



PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
FUNDAÇÃO PARQUE TECNOLÓGICO ITAIPU

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS
RENOVÁVEIS COM ÊNFASE EM BIOGÁS**

SECADOR DE PLANTAS MEDICINAIS E CONDIMENTARES COM USO DE BIOGÁS

VICTOR ALEXANDRE FRANCO DE CARVALHO

Foz do Iguaçu, Paraná
Ano
2013

Victor Alexandre Franco de Carvalho

**SECADOR DE PLANTAS MEDICINAIS E
CONDIMENTARES COM USO DE
BIOGÁS**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Especialista em Energias Renováveis, com Ênfase em Biogás.

Orientadora:

Profa. Dra. Janine Padilha Botton

Foz do Iguaçu

2013

FICHA CATALOGRÁFICA

533.73 Carvalho, Victor Alexandre Franco de.
C331s Secador de plantas medicinais e condimentares
com uso de biogás. / Victor Alexandre Franco de
Carvalho. -- Foz do Iguaçu, 2013.
73 f.: il.

Monografia (Especialização em energias
renováveis com ênfase em biogás) --Universidade
Federal da Integração Latino Americana, Foz do
Iguaçu, PR, 2013.

Bibliografia.

Orientador: Profa. Dra. Janine Padilha Botton

1. Biogás. 2. Energias renováveis. I. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a todos que se empenham em descobrir e desenvolver algo que para muitos não significa nada, mas por nossa persistência e dedicação transformamos o nada em algo que torna a vida melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por colocar nesse mundo tudo que precisamos para viver bem e com qualidade. Agradeço à Universidade Federal da Integração Latino-Americana, o Parque Tecnológico Itaipu e à Itaipu Binacional, por possuírem sonhadores de um mundo melhor para que possamos transformar o impensável no viável, no real e assim contribuirmos para a sustentabilidade, cada vez mais frágil do planeta. Agradeço às pessoas que me ajudaram com suas opiniões e tempo despendido para que eu pudesse realizar esse grande objetivo.

RESUMO

O biogás como está sendo produzido e consumido no Brasil oferece uma gama de oportunidades para as economias das regiões produtoras de grãos e derivados de leite. No oeste do Paraná há diversos produtores, entre grandes e pequenos produtores, e cooperativas agrícolas que estão se utilizando do biogás para o aproveitamento como créditos de carbono, geração de energia elétrica e secagem de grãos. As plantas medicinais e condimentares são plantadas pelo homem desde o início dos tempos e desde então vem, através de diversas culturas, acompanhando o homem no tratamento e curas de doenças e enfermidades que a medicina alopática já reconheceu suas qualidades. Considerado por muitos como o gás do futuro, o biogás foi utilizado nesse trabalho para a secagem de folhas do capim limão, uma planta utilizada para chás com propriedade calmante e espasmolítica suaves. Esse trabalho resultou na adaptação de um forno, fabricado comercialmente para assados, em um secador com a temperatura controlada e a ventilação adequada para a função de secagem do capim limão a 50°C por 6 horas de exposição. Para que se pudesse confirmar a viabilidade do uso do biogás na secagem, foi também utilizado o gás liquefeito de petróleo, GLP, e a eletricidade, formas de energia já utilizadas para a secagem de plantas medicinais e condimentares. Concluiu-se com esses testes que o biogás é apropriado para a secagem de plantas medicinais e condimentares. O custo reduzido do sistema de secagem completo possibilita que pequenos agricultores, que já possuem o biogás como fonte de energia, possam cultivar plantas medicinais e condimentares com a finalidade econômica e aumentar sua renda.

Palavras chaves: Biogás, secador, plantas medicinais, temperatura.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADEOP	Agência de Desenvolvimento do Extremo Oeste do Paraná
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
a_w	Atividade de água
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono ou gás carbônico
COPEL	Companhia Paranaense de Energia Elétrica
COOH	Grupo carboxílico
EMATER	Empresa de Assistência Técnica de Extensão Rural
FAO	Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
FPTI	Fundação Parque Tecnológico Itaipu
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GNV	Gás Natural Veicular
g	Gramas
H ₂ S	Ácido sulfídrico
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
ITAI	Instituto de Tecnologia Aplicada e Inovação
IV	Infravermelho
kJ	Quilo Joules
kg	Quilogramas
L	Litros
m ³	Metro cúbico
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MPA	Movimento Nacional de Pequenos Produtores

