carvão para queima em fogões domésticos sempre possui uma certa quantidade de umidade, que pode ser determinada de forma relativamente simples conforme a norma ASTM D 2016-65. Martins (1989).

Por esse método, o conteúdo de umidade é calculado dos valores das pesagens obtidos antes e depois da secagem de uma amostra representativa em um forno com temperatura de 104° C até que o peso se mantenha constante.

Define-se como umidade em base úmida (W_u) a razão entre a massa de água existente na madeira e a massa total antes da secagem conforme a equação:

$$W_u = [(M_i - M_f) / M_i] \times 100 \quad (4.01)$$

onde: M_i é a massa inicial da amostra [kg]

M_f é a massa final da amostra após secagem [kg]

W_u é a umidade em base úmida [%]

A umidade em base seca (W_s) e a razão entre a massa de água existente na madeira e a massa total após a secagem conforme a equação:

$$W_s = [(M_i - M_f) / M_f] \times 100 \quad (4.02)$$

onde W_s é a umidade em base seca [%]

A medição do poder calorífico de combustíveis complexos como o endocarpo de babaçu pode ser feita experimentalmente através de um calorímetro isotérmico. Esse teste nos permite calcular o poder calorífico superior de uma amostra de endocarpo seco.

O calorímetro isotérmico nos fornece o PCS de uma amostra de endocarpo seco, entretanto, na maioria dos casos de combustão o endocarpo utilizado possui uma certa quantidade de umidade e a temperatura dos produtos de combustão liberados para a atmosfera é mais alta que a temperatura de condensação do vapor d'água presentes neles (proveniente da evaporação da umidade e formada na combustão).

Assim, em termos práticos o que nos interessa é o Poder Calorífico Interior (PCI) da madeira com W_s de umidade em base seca, que pode ser calculado pela equação:

$$PCI = \frac{I}{I + Ws} [(PCS - hlv)(Ws + 9H)] \quad (4.03)$$

onde:

hlv = entalpia de mudança de fase da água na temperatura do calorímetro (25° C) = 2440 kJ/kg

We = umidade da lenha em base seca [%/100]

H = fração mássica de hidrogênio na madeira. seca = 0,06

b) Geometria proposta para o forno

O estudo realizado por Martins (1989), Experimenta inicialmente o desempenho de um fogão a lenha tradicional de alvenaria do tipo em degrau dotado de forno localizado na parte superior. Através da metodologia denominada V.I.T.A de testes de eficiência do fogão pela cocção de fervura de água (water-boiling tests). O teste foi dividido em duas fases: uma de alta potência, onde se visa aquecer a água das panelas o mais rapidamente possível, mantendo-se este regime de operação por mais 15 minutos após a entrada de ebulição da água e a outra logo em seguida, retornando-se as panelas, a lenha e o carvão e mantendo-se o fogo a um nível mínimo suficiente para manter a água da 1ª panela em ebulição por um período de uma hora, ao final da qual são feitas novas pesagens.

Através dos dados obtidos foram calculados: o calor fornecido, a potência média fornecida, calor útil, a potência média útil e a eficiência. Pelo grande número de parâmetros envolvidos, foi feito um tratamento estatístico em termos de suas médias aritméticas, desvio padrão (s) e o coeficiente de variação (COV) que é adimensional. Os dados e resultados de cada teste são apresentados no **quadro 27** abaixo.

QUADRO 25 – EFICIÊNCIAS MÉDIAS DAS PANELAS E TOTAL, MARTINS (1989)

PANELA	1ª FASE			2ª FASE		
	H	S	COV	η	S	COV
1	2,60	0,27	0,10	2,18	0,42	0,19
2	2,36	0,56	0,24	1,10	0,48	0,44
3	0,93	0,14	0,16	0,20	0,10	0,51
Total	5,89	0,74	0,13	3,49	0,90	0,26

O balanço de energia foi feito para o teste de maior eficiência ($P_{mf}=10,97$ kw) considerando os seguintes fluxos médios de calor:

- Calor sensível nos produtos de combustão estequiométricos secos.
- Calor sensível no excesso de ar
- Calor sensível no vapor d'água (formada na combustão do ar úmido e proveniente da umidade da lenha).
- Calor perdido pela não oxidação completa do CO em CO_2 .
- Calor perdido por condução para a base e as paredes da câmara de combustão.
- Calor perdido por radiação e convecção das panelas.
- Calor perdido por radiação e convecção da chapa.

A **Figura 04** apresenta de forma gráfica o balanço de energia obtido nesse teste.

Na realidade Martins considerou esses resultados como uma avaliação da magnitude dos fluxos de calor, já que mais de 40% da energia contida na lenha queimada não foi possível de se detectar utilizando essa metodologia de cálculo.

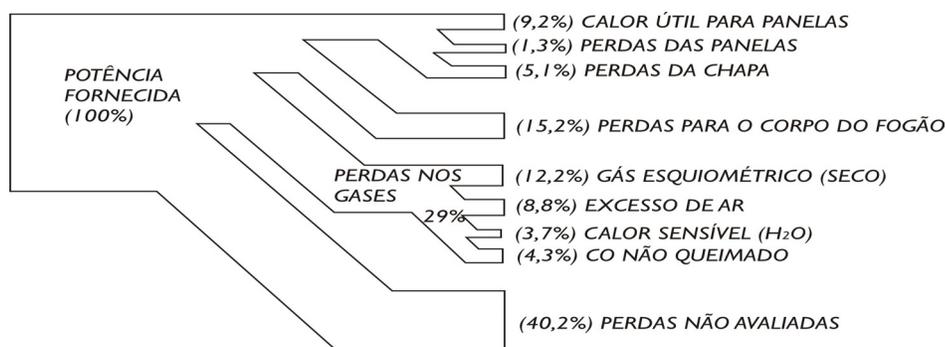


Figura 04: Balanço de energia para o teste de maior eficiência ($P_{mf} = 10,97$ kW). Martins (1989).

A dificuldade de fechamento do balanço de energia em fogões de grande massa é reconhecido por Prasad (1987).

Tendo constatado o superdimensionamento da câmara de combustão do fogão a lenha tradicional através dos testes, decidiu dimensionar uma nova câmara, sem modificar estruturalmente o fogão ou a chapa utilizada, para obter uma eficiência mais alta a um nível de potência mais baixo.

Apesar da combustão ocorrer somente na parte inicial da câmara, ela tem essa forma construtiva por dois motivos principais:

- a) Facilidade de alimentação: A lenha pode ser colocada na forma de galhos, mesmo que seja torta ou de diâmetro um pouco maior, e fica apoiada na base (taipa) do fogão. A medida que ela vai queimando, basta empurrá-la mais para o fundo da câmara.
- b) Quando o fogão é dotado de forno, para a utilização desse, a queima é efetuada na parte final da câmara, e com uma alimentação maior (talvez seja uma das causas do seu superdimensionamento).

A nova câmara foi dimensionada para uma potência média fornecida entre 8 e 9 kW (obtida com uma alimentação de cerca de 400g de lenha a cada 10 minutos), com um excesso de ar de 100%.

O princípio de dimensionamento é o de igualar as forças de flutuação nas condições de projeto à perda de carga total dentro do fogão, procurando localizar as maiores perdas de carga na base das panelas, e não na entrada da chaminé como é usual.

A Figura 05 apresenta o projeto da nova câmara, na qual foram instaladas as duas modificações já discutidas.

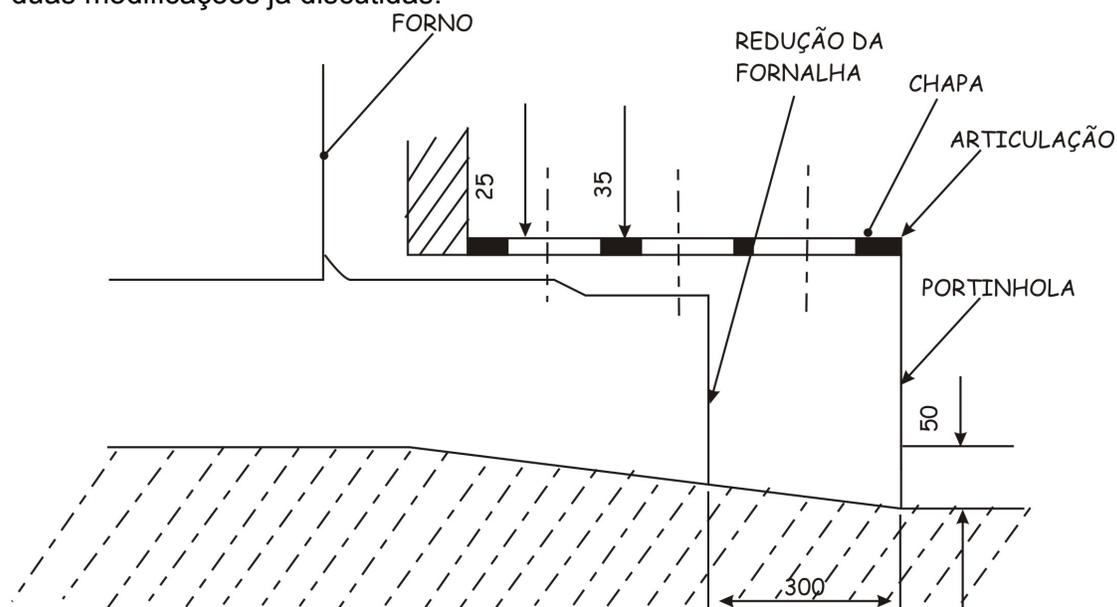


Figura 05: Detalhe do projeto da nova câmara de combustão para o fogão a lenha, Martins (1989).

Foram realizados testes seguindo a metodologia descrita anteriormente com o objetivo de avaliar a influência de cada modificação no desempenho do fogão. Os dados e resultados dos testes são apresentados no **quadro-28** abaixo.