MS	Ministério da Saúde
NO _x	Dióxido de nitrogênio
OMS	Organização Mundial de Saúde
p	pressão parcial de vapor de água na superfície da amostra
p ₀	pressão parcial de vapor na superfície da água pura
PCI	Poder Calorífico Inferior
RCE	Redução Certificada de Emissão
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
SITRAD	Sistema de Tratamento de Dados
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SUS	Sistema Único de Saúde
URE	Umidade Relativa no Equilíbrio

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Condomínio Ajuricaba.....	24
FIGURA 2: Planta do Capim Limão.....	28
FIGURA 3: Curvas de equilíbrio na secagem e hidratação em função da atividade de água.Fonte: Bobbio e Bobbio apud NEGRI (2001).	33
FIGURA 4: Diagrama de estabilidade em função da atividade de água. Fonte: DECAGON apud NEGRI (2006).....	34
FIGURA 5: Modelo de queimador infravermelho a gás.....	49
FIGURA 6: Secador adaptado para o processo de secagem.....	52
FIGURA 7: Sistema de aquisição de dados.	53
FIGURA 8: Ventilador instalado no secador.....	53
FIGURA 9: Queimador por infravermelho a gás.....	55
FIGURA 10: Queimador adaptado para uso com o secador.	55
FIGURA 11: Acendedor automático de fogões domésticos.	56
FIGURA 12: Medidor de volume de gás.....	56
FIGURA 13: Botijão de GLP e o ajuste de fluxo de gás.	57
FIGURA 14: Posição dos sensores de temperatura na bandeja do secador. ..	57
FIGURA 15: Gráfico comparativo dos três processos de secagem	61
FIGURA 16: Capim limão seco no secador com biogás.....	65
FIGURA 17: Capim limão seco no secador com GLP	65
FIGURA 18: Capim limão seco com eletricidade	65

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Principais gases que compõem o biogás.....	16
TABELA 2: Solubilidade de alguns gases em água	17
TABELA 3: Poder calorífico do biogás comparado a outros combustíveis.....	17
TABELA 4: Comparação do biogás com outros combustíveis	18
TABELA 5: Potencial de produção de biogás.....	23
TABELA 6: Espécies vegetais para o preparo de chás.....	31
TABELA 7: Controle da temperatura durante a secagem com GLP	59
TABELA 8: Controle da temperatura durante a secagem com biogás	59
TABELA 9: Controle da temperatura durante a secagem com eletricidade	60
TABELA 10: Rendimento da secagem do capim limão em secador elétrico...	62
TABELA 11: Secagem do capim limão no secador com biogás.....	63
TABELA 12: Secagem do capim limão no secador com GLP	63
TABELA 13: Secagem do capim limão no secador com eletricidade.....	64

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	5
RESUMO.....	6
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	7
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS	10
1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA	15
2.1 Biogás e sua utilização	15
2.2 Biodigestão anaeróbica	15
2.3 Características do biogás	16
2.4 Histórico do biogás	18
2.5 Biogás no Brasil	20
2.5.1 Região de Marechal Candido Rondon e o Condomínio Ajuricaba	23
2.6 Plantas Medicinais e Condimentares	25
2.6.1 Características organolépticas.....	27
2.6.2 Capim Limão (<i>Cymbopogon citratus</i>).....	28
2.7 Vigilância Sanitária	30
2.8 Atividade de Água	32
2.9 Conteúdo de Água nas Plantas	34
2.10 Desidratação.....	36
2.11 Processo de Secagem.....	39
2.11.1 Aspectos Tecnológicos.....	41
2.11.2 Cinética de Secagem	42
2.11.3 Secagem Convectiva.....	43
2.11.4 Secagem por radiação infravermelha	45
3 MATERIAIS E MÉTODOS	52
3.1 Secador a Biogás	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
5 CONCLUSÃO	67
6 BIBLIOGRAFIA	69

1 INTRODUÇÃO

Biogás está sendo produzido em diversos pontos do Brasil e sua utilização como fonte energética está em plena expansão, juntamente com o desenvolvimento de muitos projetos de conversão energética e utilização do biogás. No oeste do Paraná já existe uma grande oferta de biogás que é feita por pequenos produtores rurais e cooperativas agroindustriais. Atualmente seus principais interesses consistem em créditos de carbono e o cumprimento da legislação sanitária, tudo isso pelo fato de que os resíduos da produção de suínos, aves e derivados do leite não poderem contribuir para a degradação do meio ambiente.

Os diversos resíduos orgânicos como os urbanos, os esgotos domésticos, os efluentes industriais, os resíduos rurais como os dejetos animais e os sólidos de diversas origens na produção da indústria e agroindústria, representam sérios impactos ambientais tanto em relação à poluição hídrica como atmosférica.

As plantas medicinais, aromáticas e condimentares, são, há milênios, utilizadas pelo homem para as diversas aplicações como na cura de doenças, em aroma para ambientes diversos e como temperos no preparo de alimentação. O Brasil, por ser possuidor de terras férteis, possui grande potencial para seu cultivo, consumo e comércio.

O emprego de plantas medicinais na recuperação da saúde tem evoluído ao longo dos tempos desde as formas mais simples de tratamento local, provavelmente utilizada pelo homem das cavernas até as formas tecnologicamente sofisticadas da fabricação industrial utilizada pelo homem moderno (LORENZI E MATOS, 2002).

Com um dos maiores territórios do mundo o Brasil possui uma vasta área de plantio e uma grande quantidade de produtores rurais de tamanhos

diversos que plantam desde hortaliça para o seu próprio consumo até fornecedores de soja, milho e trigo para o uso nacional e exportação.

A agricultura familiar constituída por pequenos e médios produtores representa a imensa maioria de produtores rurais no Brasil. São cerca de 4,5 milhões de estabelecimentos, dos quais 50% no Nordeste do país. O segmento detém 20% das terras e responde por 30% da produção global. Em alguns produtos básicos da dieta dos brasileiros, os agricultores familiares são responsáveis por aproximadamente 40% do valor bruto da produção agropecuária, 80% das ocupações produtivas agropecuárias e parcela significativa dos alimentos que chegam à mesa dos brasileiros, como o feijão (70%); a mandioca (84%); a carne de suínos (58%); leite (54%); milho (49%); e aves e ovos (40%). Estes produtores têm sofrido ao longo dos anos um processo de redução nas suas rendas, chegando à exclusão de trabalhadores rurais de 100.000 propriedades agrícolas por ano, de 1985 a 1995 (IBGE, Censo Agropecuário 1995/96). Boa parcela deste processo de empobrecimento pode ser explicada pela pouca oferta e pela baixa qualidade dos serviços públicos voltados para os mesmos, os quais poderiam viabilizar a inclusão socioeconômica destes agricultores. Isso levou, no passado, a aceitar como uma realidade lamentável, que os agricultores familiares são construções sociais cujo alcance depende dos projetos em que se envolvem e das forças que são capazes de mobilizar para programá-los (SANTOS 2012).

Quando da colheita da produção agrícola, o produtor rural necessita realizar alguns processos para que sua produção possa obter um valor maior de venda. Um dos processos é a secagem que pode ser realizada e grãos ou plantas. A secagem ou desidratação de alimentos é uma técnica antiga na conservação de produtos alimentares. Essa técnica favorece a conservação e a durabilidade dos alimentos sem perder suas principais características física, biológica e físico-química. Essa técnica consiste em remover ou reduzir a quantidade de água do alimento e assim reduzir a possibilidade de crescimento de microrganismos. Há vários fatores que influenciam na taxa de secagem sendo normalmente ligados à propriedade de secagem como temperatura, umidade relativa e pressão.

O secador proposto no trabalho é uma adaptação de um forno comercial projetado e fabricado para assar pizza. Foi retirada a parte do queimador de gás e substituído por um queimador infravermelho, para que se pudesse testar com gás a baixa pressão e também com a energia do infravermelho.

Os fenômenos envolvidos em um processo de secagem são complexos, pois envolvem simultaneamente, as transferências de massa, calor e quantidade de movimento. Durante a secagem é na superfície do material que ocorre a evaporação da água, a qual foi transportada no interior do sólido. Os mecanismos desses transportes mais importantes são: difusão líquida, difusão de vapor e fluxo de líquido e vapor (MUNJUNDAR, 1995).