QUADRO 26 – EFICIÊNCIA DO FOGÃO COMUM E MODIFICADO, Martins (1989).

CARGA	FOGÃO	COMUM		COM CHAPA		COM PORTA		PORTA + CHAPA	
		η [%]	λ [%]	η [%]	λ [%]	η [%]	λ [%]	H [%]	Λ [%]
400 g cada 10 min	Panela								
	1	3,56	156	4,69	170	5,01	147	5,70	103
	2	2,97		4,44		4,10		4,70	
	3	1,10		1,79		1,59		2,15	
total	7,63		10,92		10,70		12,55		

Podemos perceber que tais modificações, extremamente simples, baratas e de fácil implementação proporcionaram uma melhoria significativa na eficiência do fogão, principalmente nas painelas 2 e 3, além de promoverem uma redução sensível do nível de excesso de ar, aumentando assim a temperatura dos gases na chaminé, que podem vir a ser aproveitados para outros fins.

Cabe ainda notar que as modificações proporcionaram também uma maior facilidade e comodidade na operação do fogão, com uma redução de emissão de fumaça dentro do ambiente da cozinha.

O nosso trabalho propõe a mesma geometria do fogão testado por Martins(1989) com as modificações feitas, para fins de um único forno, sem as três aberturas para painelas. Acreditamos que os percentuais de perdas de calor utilizado nas mesmas, seja convertido em calor útil para o forno.

4.2 – O Termosifão Bifásico Fechado

Japikse(1980), apresenta uma visão geral do “estado da arte” a respeito de termosifões abertos, fechados e bifásicos, com uma extensiva revisão bibliográfica e exemplos de aplicação mais usuais de cada sistema.

Os termosifões bifásicos fechados são divididos por ele em dois grandes grupos: os com pequena quantidade de fluido de trabalho e os com quantidades moderadas.

O primeiro grupo, onde a quantidade de fluido de trabalho é apenas o suficiente para preencher o volume interno do tubo com vapor saturado e manter uma película de líquido molhando as paredes do condensador, região adiabática e evaporador, duas formulações analíticas simples para termosifões verticais são feitas por diferentes autores Cohen e Bayley (1955) para se prever o fluxo máximo de calor que pode ser transportado.

O objetivo dessa unidade é estudar uma maneira simples barata e eficiente de promover a transferência de calor do fogão a lenha para acionar o sistema de refrigeração convencional de absorção (geladeira a gás).

Na unidade anterior, sobre fogões e fornos verificamos a grande disponibilidade de energia existente durante a operação dos mesmos e determinamos que a base da câmara de combustão é a região mais propícia para a retirada de calor, tanto pelos níveis de temperatura que atinge como pela maior regularidade do regime térmico a que está submetida.

As exigências energéticas da geladeira de absorção disponível no mercado, apresentadas na unidade seguinte, foram obtidas das especificações do próprio fabricante e de testes com o sistema que será usado na montagem final.

Dentro do enfoque escolhido no trabalho: solução de baixo custo, alta confiabilidade e durabilidade, e, tentando minimizar o efeito dos transientes ao uso do forno, a solução inicialmente cogitada para o acoplamento térmico entre a câmara de combustão e o gerador de amônia foi a de um termosifão bifásico fechado.

As vantagens desse tipo de trocador de calor sobre os “tubos de calor” (quando é possível utilizar a gravidade como força de bombeamento), estão na sua simplicidade de construção, baixo custo, menor resistência térmica e limites operacionais mais amplos, além do efeito de diodo térmico Imura e colaboradores (1983).

A operação do termosifão bifásico fechado envolve a ebulição (vaporização) do líquido de trabalho no evaporador. Fluxo de vapor ao longo de uma zona adiabática, condensação do mesmo no condensador e retorno do condensado por gravidade ao evaporador em contra corrente com o vapor.

Os trabalhos experimentais Cohen e Bayley(1955), Mital(1972) e Imura e colaboradores(1983), tem demonstrado a existência de vários limites operacionais e o relacionamento destes com parâmetros geométricos (diâmetro, comprimento e inclinação do tubo, evaporador e condensador), físicos (quantidade e características do fluido de trabalho e do tubo) e operacionais (pressão de trabalho, temperaturas da fonte e sorvedor de calor).

Alguns desses limites operacionais são conhecidos na literatura como:

- 1) Limite de Secagem do filme de líquido (Dry-out Limit)
- 2) Limite de Queima ou Limite de Fluxo Crítico (Burn-out Critical Heat Flux Limit)
- 3) Limite de Inundação ou Arraste (Flooding/Entrainment Limit)
- 4) Limite de Oscilação (Oscillation Limit)

1) O limite de secagem do filme de líquido, verificado normalmente para pequenos carregamentos de fluido de trabalho, pode ocorrer em dois casos:

a) Quando a quantidade de fluido no termosifão é menor do que a envolvida no transporte de um determinado fluxo de calor, ou seja, menor que a quantidade de fluido necessária para preencher o tubo com vapor saturado e molhar as paredes internas do termosifão com um filme contínuo.

b) Quando alguma porção do evaporador seca devido a altas taxas de evaporação. Em ambos os casos, a secagem de parte do evaporador implica na diminuição da área efetiva de troca de calor e, caso o fluxo de calor seja mantido constante, no aumento da temperatura da região seca.

2) O limite de queima ou de fluxo crítico ocorre normalmente com grandes carregamentos de fluido de trabalho (quando o evaporador se encontra totalmente inundado), devido à mudança do regime de ebulição, o que causa a formação de um filme de vapor entre a parede do evaporador e o líquido, dificultando assim a troca de calor e provocando também um superaquecimento da parede do evaporador se o fluxo de calor for mantido no mesmo nível.

- 3) O limite de inundação ou arraste ocorre em geral em termosifões longos e com alto fluxo axial de calor, sendo ocasionado pela instabilidade do filme de líquido gerada pelas tensões de cisalhamento na interface líquido-vapor por causa das altas velocidades do vapor. Essa instabilidade provoca o arraste de gotículas de condensado pelo vapor até o condensador, diminuindo sua área efetiva de troca, ao mesmo tempo que cessa o retorno de líquido para o evaporador, provocando seu secamento.

- 4) O limite de oscilação, que é caracterizado por uma operação cíclica, com grandes variações de pressão e temperatura, foi estudado por Casarosa e Shelginsk(1983) em termosifões operando com água a baixas pressões de trabalho, com o evaporador inundado. Há inicialmente evaporação superficial com convecção natural acoplada ao aquecimento da água na piscina (evaporador), acontece então a formação repentina de bolhas, que a baixas pressões de trabalho possuem um grande diâmetro, carregando líquido até o condensador, onde ocorre o resfriamento do líquido e queda para o evaporador com seu consequente resfriamento, reiniciando assim o ciclo. Esse fenômeno é também conhecido como o Efeito Geysier.

A operação do termosifão em um regime oscilatório é prejudicial a vida do mesmo, pois envolve mudanças cíclicas e bruscas de temperatura e pressão, além de ruído e vibrações indesejáveis.

O experimento desenvolvido por Martins (1989) para a utilização do termosifão satisfatório para o acoplamento entre o forno e a geladeira começa com:

A construção do fogão em chapa de aço ao invés de alvenaria se deve à maior facilidade para se efetuar modificações no projeto do termosifão que se mostrasse necessárias.

Na primeira fase do trabalho, dimensionou um termosifão bifásico para um fluxo de calor de 300 W, temperatura de trabalho de 280 °C, pressão de trabalho correspondente a 6,4 MPa, temperatura do evaporador de 350 °C e temperatura do condensador de 220 °C. A forma e o diâmetro do termosifão foram determinados a

partir das restrições geométricas existentes para o acoplamento dos dois sistemas já existentes: o fogão e a geladeira.

O termosifão consiste de um tubo de cobre de 1,46m de comprimento, diâmetro externo 3/8" (9,525 mm) e diâmetro interno 1/4" (6,35 mm), com evaporador horizontal de 300 mm, a região adiabática inclinada em 10° com 875 mm e o condensador vertical, conforme a **Figura 06**.

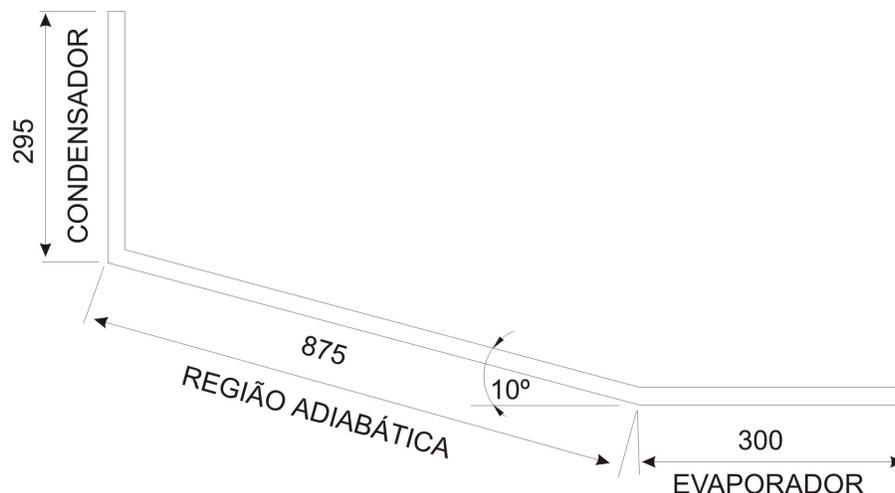


Figura 06: Formato e principais dimensões do Termosifão Utilizado. Martins (1989).

O tubo foi conformado a frio no formato desejado, depois limpo, soldado e então evacuado, carregado com o fluido de trabalho (água) e selado. Sabia que a quantidade de água era um dos parâmetros de grande influência no estabelecimento do fluxo máximo de calor que o termosifão pode transportar.

O objetivo nessa fase do trabalho era avaliar o fluxo de calor disponível no condensador do termosifão para diferentes regimes de queima em função do tempo.

Nos primeiros testes, com o termosifão carregado com 2,5 ml de água, percebeu-se que essa quantidade era muito pequena para as condições existentes no fogão. As temperaturas obtidas no condensador se estabilizaram por volta de 50°C enquanto as temperaturas no evaporador continuaram subindo, ultrapassando inclusive a temperatura crítica da água, indicando assim que o evaporador estava seco.

A potência máxima dissipada no condensador nesses testes foi por volta de 15 W. Nessas condições foi observada a presença de gases não condensáveis no condensador pois parte dele estava inativo, ou seja, à temperatura do fluxo de ar.

Decidiu então aumentar o carregamento para 5 ml de água, representando então 52,6% do volume do evaporador e 10,8% do volume total. Os testes, entretanto, não tinham uma boa repetibilidade, pois em alguns deles ocorria o fenômeno do primeiro carregamento, ou seja, secava-se totalmente o evaporador. Aumentou então ainda mais o carregamento de água no termosifão, para 11ml, representando 115% do volume do evaporador e 23,8% do volume total.

Para os dois primeiros carregamentos de água (2,5 e 5ml) a temperatura da parede para o cálculo do fluxo de calor dissipado no condensador foi tomada como igual a temperatura medida no meio do condensador, enquanto para os testes com carregamento de 11ml foi utilizada como temperatura de parede a medida das duas temperaturas medidas no condensador. Percebemos, através dos testes, que nesse termosifão o evaporador é a região que controla o seu comportamento.

Pela metodologia de teste utilizada, ele não conseguiu detectar categoricamente a razão da ocorrência de secagem do evaporador em alguns testes e não em outros, porém, acredita-se que, durante o aquecimento, o evaporador deve passar por um regime de ebulição a baixa pressão onde as bolhas tem um diâmetro da ordem de grandeza do diâmetro do tubo, e ao se deslocarem rumo ao condensador devem carregar junto uma grande quantidade de líquido, secando o evaporador e permitindo que haja um aumento rápido de sua temperatura.

De todas as observações feitas, concluiu que deveria aumentar o diâmetro do termosifão, pois, mantendo-se o mesmo nível do fluxo axial de calor ($3,47 \times 10^6 \text{ W/m}^2$), para obter uma transferência líquida cerca de 350W, necessitaria de um diâmetro interno de aproximadamente 12 mm. O aumento do diâmetro do evaporador poderá inclusive evitar a ocorrência do fenômeno descrito acima que provoca a secagem do evaporador.

Utilizou então um tubo de aço inoxidável de parede mais fina, porém que poderia suportar a pressão de trabalho com mais segurança . Utilizou então um tubo de diâmetro externo 19,05 mm, e 1 mm de espessura de parede de SS 316. O novo termosifão, com a mesma forma do anterior foi construído pelo mesmo processo e enchido com 70 ml de água, representando 102% do volume do evaporador e 21% do volume total.

Depois de pronto, o termosifão foi colocado na mesma posição do primeiro protótipo, (abaixo da câmara de combustão). Foi utilizado o mesmo procedimento de teste já descrito e o mesmo equipamento para dissipação do fluxo de calor no condensador (fluxo de ar ambiente).

O resultados de 5 testes realizados com esse novo termosifão, nos indicou que , apesar de Ter resolvido o problema da secagem do evaporador que ocorria com o termosifão de menor diâmetro, não conseguimos obter fluxos de calor no condensador maiores que 80 w. Percebemos que os valores da temperatura da região adiabática estavam muito mais baixos do que os obtidos nos testes com o termosifão de cobre (135°C contra 260°C), indicando assim que a resistência térmica na região do evaporador estava muito alta.

O parâmetro que utilizou para comparar as eficiências das trocas térmicas no evaporador é o “coeficiente global de transferência de calor no evaporador”. Esse parâmetro caiu de valores da ordem de 300 W/m²K nos testes com termosifão de cobre onde não ocorria a secagem do evaporador para valores da ordem de 70 W/m²K nos testes com termosifão de aço encaixado abaixo da base da câmara de combustão. Baseado nessas indicações, retiramos o termosifão da sua posição e o colocamos de forma que evaporador ficasse acima da base da câmara de combustão, sem contato com essa mas em contato direto com as brasas e a chama. Nesse teste não foi possível se obter as temperaturas no evaporador, porém as temperaturas médias da região adiabática subiram para até 200°C. O fluxo de calor dissipado no condensador manteve-se no mesmo nível dos obtidos nos testes anteriores: máximo de 75 W.

O próximo passo no sentido de se melhorar a troca térmica da região de queima para o evaporador do termosifão foi dotar o evaporador de uma aleta. Essa aleta: uma placa de cobre no formato da base da câmara de combustão, com uma espessura de 1,5 mm, foi soldada a um tubo de cobre. Além disso, foram feitos furos de 5 mm de diâmetro em toda a placa para que ela atuasse como uma grelha, permitindo uma melhor distribuição do fluxo de ar pela região de queima e assim uma melhoria da combustão.

A **Figura 07** mostra em detalhes essa montagem. A grelha está situada cerca de 25 mm acima da base da câmara de combustão, que passa assim a funcionar como um depósito de cinzas.

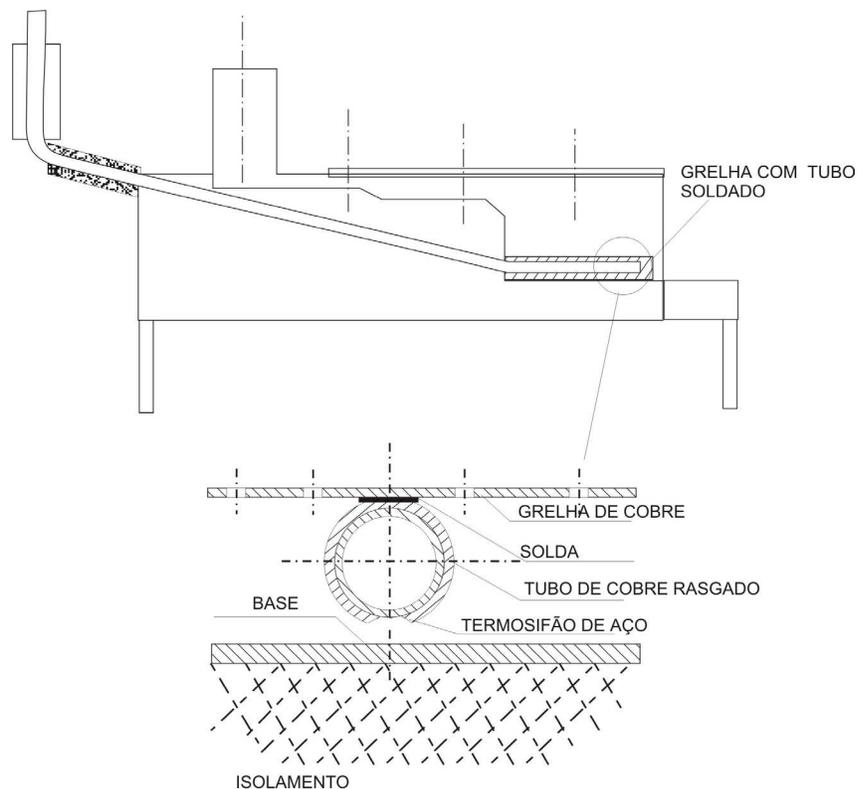


Figura 07: Detalhe da montagem para teste do termosifão. Martins (1989).

Esses resultados nos mostraram que o termosifão em estudo já consegue transmitir fluxos de calor acima de 300 W, podendo portanto ser utilizado no acoplamento entre o fogão e a geladeira.

Antes portanto de promover o acoplamento físico entre o fogão e a geladeira, resolveu estudar as consequências da modificação da geometria e forma de dissipação de calor no condensador. Para isso, utilizou para a dissipação de calor no condensador uma réplica do gerador de amônia e trocador de calor de soluções da geladeira, tendo assim, condições de estudar experimentalmente, com o sistema despressurizado (pressão atmosférica) e utilizando água como fluido de dissipação de calor, o comportamento do termosifão quando acoplado ao gerador.

Os valores dos “coeficientes globais de transferência de calor no condensador” (U_{conde}) aumentaram em relação aos valores obtidos no teste com a mesma configuração de evaporador mas com dissipação de calor no condensador através de fluxo de ar passando de valores da ordem de 400 a 450 W/m^2K para valores entre 600 a 700 W/m^2K . De todas essas observações, podemos agora Ter uma visão mais abrangente do comportamento do fogão, do termosifão e do sistema acoplado, ficando assim mais seguros do acoplamento com a geladeira.

Sabemos da literatura pesquisada que a temperatura de vaporização do **NH₃** no gerador de amônia da geladeira deve ser entre 150 e 180°C. Assim, podemos assumir que com uma taxa de queima de 400 g a cada 10 minutos, as condições de operação do sistema serão similares aos experimentados por (Martins,1989). Se o “coeficiente global de transferência de calor no condensador” se mantiver constante da ordem de 550 W/m^2K , podemos prever um aumento da temperatura e pressão de trabalho do termosifão, mas com um fluxo de calor suficiente para a alimentação da geladeira.

Passaremos assim, para a fase seguinte: o estudo do comportamento da geladeira e o acoplamento final dos três sistemas.