2 REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

2.1 Biogás e sua utilização

A importância do biogás para o ser humano fez com que o homem tentasse reproduzir a produção natural de biogás, porém, em sistemas com condições apropriadas onde pudesse haver um controle rigoroso de temperatura, umidade e outros parâmetros importantes para a produção de biogás. Os equipamentos então utilizados para a produção de biogás são chamados de digestores anaeróbios. Nos digestores anaeróbios é possível reproduzir os fenômenos observados durante as etapas de produção de biogás, além da realização de tratamento dos resíduos líquidos e sólidos produzidos no processo.

Apesar de o biogás ser produzido por biomassa, a grande vantagem de sua utilização consiste na possibilidade de se obter energia sem o esgotamento das fontes de combustíveis fósseis. Pois, ao se utilizar dejetos de animais, que são produzidos continuamente, na produção de biogás evitaria seu descarte descontrolado no meio ambiente.

2.2 Biodigestão anaeróbica

A degradação anaeróbia de substratos orgânicos é um processo fermentativo e oxidativo que acontece em condições anaeróbias, ou seja, na ausência de oxigênio.

O entendimento do processo de obtenção do biogás é de grande importância para o sucesso da tecnologia de aproveitamento do biogás, haja vista que são complementares e, caso não se tenha os devidos cuidados na geração, os processos de utilização poderão estar seriamente prejudicados ou até inviabilizados.

O mecanismo de decomposição anaeróbia se desenvolve pela ação de um consórcio de microrganismos que acontece de maneira imbricada, ou seja, são interdependentes, em que um dos produtos finais da degradação, e no qual recai maior interesse, é o metano.

2.3 Características do biogás

As características do biogás dependem das variáveis de processo como pressão, temperatura, umidade, concentração de metano e concentração de gases inertes e/ou ácidos. O biogás pode ser usado nas condições em que é gerado e, dependendo da aplicação, pode ser necessária a redução da concentração de H_2S (ácido sulfídrico), CO_2 (gás carbônico), redução da umidade ou mesmo a elevação da pressão.

Em termos gerais, o biogás é composto majoritariamente por metano e gás carbônico, sendo outros gases como gás sulfídrico, hidrogênio (H_2), e nitrogênio (N_2) presentes a baixas concentrações conforme Tabela 1.

Tabela 1: Principais gases que compõem o biogás.

Gás	Símbolo	Concentração no biogás (%)
Metano	CH_4	50-80
Dióxido do Carbono	CO_2	20-40
Hidrogênio	H_2	1,0-3,0
Nitrogênio	N_2	0,5-3,0
Gás sulfídrico e outros	H_2S , CO , NH_3	1,0-5,0

Fonte: LAFARGE apud COLDEBELLA, 1979.

O metano (CH_4) é um gás que tem um potencial de efeito estufa 21 vezes maior que o do gás carbônico contribuindo substancialmente para o agravamento do efeito estufa e consequentemente do aquecimento global. O metano produzido no processo de digestão anaeróbica pode causar grande impacto ambiental se for liberado diretamente na atmosfera. Por isso sua queima é necessária para a conversão do CH_4 em CO_2 , a fim de diminuir o impacto causado ao meio ambiente. O CH_4 trata-se de um gás incolor, inodoro, altamente combustível. Sua combustão apresenta uma chama azul-lilás e, às vezes, com pequenas manchas vermelhas. Não produz fuligem e seu índice de poluição atmosférico é inferior ao do butano, presente no gás de cozinha.

Os gases presentes no biogás também apresentam solubilidade em água bastante diferenciadas conforme Tabela 2. Esta informação pode ser útil para escolha do sistema de purificação do gás adaptado à necessidade do usuário, haja vista que os sistemas envolvendo lavagem do biogás podem aumentar significativamente seu poder calorífico pela remoção do CO_2 indicado na Tabela 3.

Tabela 2: Solubilidade de alguns gases em água.

Componentes	Solubilidade (g.L^{-1})
Metano	0,0250/0,064
Gás Carbônico	520
Amônia	4,19
Gás Sulfídrico	1,69
Mercaptanas	<50

Fonte: LIMA (2005).

Tabela 3: Poder calorífico do biogás comparado a outros combustíveis.

Combustível	Biogás	Metano	Álcool
Quantidade	1 m^3	1 m^3	Litros
Calor liberado em kJ	23.400	36.000	19.812
Peso específico	1,2	0,72	809
Poder calorífico em kJ.kg^{-1}	19.500	50.000	24.490

Fonte: LIMA (2005).