4.3– Princípios dos Sistemas de Refrigeração (Geladeira Platen-Munters)

4.3.1 - Princípios dos sistemas de refrigeração

Em um artigo retrospectivo sobre o desenvolvimento dos sistemas de refrigeração por absorção, Taylor (1945) classifica os sistemas de refrigeração baseado no número de fluidos que participam ativamente no ciclo. O equipamento mais simples segundo essa classificação é o de único fluido, ou unidade padrão de refrigeração por compressão vapor. O seguinte é o que utiliza dois fluidos, ou sistema de refrigeração por absorção, onde um fluido refrigerante e um absorvente participam do ciclo.

Finalmente temos as unidades com três fluidos, onde além do refrigerante e do absorvente, temos um terceiro fluido que é um gás inerte, introduzido com a finalidade de equalizar a pressão total do sistema em todos os seus componentes, eliminando-se assim quaisquer partes móveis (válvulas, bombas, compressores, etc.). Esse sistema é conhecido como sistema Platen-Munters em homenagem a seus inventores.

a) Sistemas com um fluido (Sistemas de compressão)

O'Leary (1941) apresenta como primeiro registro de sistema de refrigeração por compressão. (com um único fluido), uma patente britânica datada de 1834 em nome de Jacob Perkins, de um aparelho que compreende um compressor manual, um condensador resfriado a água. uma válvula no fim do condensador e um evaporador imerso no fluido a ser resfriado.

Esses sistemas são bastante difundidos atualmente tanto industrial como residencialmente. Nosso interesse específico não está ligado a esse tipo de sistema, portanto não vamos discuti-lo aprofundadamente, apenas utilizá-lo como parâmetro de comparação dos demais ciclos.

b) Sistemas com dois fluidos (sistemas de absorção)

b.1) Operação periódica (ou intermitente)

O princípio de operação dos sistemas de absorção já era conhecido e estudado desde o início do século XIX, Em 1810 Sir John Leslie construiu um equipamento composto por dois recipientes conectados por um tubo, conforme mostra a **Figura 08** um deles continha água pura (refrigerante) e o outro continha ácido sulfúrico (absorvente). O sistema foi então evacuado e o ácido sulfúrico começou a absorver o vapor d'água, forçando a vaporização de mais água do outro recipiente para a equalização das pressões, até que a água se congelou.

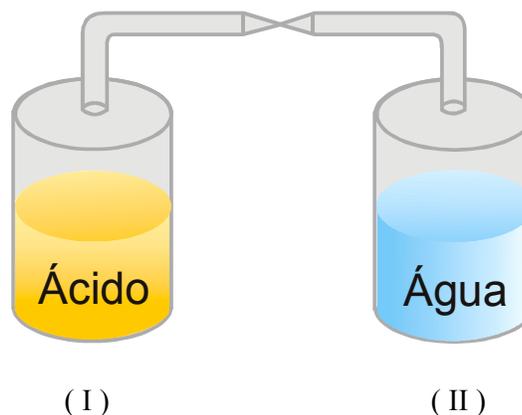


Figura - 08: Esquema de um sistema de refrigeração por absorção periódico. Martins (1989).

O funcionamento desse sistema pode ser melhor compreendido com o auxílio do diagrama da **Figura 09**. Partindo de uma situação de equilíbrio de temperatura a T_0 , a pressão de vapor do refrigerante puro é maior que a da mistura refrigerante-absorvente. Abrindo-se a válvula do tubo de conexão entre os recipientes, o vapor do refrigerante irá do recipiente II ao recipiente I. A pressão de equilíbrio de I é excedida, forçando a condensação do refrigerante, que cede seu calor latente de condensação à mistura, fazendo assim aumentar sua temperatura e conseqüentemente a pressão de equilíbrio.

O processo inverso ocorre em II: a temperatura cai devido a evaporação do refrigerante, fazendo assim cair a pressão de vapor em II. Gradualmente se estabelece o equilíbrio de pressões entre os dois sistemas, que gera uma diferença de temperaturas.

Como a quantidade de massa do sistema é limitada, o sistema funciona recebendo calor a baixa temperatura em II e cedendo calor a uma temperatura mais elevada em I até que todo o refrigerante de II seja consumido. Tem-se então que regenerar a solução resultante em I, ou seja, separar o refrigerante do absorvente para reiniciar o processo, o que é feito através do aquecimento do recipiente I, forçando o vapor d'água a evaporar-se, simultaneamente ao resfriamento do recipiente II, onde ele deverá se condensar. Assim, esse ciclo funciona periodicamente.

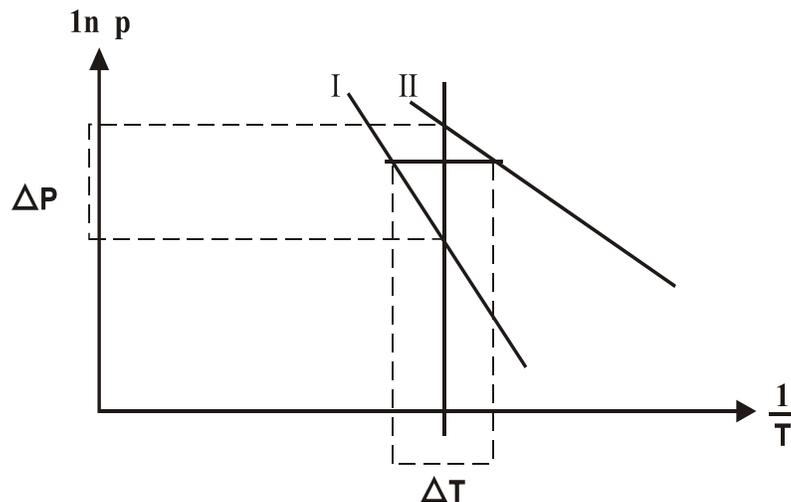


Figura 09: Equilíbrio de pressão e temperatura no processo de absorção periódico. Martins (1989).

Equipamentos de refrigeração periódicos utilizando esse princípio tiveram uma grande penetração a nível residencial nos EUA e Europa entre 1920 e 1930.

b. 2) Operação contínua:

O princípio das máquinas de refrigeração por absorção contínuas foi apresentado por Ferdinand Carré em uma série de patentes entre 1859 e 1862. Nessas máquinas, o par clássico amônia-água (refrigerante-absorvente) era utilizado. O esquema simplificado dessa máquina é apresentado na **Figura 10**.

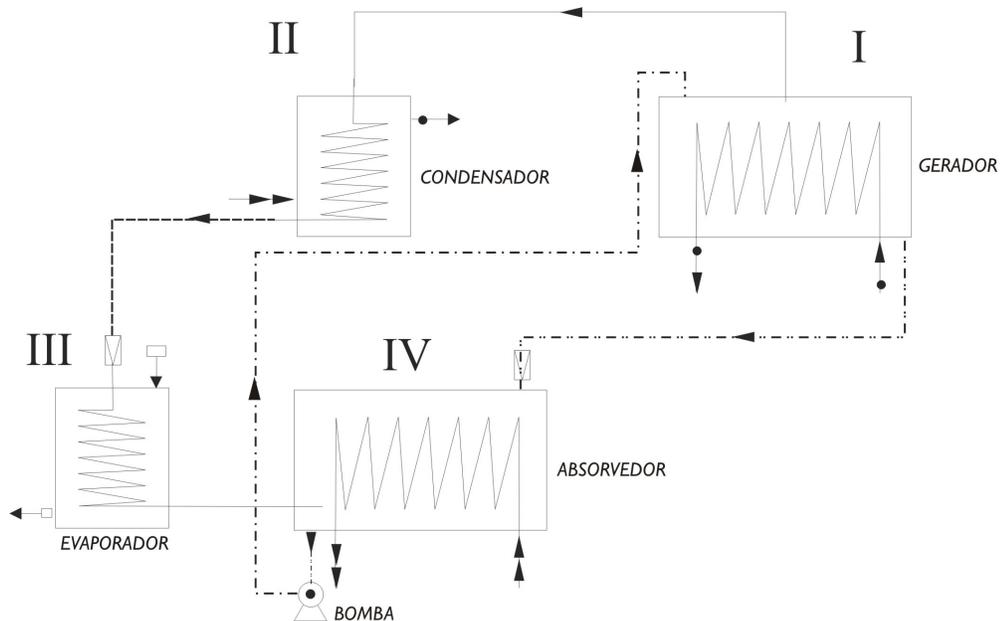


Figura 10: Esquema de uma máquina de refrigeração por absorção e operação contínua. Martins (1989).

À solução de água e amônia é aquecida no gerador (I). como a volatilidade da amônia é maior que a da água, ela se evapora a alta pressão e temperatura. O vapor de amônia segue então para o condensador (II), onde através do resfriamento se liquefaz ainda à pressão do gerador. Ao final do condensador uma válvula de expansão promove a redução de pressão necessária para que a amônia se vaporize no evaporador (III) a baixas temperaturas, retirando calor do meio a ser refrigerado.

A solução pobre que sai do fundo do gerador passa por uma válvula que causa a mesma queda de pressão da válvula da saída do condensador.

Essa solução pobre entra em contato com o vapor de amônia que sai do evaporador, e com a retirada do calor de absorção, o vapor de amônia se condensa enriquecendo a concentração da solução no absorvedor (IV). Do absorvedor a solução rica é então bombeada para o gerador novamente.

O processo ideal descrito acima pode ser representado no diagrama da **Figura 11**. A solução descreve o circuito 3-5-6-2, onde a geração de vapor ocorre entre os estados 3 e 5 (abaixando a concentração da solução de ξ_{ar} para ξ_{ap}) e a absorção entre os estados 6 e 2. o processo 5-6 é a redução de pressão e temperatura que ocorre na válvula de solução pobre.

A parte da amônia que é vaporizada realiza o circuito 3-4-1-2. O processo de condensação da amônia pura ($\xi=1$) é representado pelo ponto 4, assim como a vaporização é representada pelo ponto 1 entre esses dois processos, temos o processo que ocorre na válvula de expansão entre 4 e 1. O processo 2-3 é comum a ambos os circuitos, representando o bombeamento da solução rica do absorvedor ao gerador.

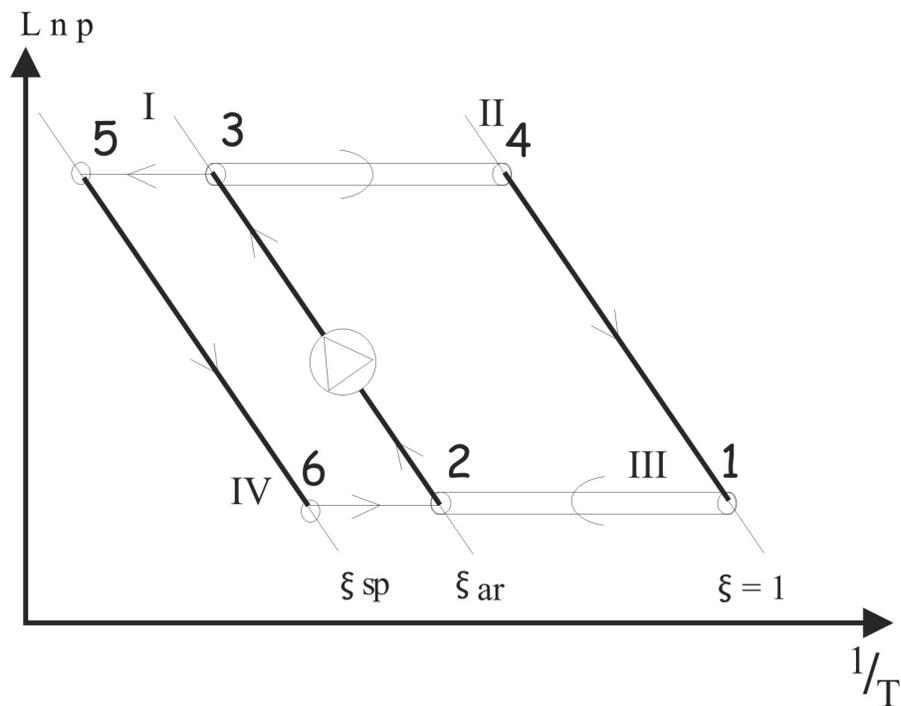


Figura 11: Representação do ciclo teórico de uma máquina de absorção de operação contínua no diagrama $Lnp \times 1/T$. Martins (1989).

Devemos ressaltar que, como nos sistemas de compressão, os sistemas de absorção trabalham com dois níveis de pressão: alta pressão no gerador e condensador e baixa pressão no evaporador e absorvedor. Entretanto, diferentemente do ciclo de compressão que possui dois níveis de temperatura, o ciclo de absorção possui três níveis: temperatura alta na geração de vapor, temperatura baixa na evaporação e temperatura intermediária na condensação e absorção.

Esse tipo de equipamento, introduzido nos EUA pelo próprio Carré durante a Guerra Civil, quando o fornecimento de gelo pelos Estados do Norte foi cortado, teve grande difusão a nível industrial, decaindo já no fim do século XIX devido ao desenvolvimento do projeto mecânico dos compressores e a difusão da eletrificação. Martins (1989).

c) Sistemas com 3 fluidos (Sistema Platen-Munters)

O sistema de refrigeração por absorção contínuo, apesar de ser fundamentalmente movido a energia térmica, possui uma bomba de solução rica, e exige portanto trabalho mecânico para seu funcionamento.

Para evitar o bombeamento mecânico da solução rica no ciclo de absorção Geppert (1899) sugeriu a introdução de um gás inerte incondensável nas partes de baixa pressão do sistema (evaporador e absorvedor) para completar a pressão total que é mais ou menos igual à pressão de condensação.

Ele utilizou o ar como gás inerte, porém sem sucesso. O processo de difusão da amônia no ar é muito lento, e além disso, a mistura de ar e vapor de amônia tem densidade menor que a do ar não promovendo assim a circulação dos gases no sentido desejado.

Dois suecos, Baltzar Carl von Platen e Carl George Munters (1922), sugeriram o uso de hidrogênio como gás inerte, O H_2 puro é mais leve que a mistura com vapor de amônia, conseguindo-se assim circulação no sentido desejado. Além disso, a difusão de NH_3 em H_2 é mais intensa que no caso do ar.

A idéia de Von Platen e Munters . deu certo e foi comercializada com grande sucesso pela' Electrolux na Europa e Servel nos EUA para o mercado de refrigeradores doméstico a partir de 1930, inibindo assim o desenvolvimento dos sistemas periódicos que na década anterior havia florescido bastante nessa faixa de mercado.

Taylor (1945) apresenta uma série de dispositivos que podem ser utilizados para promover o bombeamento da solução rica do absorvedor ao gerador sem a utilização de trabalho externo, utilizando diferenças de temperatura, concentração, pressão, nível de líquido (gravidade), etc. Entretanto, para os refrigeradores domésticos o sistema Platen-Munters utilizando par amônia-água e hidrogênio como gás inerte é o que tem mais se difundido.

4.3.2– Geladeira tipo Platen-Munters

A operação do sistema escolhido para teste, uma geladeira produzida pela Consul S/A. é descrita por Martins(1989) conforme as especificações do fabricante e de valores de temperatura obtidos de testes com o sistema operando com resistência elétrica de potência nominal 260 W constante, sem carga (geladeira vazia).

A **Figura 12** apresenta um desenho esquemático do equipamento com seus principais componentes, os pontos de medição de temperatura e os fluxos de calor envolvidos por kg de amônia que entra no condensador.

Quando o calor é fornecido ao tubo bomba através da solda de contato (com o tubo de chama ou com o tubo de inserção da resistência elétrica), este se aquece atingindo a temperatura de vaporização da solução que aí se encontra à pressão de 25 atm. Com isso há a formação de bolhas de vapor que, devido ao pequeno diâmetro do tubo e à diferença de densidade entre o vapor e o líquido, formam um escoamento bifásico do tipo pistonado, transportando a solução para a saída do tubo bomba (ponto 3).

Nesse ponto a solução pobre, com temperatura cerca de 180°C e concentração de 0,15 se separa do vapor que está em equilíbrio com ela à mesma temperatura e concentração de cerca de 0,58. A cada incremento de solução pobre que é transportado pelo tubo bomba e atinge o ponto 3, uma quantidade idêntica transborda para dentro do absorvedor (ponto4), passando pelo espaço anular entre os tubos do trocador de calor de soluções. Já o vapor que sai do tubo bomba, desce pelo outro tubo e é obrigado a borbulhar na solução rica que vem do tubo interno do trocador de calor de soluções.

Esse é o chamado “analiser”, cuja função é aumentar a concentração de amônia que sai do gerador. O vapor que sai do “analiser” está em equilíbrio com a solução rica que entra nele, a uma temperatura de cerca de 145°C.

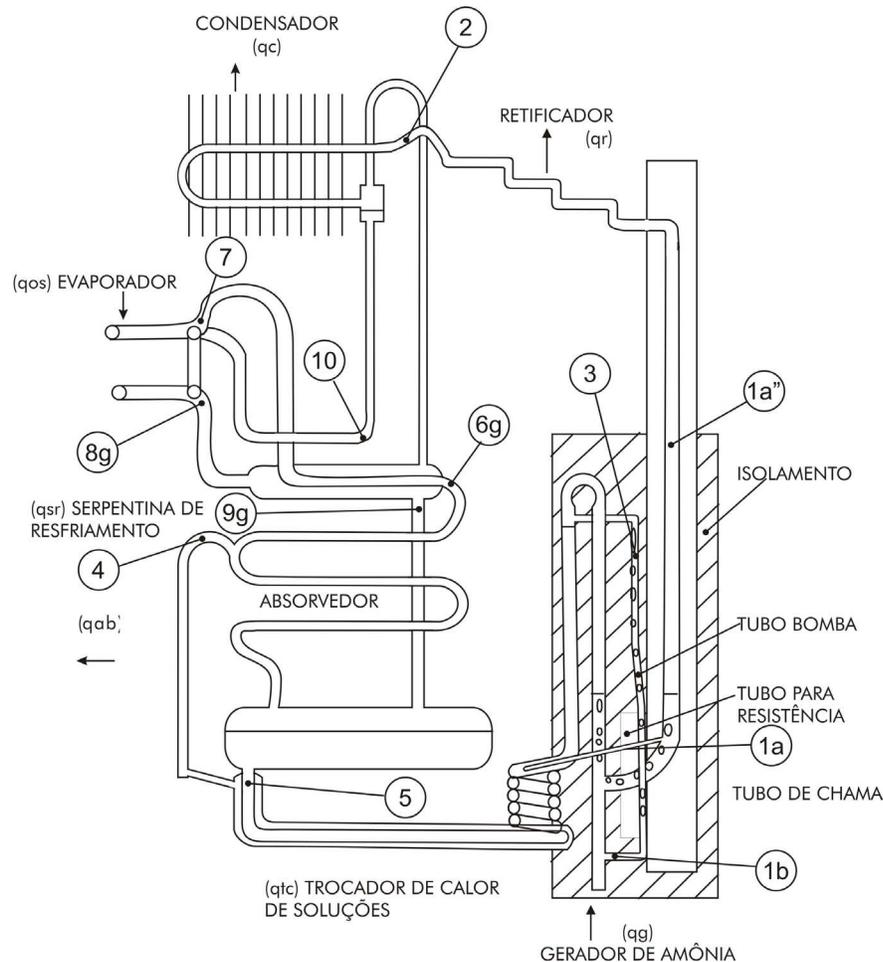


Figura 12: Esquema de um sistema de refrigeração do tipo Platen-Munters, Martins (1989).