O potencial energético do biogás varia em função da presença de metano em sua composição: quanto mais metano, mais rico é o biogás. Quando originário de aterros sanitários, a proporção de metano é, em média, de 50%, se acaso gerado em reatores anaeróbios de efluentes, a concentração média é mais elevada atingindo até cerca de 70%. No entanto, comparado com o gás natural (que possui composição de até 95% de metano), apresenta menor poder calorífico, em consequência do menor conteúdo de metano.

Segundo Lima (2005), com poder calorífico inferior (PCI) em torno de $19.500 \text{ kJ.kg}^{-1}$, o biogás constitui-se como uma boa fonte de energia, conforme Tabela 4. Ele pode ser armazenado e transportado. O armazenamento do

biogás é necessário na maioria das vezes. Entretanto, deve-se ter uma precaução; pois, segundo Lima (2005), uma mistura de 5 a 14% de metano e ar pode explodir com a ignição, se o volume total for grande. Portanto, este armazenamento deve ser feito em um reservatório adequado.

Tabela 4: Comparação do biogás com outros combustíveis.

Combustível	1 m ³ de biogás equivale a:
Gasolina	0,613 litros
Querosene	0,579 litros
Óleo diesel	0,553 litros
Gás de cozinha (GLP)	0,454 litros

Fonte: LAFARGE apud COLDEBELLA, 1979.

A armazenagem do biogás também é um processo difícil devido ao fato do metano ter um volume específico muito alto e ser de difícil compressão.

2.4 Histórico do biogás

Provavelmente o biogás, o gás dos pântanos ou fogo fátuo, como era chamado, foi descoberto por Shirley em 1667. No entanto, foi só um século mais tarde que foi reconhecida a presença de metano no gás dos pântanos.

Já no século XIX, Ulysses Gayon, aluno de Louis Pasteur, realizou a fermentação anaeróbia de uma mistura de estrume e água, a 35°C, conseguindo obter 100 litros de gás por m³ de matéria. Em 1884, Louis Pasteur, ao apresentar à Academia das Ciências os trabalhos do seu aluno, considerou que esta fermentação podia constituir uma fonte de aquecimento e iluminação.

Entretanto, segundo Castañón (2002), na Índia, a ideia de aproveitar o gás metano produzido por digestão anaeróbia, já não era estranha. No ano de 1859, em Bombaim, se realizou a primeira experiência de utilização direta de biogás.

Em 1895, teve lugar a primeira experiência europeia, com a utilização do biogás para iluminação de algumas ruas da cidade de Exter, na Inglaterra, a

que se seguiram outras experiências, motivadas principalmente pelo entusiasmo inicial que este processo alcançou.

Segundo Costa (2006), este combustível não conseguiu substituir os tradicionais, só voltando a ser utilizado na década de 40 impulsionado pela crise energética provocada pela Segunda Guerra Mundial.

Nas décadas de 50 e 60 a relativa abundância das fontes de energia tradicionais, desencorajou a recuperação do biogás na maioria dos países desenvolvidos. No entanto, na Índia e China, com poucos recursos de capital e energia, o biogás desempenhou um papel importante, sobretudo em pequenos aglomerados rurais.

A partir da crise energética dos anos 70, o gás metano dos digestores anaeróbios voltou a despertar o interesse tanto por países ricos como países de Terceiro Mundo. No entanto, em nenhum país o uso desta tecnologia alternativa foi tão acentuado como na China e Índia.

De acordo com Costa (2006), atualmente o biogás não é mais encarado apenas como um subproduto obtido a partir da decomposição anaeróbia. Ele se torna alvo de fortes pesquisas, que são impulsionadas pelo aquecimento da economia nos últimos anos e elevação acentuada do preço dos combustíveis fósseis, no intuito de criar novas formas de produção energética que possibilitem a redução do uso dos recursos naturais não renováveis.

2.5 Biogás no Brasil

A biodigestão anaeróbia é um processo conhecido há muito tempo e seu emprego para a produção de biogás para a conversão em energia de cozimento, iluminação e como biofertilizante é muito popular como já mencionado anteriormente nos países asiáticos, a exemplo da China e Índia.