A solução que sai do “analiser” no (ponto 1b) está mais aquecida e menos concentrada que a solução rica que chega a ele por (1 a) (cerca de 180°C e 0,23), e se encaminha então para o tubo bomba.

O vapor que sai do “analiser” por (1 a), em equilíbrio com a solução rica tem uma concentração de cerca de 0,84, passa então pelo retificador onde através do resfriamento pelo ar ambiente ocorre a condensação do vapor d’água (menos volátil) que escorre de volta ao gerador, obtendo-se ao final do retificador amônia praticamente pura a uma temperatura de cerca de 58°C, que é a temperatura de condensação de amônia na pressão de 25 atm.

No condensador, através do resfriamento pelo ar ambiente, a amônia será resfriada a uma temperatura próxima da temperatura final de evaporação. A construção da serpentina permite que se forme um sifão, que serve como um selo de amônia líquida que impede que o hidrogênio passe do evaporador para o condensador.

Ao transbordar para dentro do evaporador no (ponto 7), a amônia líquida entra em contato com a mistura gasosa de H_2 e NH_3 que saiu do absorvedor pelo (ponto 6g) e passou pelo tubo interno da serpentina e subresfriamento. Essa mistura é pobre em amônia e portanto sua pressão parcial na mistura gasosa é pequena (entre 1,0 e 1,5 atm). O processo de evaporação é conjugado com a difusão do vapor de amônia no hidrogênio, assim, a pressão de vapor da amônia líquida deve ser mais alta que a pressão parcial de vapor na mistura gasosa para que a difusão possa ocorrer.

A medida que amônia se evapora e difunde no H_2 , sua pressão parcial na mistura gasosa aumenta. A mistura gasosa rica em vapor de NH_3 é mais pesada que a pobre, provocando assim uma circulação dos gases no sentido anti-horário da **figura 12**. No início do evaporador, onde a pressão parcial do NH_3 no gás pobre é mais baixa (1 a 1,5 atm), a temperatura de vaporização é também mais baixa (por volta de $-25^\circ C$) essa parte superior do evaporador é utilizada como congelador.

Na parte inferior, a pressão parcial do vapor de NH_3 no gás aumenta para 2 a 3 atm, dependendo da carga térmica, aumentando conseqüentemente a temperatura de vaporização para valores entre -15 e $0^\circ C$. Essa parte do evaporador com temperaturas mais elevadas é usada para refrigerar o gabinete da geladeira através de aletas.

Do final do evaporador, o gás rico em NH_3 a baixa temperatura (ponto 8g). passa pelo espaço anular entre os tubos da serpentina de subresfriamento, onde irá resfriar tanto o gás pobre como a amônia líquida que entrarão no evaporador. Segue então para o absorvedor (ponto 9g), onde entrará em contato com a solução pobre que desce em contra-corrente com grande tendência a absorver amônia. Aqui também, para haver a absorção do vapor de NH_3 do gás rico para a solução é necessário que a pressão parcial do NH_3 no gás seja sempre maior que a pressão de vapor da solução. Como o processo é contra-corrente, a pressão de vapor da solução rica deve ser

menor que a pressão parcial do NH_3 no gás rico e a da solução pobre menor que a do gás pobre. Além disso, para que a absorção ocorra, é necessário rejeitar o calor de condensação do vapor de amônia e o calor de solução de NH_3 em H_2O .

Na parte inferior do absorvedor, há um reservatório que coleta a solução enriquecida de amônia. Esse reservatório está ligado à entrada de “analisar” através do trocador de calor de soluções. Nesse trocador de calor, a solução pobre que sai do gerador a alta temperatura (180°C), cede calor para a solução rica que vai para o “analisar”, onde entrará com temperatura de cerca de 145°C . Isso permite uma absorção mais eficiente pela solução pobre diminui a quantidade de calor a ser fornecida no gerador.

No experimento realizado por Martins(1989) com a geladeira observou-se que a diminuição da temperatura final de evaporação com uma queda bastante acentuada tanto do efeito frigorífico como da capacidade de refrigeração. Outro fato que cabe notar é que apesar das mudanças nas condições de operação do evaporador, o comportamento dos demais componentes do ciclo é pouco alterado. Esse comportamento foi também observado por Pagliuso *et alli* (s.d.) que determinaram experimentalmente a capacidade frigorífica de uma sistema de refrigeração por absorção de amônia similar ao utilizado por Martins (do mesmo fabricante inclusive) medindo simultaneamente, através de termopares, as temperaturas nos principais pontos do sistema para duas potências fornecidas ao gerador através de resistência elétrica (260 e 380 W).

4.4 – Acoplamento dos três sistemas (resultados da comparação)

4.4.1– Teste do Acoplamento

Conhecendo o comportamento dos sistemas (fogão - termosifão e geladeira) quando sujeitos a regimes de operação relativamente constantes, poderemos então realizar finalmente o acoplamento (forno – termosifão – geladeira).

Esse acoplamento é feito de forma semelhante ao que sugere Martins(1989), ou seja, inserindo o condensador do termosifão dentro do tubo de chama do gerador de amônia e utilizando a mesma liga (60% chumbo e 40% de estanho) para melhorar o contato térmico entre eles.

Poderão tomadas temperaturas em vários pontos do refrigerador de amônia da geladeira, indicados no detalhe da **Figura 13**, assim como as temperaturas do ar no centro do congelador e em três pontos do gabinete da geladeira e em três pontos da região adiabática do termosifão.

No teste com o termosifão de aço encaixado na grelha, cuja metodologia de teste seguiu a que havia sido utilizada na fase anterior, foram feitas duas medições e o excesso de ar médio foi de 147% com um fluxo de calor nos gases de combustão da ordem de 2,7 KW, sendo que a Potência fornecida foi de 9 KW. Martins (1989).

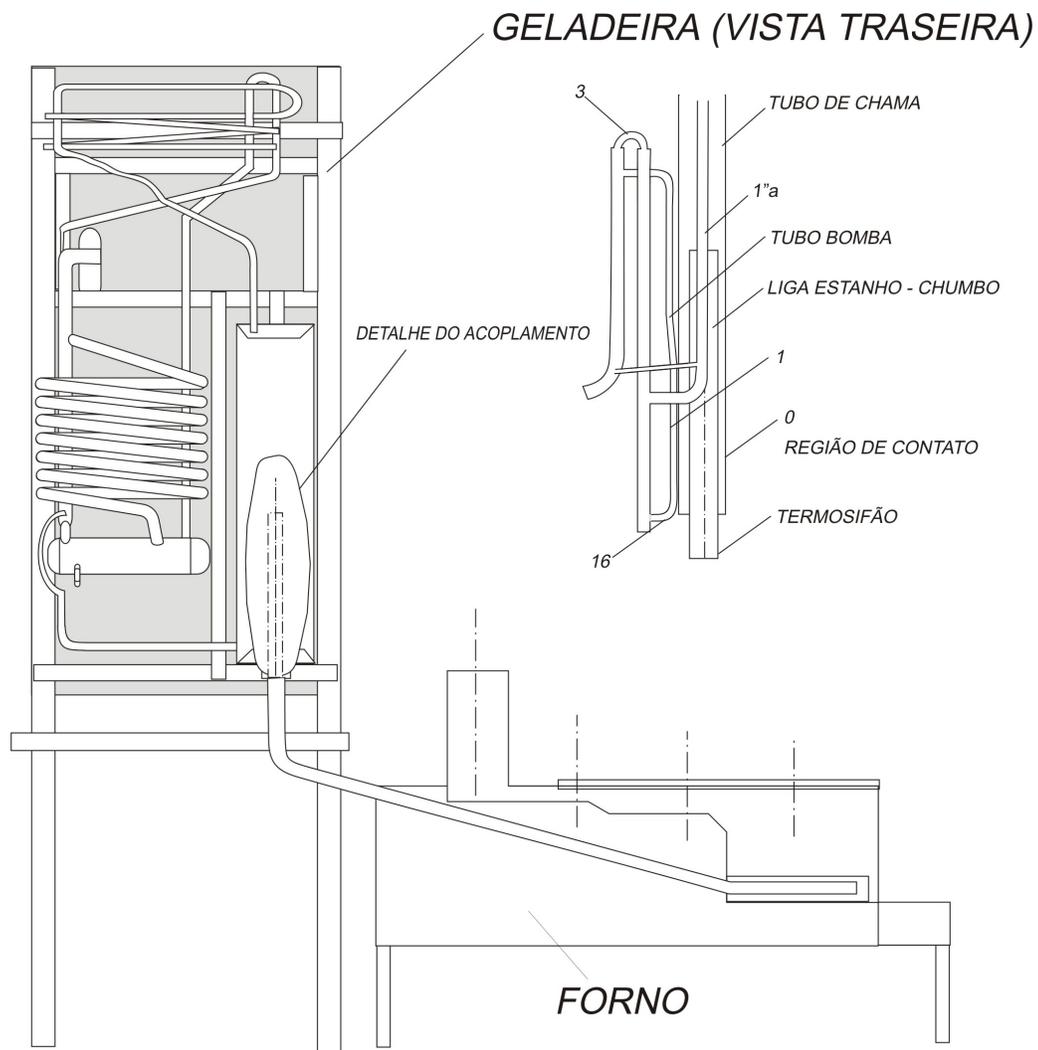


Figura 13: Montagem final do acoplamento forno-termosifão e geladeira, Martins (1989).

4.4.2– Resultados da Comparação

Após o conhecimento de todo o sistema de funcionamento do conjunto acoplado (fogão, termosifão e geladeira) e dos resultados experimentais obtidos por Martins (1989), cabe a nós uma análise comparativa do sistema proposto constituído de (forno- termosifão e geladeira) utilizando o carvão de babaçu.

Como o forno constitui um equipamento destinado puramente à queima do carvão (sem abertura superiores para panelas - fogão) essa quantidade de calor é absorvida pelo corpo do mesmo, aumentando sua eficiência transferida ao termosifão.

O carvão do babaçu com o poder calorífico da ordem de 7.300 kcal/kg **quadro 23**, nos permite de uma maneira simples obter a quantidade de massa de carvão (carga) a ser usada para alimentar a cada 10 min o forno para manter em funcionamento a geladeira de potência da ordem de 260w.

$$Q (j) = P(w) \times \Delta t (s) \quad (4.04)$$

Para $P = 260w$ e $\Delta t = 10 \text{ min} = 600s$, temos:

$$Q = 260 \times 600 \Rightarrow Q = 156.000 \text{ J ou } Q = 37,3 \text{ Kcal.}$$

Em condições reais e devido o grande número de variáveis que compõem o fenômeno da combustão do carvão no forno as perdas chegam a 70%, logo calculamos a massa de carvão para 30% do seu poder calorífico.

$30\% \times 7300 \text{ kcal/kg} \Rightarrow 2.190 \text{ kcal/kg}$, correspondendo a massa de 0,017 kg, que em gramas, fica: 17g para cada 10 min ou 102 g/hora.

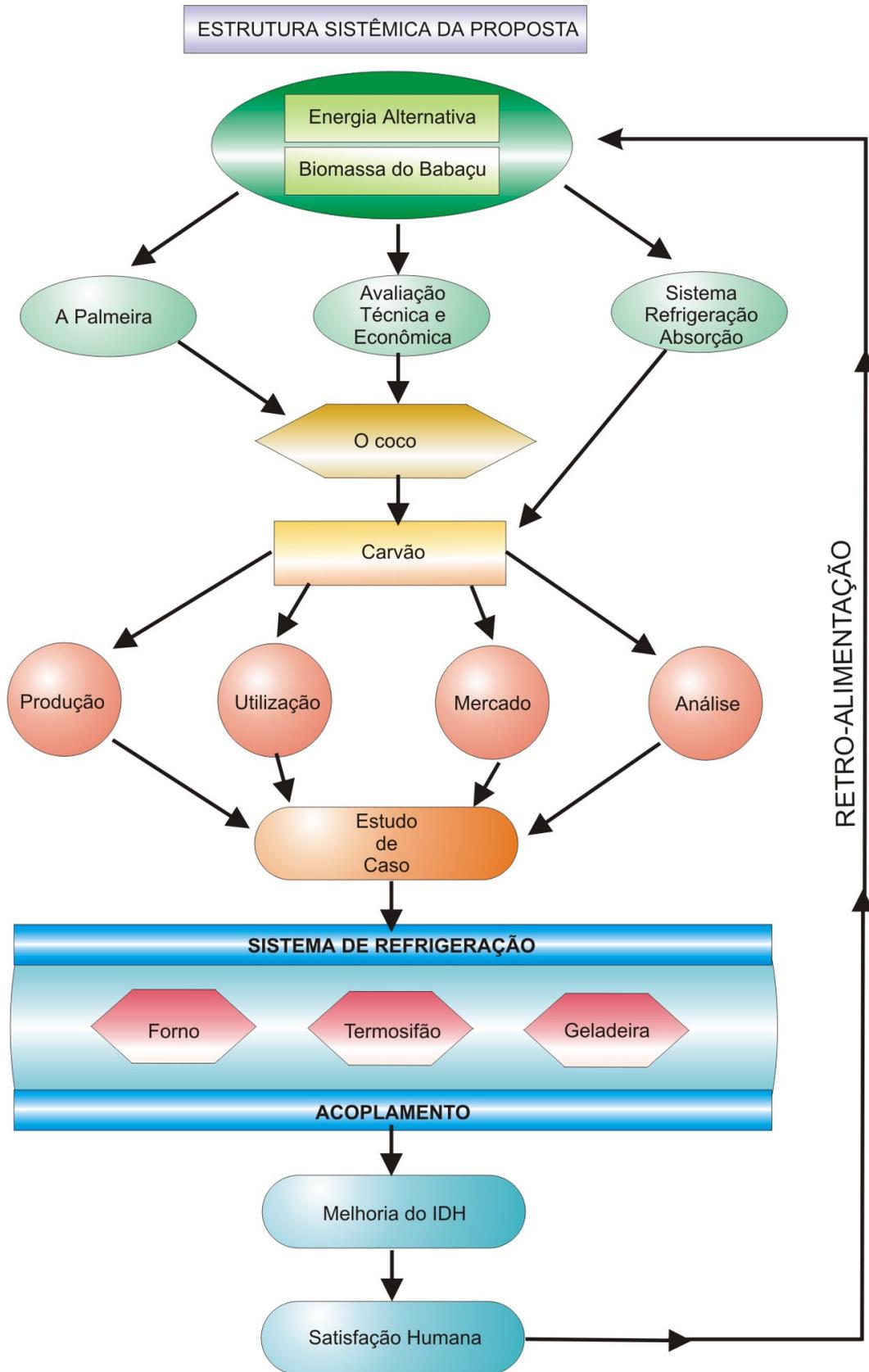
Mantendo-se a mesma carga sugerida por Martins(1989) de 400g de carvão para atender a capacidade de volume do forno, temos: 235,29 min, que em horas corresponde a: 3,92 h.

Concluimos então que o regime de abastecimento da carga de carvão de babaçu no forno será de aproximadamente 4h.

4.5– Estrutura Sistêmica da Proposta

O enfoque de sistema de nossa proposta está sintetizado no fluxograma 04 a seguir. Ele orienta o trabalho de forma integral e revela diversas relações, propriedades, componentes e qualidades que se manifestam no processo de desenvolvimento, dos estados ou níveis pelos quais transita este processo e que se materializam na melhoria do IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) e satisfação do homem do campo maranhense.

“O enfoque sistêmico se sustenta no princípio da sistematização, mas se diferencia deste, significa que o objeto de estudo se estrutura com um conjunto de invariantes, mas constitui a expressão do essencial do conteúdo e guiam o processo de busca dos restantes conhecimentos que lhe dão precisão, profundidade e solidez”, (Nascimento, 2000).



fluxograma 03 – Estrutura Sistêmica da Proposta.

CAPÍTULO 05 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O objetivo inicial do trabalho: Desenvolver um estudo para acionamento de um sistema de refrigeração através do carvão de babaçú, foi amplamente cumprido. Alguns aspectos sobre cada fase devem, no entanto, ser ressaltados:

CONCLUSÃO

- 1) A utilização do carvão de babaçú em substituição à lenha da madeira além de propiciar uma utilização do subproduto (endocarpo) contribui para a preservação do meio ambiente.
- 2) O resultado nos permitiu concluir que o intervalo de fornecimento da carga (carvão) para o forno é de 4hs para manter a geladeira em funcionamento.

SUGESTÃO

- 1) Cabe resaltar que um estudo experimental ,mais aprofundado sobre o Sistema proposto, se faz necessário para avaliar as influências direta da melhoria de eficiência do forno e do aumento do potencial calorífico do cavão de babaçú da ordem de 7300Kcal/kg.
- 2) A relativa independência entre as partes que poderíamos chamar de “frias” e “Quentes” do sistema nos permite analisar que haja possibilidade de se efetuar modificações no sentido de se ter uma forma de acumulação da capacidade frigorífica, seja na forma de gelo ou de amônia líquida, aproveitando assim os períodos de operação do forno para a produção de uma capacidade suplementar que seria utilizada durante os períodos em que o forno está apagado.
- 3) Pode-se pensar num estudo de um dispositivo instrumental que venha suprir a carga do forno de maneira automática nos intervalos de 4 em 4h, movido também a energia calorífica do próprio forno do sistema.

- 4) O sistema permite que a instalação do forno possa ficar do lado de fora da casa evitando assim que a fumaça que poderá vir a sair através da portinhola permaneça no interior do ambiente da mesma.

- 5) A utilização do projeto poderá ser feita por comunidades do interior do maranhão, Cooperativas e Associações de moradores, permitindo a eles uma melhoria na qualidade de vida nos aspectos: Educação, Saúde e Renda, ajudando a elevar assim os Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) do Estado do Maranhão.

- 6) A decisão por conceber uma estrutura sistêmica para a proposta deve-se, principalmente por compreender um Sistema como um conjunto de elementos pertencentes a uma mesma realidade, porém apreensíveis na sua articulação recíproca. Onde a significação das partes só se define no todo, numa visão de totalidade. Uma realidade interdependente e relacionada entre si. Tudo está relacionado com tudo e todos dependem de todos. Portanto o sistema proposto que propicia a descoberta, aproximação e integração, com a natureza pela sustentabilidade, poderá não só o homem rural, mas todo homem reconhecer-se no mundo, com o mundo e agindo sobre ele, saindo da indiferença, motivado por algo que o privilegie como um ser capaz. O homem se vê como sujeito do seu próprio conhecimento, apropriando-se dele mediante a vinculação entre a prática e a cultura humana e o relaciona com o agir de sua própria existência.