O interesse pelo biogás, no Brasil, intensificou-se nas décadas de 70 e 80, especialmente entre os suinocultores. Programas oficiais estimularam a implantação de muitos biodigestores focados principalmente, na geração de energia e na produção biofertilizante e diminuição do impacto ambiental. Os objetivos dos programas governamentais eram de reduzir a dependência das pequenas propriedades rurais na aquisição de adubos químicos e de energia térmica para os diversos usos (cozimento, aquecimento, iluminação e refrigeração), bem como, reduzir a poluição causada pelos dejetos animais e aumentar a renda dos criadores. Infelizmente, os resultados não foram os esperados e a maioria dos sistemas implantados, acabaram sendo desativados.

No final da década de 90, um novo movimento envolvendo o interesse no biogás começou a aparecer motivado pela possibilidade da inserção dos processos de anaerobiose no mercado de carbono via MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo). Em 2005 com a ratificação da Rússia no protocolo de Quioto, grande euforia foi gerada, principalmente para a agropecuária na esperança de que os projetos e as Reduções Certificadas de Emissão (RCE) por si só viabilizariam os empreendimentos.

A flutuação dos preços recebidos na comercialização das RCE, dificuldades operacionais e a recente crise mundial, transformaram a expectativa inicial em grande frustração. O biogás, dentro do MDL, é muito importante e apresenta a tendência de crescimento e valorização sob a ótica do aquecimento global. No entanto, não pode ser visto apenas como única alternativa para o biogás e sim como parte das várias possibilidades para utilização dentro do leque das energias renováveis.

No final da década passada, a geração de energia elétrica que até pouco tempo não eram consideradas nos projetos, passou a ter importância no Brasil, dando um novo impulso ao uso do biogás. Atualmente este mercado está bastante aquecido em função da publicação pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) em dezembro de 2009, da instrução normativa 390/09 regulamentando a geração distribuída de energia elétrica com biogás e saneamento ambiental.

No caso, da agricultura familiar, apesar dos efeitos ambientais danosos que produz, a biomassa dos resíduos agropecuários traz em si uma grande possibilidade econômica entre todas as outras fontes de energias renováveis disponíveis no meio rural, incluindo a energia solar, a eólica e a hídrica. A energia da biomassa residual é a energia mais disponível para acesso a baixo custo, ou seja, é a energia com melhor custo-benefício disponível no meio rural brasileiro.

É importante destacar também, porque faz parte do escopo ampliado da economia rural, a influência determinante do segmento da agricultura familiar na vida interiorana, principalmente na economia das pequenas cidades, lembrando que mais de 80% dos municípios brasileiros têm menos de 50 mil habitantes. As atividades familiares na agricultura se refletem diretamente nos setores especializados de comércio local e nas indústrias especializadas que o abastecem com máquinas, insumos, sementes, fertilizantes, ferramentas e outros. Também, a prestação de serviços locais é estimulada pela agricultura familiar e se estabelece em dependência direta da sazonalidade determinada pelas colheitas das safras, ou pelos fluxos financeiros das vendas dos produtos produzidos.

Agregando-se a geração de bioenergia à produção da agricultura familiar podem-se obter impactos no desenvolvimento local das pequenas cidades do meio rural e ainda produzir reflexos pela grande escala de demanda à indústria especializada, atingindo, portanto, a economia do País.

Nesse sentido há uma nova oportunidade para a economia local, pela presença de engenheiros projetistas, profissionais da manutenção elétrica, da mecânica, da assistência a biodigestores, do comércio de equipamentos e

insumos, máquinas, motores, geradores, tubulações, painéis de comando, ligações elétricas de baixa, média e altas tensões, enfim, uma dinamização possível para toda a economia local. Uma economia, portanto, muito diferente da economia rural tradicional, baseada nas commodities conhecidas como grãos, carnes e leite, cuja sazonalidade compromete o acesso à sustentabilidade.

Os plantéis, bovino leiteiro e suíno, desses produtores familiares geram anualmente aproximadamente de 16 mil toneladas de dejetos. Quando forem submetidos à biodigestão anaeróbica têm condições de produzir em torno de 319 mil m³ de biogás por ano que, servindo de combustível a um motogerador, poderá produzir cerca de 510 mil kWh por ano, o suficiente para abastecer 170 residências com um consumo mensal de 250 kWh. Com valor de mercado igual ao valor de referência do setor elétrico, em R\$ 0,130 kWh produzirá uma receita de R\$ 65.959,74 por ano. Outro resultado da biodigestão, o biofertilizante representará em torno de 19 mil m³ de por ano com receita de R\$ 95.325,23 por ano. Já em termos de crédito de carbono pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), estima-se que haverá uma redução de emissão de 2,5 mil toneladas equivalente de CO₂ por ano com receita de R\$ 93.009,31 por ano. Totalizando assim, uma expectativa de novas receitas de R\$ 225.051,61 ao ano.

A produção de biocombustível só é suscetível de ser econômica quando utiliza materiais já concentrados, provavelmente de um subproduto disponível a baixo custo ou de renda extra passível de tratamento e remoção do meio ambiente. Assim, o mais aconselhável é a produção de energia perto do local onde é gerado o resíduo que é o suprimento de biomassa. Como exemplo, podem-se citar os resíduos de dejetos de animais, sobras e aparas de serrarias, esgotos municipais, cascas e conchas de coco e palha de cereais. É de extrema importância a identificação e quantificação desses fluxos de biomassa na economia local ou nacional para então ser especificada a biomassa mais provável. A cultura exclusiva para a biomassa deve ser fundamentada no custo-efetividade, principalmente quando serão utilizados subsídios agrícolas.

2.5.1 Região de Marechal Candido Rondon e o Condomínio Ajuricaba

A região oeste do Paraná é umas das regiões de grande produção de aves, suínos e derivados do leite no Brasil, assim o potencial de biomassa residual de origem animal é motivo de grandes pesquisas e interesses empresariais e acadêmicos. Só os municípios do entorno de Marechal Candido Rondon possuem potencial de produção de 617.142,00 m³ de biogás por dia.

Com esse potencial o biogás de suínos somados ao biogás de bovino e avícola da região e resolvida a questão da produção de biogás, surgem outras oportunidades que são a fabricação e comercialização de equipamentos para o consumo de biogás.

A Tabela 5 mostra o somatório do potencial de produção de biogás de suínos, bovinos e avícolas de quatro cidades do entorno de Marechal Candido Rondon.

Tabela 5: Potencial de produção de biogás.

Cidade	Produção de Biogás (m ³ .dia ⁻¹)		
	Bovino	Suíno	Avícola
Marechal Candido Rondon	5.729,55	62.453,88	404,11
Maripá	1.426,33	23.586,37	523,37
Entre Rios D'Oeste	550,29	42.128,59	46,87
Nova Santa Rosa	655,71	42.264,13	386,16
Subtotal	8.361,88	17.0433	1.360,51
Total	180.155,36		

Fonte: ADEOP (2010)

O projeto do Condomínio de Agroenergia para Agricultura Familiar da microbacia do Rio Ajuricaba é desenvolvido pela Itaipu desde agosto de 2009, em parceria com o Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER-PR), Companhia Paranaense de Energia (COPEL) Prefeitura Municipal de Marechal Cândido Rondon, Embrapa, Movimento Nacional dos

Pequenos Agricultores (MPA), Instituto de Tecnologia Aplicada e Inovação (ITAI) e a Fundação Parque Tecnológico Itaipu (FPTI).

O objetivo do projeto é implantar uma referência concreta para a agroenergia na agricultura familiar e desenvolver os critérios para sua sustentação econômica, ambiental, social e energética. O projeto contempla a instalação de 33 biodigestores e 25,5 km de gasodutos ligados a uma microcentral termelétrica indicada na Figura 1, que devem garantir uma renda de cerca de R\$ 270 mil anuais aos produtores rurais com a produção de energia térmica, elétrica e veicular, além de biofertilizantes.



Figura 1: Condomínio Ajuricaba.

Os plantéis (bovino leiteiro e suíno) dos produtores familiares do condomínio geram anualmente aproximadamente 16 mil toneladas de dejetos. Quando submetidos à biodigestão anaeróbica, esses dejetos têm condições de produzir em torno de 266 mil m³ de biogás por ano.

Uma das propostas é aproveitar o biogás para a geração de energia térmica, na secagem de grãos, em um secador comunitário, gerando uma receita anual estimada de R\$ 81 mil. O biogás será usado ainda para gerar energia veicular, visto que o biogás pode ter um emprego similar ao GNV, o que garantirá uma economia anual aproximada de R\$ 17 mil aos produtores rurais.