Referências Bibliográficas

- ACIOLI, José de Lima - **Fontes de Energia**, Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1994.
- BORGES, Thomaz P. de Freitas & PEREIRA, José Tomaz V. Pereira. **Fogão à Lenha de Combustão Limpa**. Dissertação de Mestrado. Campinas, Unicamp, 1994.
- BJURSTROM, H. & RALDOW, W. The absorption process for heating and energy storage – A historical survey. **Energy Research**. v.5, p. 43-59, 1981.
- CONSUL S.A.: The mode of operation of an absorption refrigeration unit of Platen-Munters type. 1984.
- CASAROSA, C. LATROFA, E. e SHELGINSKI, A. The Geyser effect in a two-phase thermosyphon. **Int. J. Heat Mass Transfer**. 26 (6), p. 933-941, 1983.
- COHEN, Henry & Bayley, F. J. Heat transfer problems of liquid cooled gas-turbine blades. **PROC. INST. MECH. ENG.** London, 169 (53), p. 1063-1080, 1955.
- D' AVIGNON, A. **Energia a Chave da Vida**. Ecologia e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, Terceiro Mundo, n. 31, p. 4, Setembro, 1993.
- FIGUEIREDO, J. R. **Projeto e modelamento teórico de um sistema de refrigeração por absorção a energia solar**. Tese de mestrado, FEC –UNICAMP, 1980.
- IMURA, H, SASAGUSHI, K. KOZAI, H. e NUMATA, S. Critical heat flux in a closed two-phase thermosyphon. **Int. J. Heat Mass Transfer**. Vol. 26, p. 1181-1188, 1983.
- ISMAIL, Kamal A. R. **Energias Alternativas**. Campinas, 2000.

JAPIKSE, D. Advances in Thermosyphon Technology. In **Advances in Heat Transfer**. Academic Press, New York, v. p. 1-111,1980.

LEE, Y. & MITAL, U. A two-phase closed thermosyphon. Int. **J. Heat Mass Transfer**. vol 15, p. 1695-1707, 1972.

LEITE, José de Ribamar Teixeira. **Industrialização da casca do coco babaçu**. Rio de Janeiro, 1953.

LIMA, Lideu Ramas de. **O Babaçu como fonte energético**. Rio de Janeiro, Eng. Editora, 1954.

LOMBARDI, Geraldo, et. alli Desempenho de um resfriador de leite acionado por sistema frigorífico de absorção de amônia. **anais II Encontro de Técnicos em Biodigestores do Sistema EMBRAPA**. (s.d.)

MAY, Peter Herman. **Palmeiras em chamas**; Transformações Agrárias e Justiça Social na Zona do Babaçu. São Luis, EMAPA/FINEP/Fundação FORD, 1990.

MARTINS, Gilberto. **Geladeira de Absorção Acionada por um Fogão a Lenha**. Dissertação de Mestrado. p. 188, Campinas, 1989.

MIC - Secretária de Tecnologia Industrial. **Coco de babaçu** (matéria prima para produção de álcool e carvão). Brasília, 1977

NASCIMENTO, Ubiraci Silva. **A Formação de Habilidades Experimentais no Professor de Física do Ensino Médio em São Luis-MA**. Dissertação de Mestrado. p. 68, UEMA, São Luis, 2000.

O'LEARY, R. A. Some interesting refrigeration inventions. **Refr. Eng.** v. 42, n. 15, p 300-304, 1941.

PASSOS, Evandro F. e Escobedo, João F. **Geladeira movida a fogão de lenha.** anais II ENCIT. p. 292-295, Aguas de Lindóia, 1988.

PAGLIUSO, Josmar D. LOMBARDI, Geraldo, GASPARETTO, Carlos A. e SANTANA, Cesar C. Desempenho de um Sistema Frigorífico de Absorção de Amônia. **anais II Encontro de Técnicos em Biodigestores do Sistema EMBRAPA.** (s.d).

PRASAD, K. Krishna, SANGEN, E. e VISSER, P. Woodburnign Cookstoves. In **Advances in Heat Transfer.** Academic Press, New York, v. 17, p. 159-317, 1987.

SAGRIMA - **Informações sobre o babaçu.** São Luís, 1995.

STOECKER, W. F. & JONES, J. W. **Refrigeração e ar condicionado.** Trad. São Paulo, Mc Gran-Hill, 1985.

TAYLOR, R. S. Heat operated absorption units. **Refr. Eng.** v. 49, n. 3, p.188-193, 1945.

TEIXEIRA, Marcos Alexandre. **Biomassa de Babaçu no Brasil.** Dissertação de Mestrado, Campinas, 2003.

VIVACQUA, Filho Antonio. **Babaçu Aspectos Sócio-Econômicos e Tecnológico.** Brasília: Universidade de Brasília, p. 217, 1968.

ANEXOS

TABELA 10.1
Dados de População – Área – Riqueza Nacional

País	População Estimada	Taxa de Crescimento %	Área 10 ⁶ km ²	Densidade HAB/km ²	Renda Nacional \$/capta	Produto Nacional Grosso %/capta
E.U.A.	213,0	0,8	10,49	20	5923	6200
Brasil	110,0	3,0	8,51	13	1190	760
Índia	613,0	2,1	3,28	182	136	120
Sudão	18,0	2,5	2,50	7	143	130

TABELA 10.2
Distribuição da Terra Agrícola

País	Área Total 10 ⁶	Área Agrícola Ha	Pastos 10 ⁶ ha	Florestas 10 ⁶ ha	Outras Terras 10 ⁶ ha	% da pop. Ligada à agricultura
E.U.A.	1049	192	300	247	310	4,7
Brasil	851	36	167	511	137	45,6
Índia	328	367	13	65	83	69,3
Sudão	250	7	24	91	310	82,0

TABELA 10.3
Consumo de Energia Comercial

País	Comb. Sólido	Comb. Líquido	Gás Natural	Hidroelétrica Energia Nuclear	Total	Per Capta 10 ⁶ kcal
E.U.A.	3588	7720	5643	383	17330	81,3
Brasil	30	391	5	58	484	4,4
Índia	609	197	7	27	840	1,4
Sudão	-	15	-	1	16	0,8

TABELA 10.4
Biomassa Estimada Para Conversão

País	Lenha	Rejeitos Animais	Rejeitos Agrícolas	Energia Total 10 ¹² kcal
E.U.A.	35,2	Pouco	4	147
Brasil	50,0	Pouco	5	207
Índia	60,0	50,0	30	560
Sudão	7,5	-	-	3,7

TABELA 10.5
Produção de Energia, 10¹² kcal

País	Carvão	Petróleo	Gás Natural	Hidro e Nuclear	Biomassa	Total Per Capta 10 ⁶ kcal
E.U.A.	4138,0	5022,60	5094,55	423,57	147	69,1
Brasil	19,59	92,16	7,57	63,82	207	3,5
Índia	697,8	87,75	8,76	31,80	560	2,3
Sudão	-	-	-	0,096	28	1,6

TABELA 10.6
Produção Anual de Biomassa - 10⁶ ton. métricas

	EUA		Índia		Brasil		Sudão	
	Área 10 ⁶ ha	Produção Biomassa						
Área Agrícola	192	1083	165	990	36	216	7	42
Pastos	300	783	13	45	167	584	24	82
Florestas	247	988	655	262	511	2044	9,5	366
Outros	310	163	84	42	137	68	127	63
Total Área	1049	-	328	-	851	-	250	-
Total Biomassa	-	3017	-	1339	-	2912	-	555
Energia Total Fixada 10 ¹⁵ kcal	12,7		5,6		12,2		2,3	
Energia Percapta 10 ¹⁵ kcal	59,6		9,1		111		128	

TABELA 10.7
Energia Solar Anual Depositada em Produtos Agrícolas e Florestal

Ítem	Brasil		Índia		Sudão		E.U.A.	
	10 ⁶ ton	10 ¹² kcal						
Milho	14,8	62,1	5,0	1,2	0,02	0,2	117	491
Trigo	1,3	5,7	21,8	91,5	0,24	0,02	45	189
Arroz	7,0	29,1	63,5	266,5	0,01	0,04	5	21
Soja	9,2	38,5	0,1	0,4	-	-	35	147
Sorgo	0,5	1,9	9,5	39,7	2,1	8,6	20	84
Batatas	0,3	1,3	1,2	5,2	0,01	0,02	3	13
Cassane	8,2							
Verduras	0,1							
Frutas	0,5							
Nozes	2,1							
Semente de Óleo	4,1							
Cana	24,3							
Beterraba	-							
Pastos	584							
Florestas	59,0							
Total	718,4	2905,6	281,5	1207,3	97,1	418,0	1559,4	5148
Total de Energia Per/Capta	26,4		2,0		23,2		24,1	

TABELA 10.8
Utilização das Florestas (10⁶ ton métricas)

País	Potencial Total de Produção	Uso Atual		
		Indústria	Lenha	Total
E.U.A.	988	98,7	4,8	103,5
Brasil	2044	9,0	50,0	59,0
Índia	262	9,0	60,0	69,0
Sudão	366	0,5	7,5	8,0

TABELA 10.9
Produção de Combustível de 1 Ton. Métrica de Esterco Úmido
85% Usando Pirólisis

Energia Produzida	Calor de Combustão	Peso de Produto Energético por Ton. Métrica
Óleo	6660 kcal/kg	0,072
Carvão	6105 kcal/kg	0,027
Gás	10 kcal/litro	0,036

TABELA 10.10
Produção de Combustível de 1 Ton. Métrica de Refugo Urbano
75% Úmido

Energia Produzida	Calor de Combustão	Peso de Produto Energético por Ton. Métrica
Óleo	5880 kcal/kg	0,248
Carvão	5000 kcal/kg	0,5
Gás	11 kcal/litro	0,06

TABELA 10.11
Estimativa de Potencial Energético de Biomassa (10^{12} kcal)

Ítems	Sudão	Brasil	Índia	E.U.A.
Esterco Animal	22,2	153,0	212,9	27
Produtos Açucareiros	158,9	248,1	101,9	100
Lenhas	68,4	765,2	100,0	122
Refugo Urbano	1,2	22,6	77,4	41
Esgoto Municipal	0,4	2,6	15,7	1,3
Outros	-	-	-	150,3
Total	251,1	1053,8	508,8	442,0
Consumo Energético Atual	43	641	1400	17330
Porcentagem de Biomassa Relativa ao Consumo Atual	583,9	164,4	36,3	2,5