Aos benefícios econômicos proporcionados pelo projeto, somam-se outros, ligados à qualidade de vida dos produtores, tais como a eliminação do

mau cheiro e das moscas comuns à sua atividade, além da preservação dos cursos de água da região. A economia do biogás é de grande impacto local, pois acontece a partir da descentralização da geração de energia e que deve ser medida em quilowatt por hora, mas também em sanidade ambiental e desenvolvimento microeconômico.

O potencial da agricultura familiar brasileira para a produção de energia não deve ser subdimensionado. No Brasil, esse setor abrange cerca de 13,8 milhões de pessoas, ou 77% da população ocupada na agricultura, segundo o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) (BLEY, 2009).

2.6 Plantas Medicinais e Condimentares

Há mais de 2 mil anos, Hipócrates escreveu que cada uma das substâncias da dieta de um homem age sobre seu corpo, mudando-o de alguma forma, e toda a sua vida depende dessas mudanças, esteja ele saudável ou doente ou convalescendo. Nos últimos anos, a procura por produtos naturais tem envolvido não só os naturalistas e pesquisadores, mas pessoas com algum tipo de doença e até mesmo pessoas saudáveis, que de alguma forma querem ter uma qualidade de vida melhor.

As plantas medicinais e condimentares a cada dia apresentam um maior emprego, sendo utilizadas na alimentação, na indústria farmacêutica, na agroquímica, entre outros. Na alimentação, as plantas aromáticas e condimentares realçam o sabor dos alimentos e ativando a ação das glândulas salivares, que iniciam o processo digestivo. Além disso, cada tipo de planta tem em sua composição substâncias diferentes, de forma que agem no organismo mesmo quando a planta é usada apenas como tempero.

As plantas medicinais e condimentares estão presentes em milhões de lares brasileiros e são de usos diversos, compreendendo desde a utilização como condimentos para a comida do dia a dia como para fazer chás.

O emprego de plantas medicinais na recuperação da saúde tem evoluído ao longo dos tempos desde as formas mais simples de tratamento local, provavelmente utilizada pelo homem das cavernas até as formas

tecnologicamente sofisticadas da fabricação industrializada pelo homem moderno (LORENZI e MATOS, 2002).

Segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde), planta medicinal é qualquer planta que possua em um de seus órgãos ou em toda planta substâncias com propriedades terapêuticas ou que sejam ponto de partida na síntese de produtos químicos ou farmacêuticos (SILVA e CASALLI, 2000).

O consumo mundial de plantas medicinais tem sido significativo nos últimos tempos, inclusive com incentivos da Organização Mundial da Saúde. Dados recentes indicam que aproximadamente 80% da população mundial fazem uso de algum tipo de erva na busca de alívio de alguma sintomatologia desagradável. Desse total, pelo menos 30% foi por indicação médica. São muitos os fatores que colaboram para o desenvolvimento de práticas de saúde que incluam plantas medicinais, principalmente econômicos e sociais (SILVA; CASALI, 2000).

Infelizmente no Brasil, plantas são importadas para a produção de cosméticos e medicamentos, porque a oferta é irregular, e a qualidade dos produtos nacionais é baixa. Mas, para reverter essa situação, são necessários incentivos para a produção de plantas e, pesquisas em todas as suas fases, desde a seleção até a comercialização. Dentre estas fases, a secagem merece atenção especial, pois pode ser uma das principais formas para regular a oferta e manter a qualidade das plantas depois de colhidas. Como relação à secagem, um dos parâmetros que precisam ser estudados é a determinação das melhores temperaturas para se secar cada espécie medicinal.

A utilização de plantas medicinais, tem inclusive recebido incentivos da própria OMS. São muitos os fatores que vêm colaborando no desenvolvimento de práticas de saúde que incluam plantas medicinais, principalmente econômicos e sociais. Entretanto segundo Furlan (1998), ainda hoje persiste um ar de mistério quando utilizamos estas plantas, principalmente em virtude das suas relações com a mitologia.

"As plantas medicinais brasileiras não curam apenas, fazem milagres". Com esta célebre frase, Von Martius definiu bem a capacidade de nossas ervas medicinais. É bem provável que das cerca de 200.000 espécies vegetais

que possam existir no Brasil, na opinião de alguns autores, pelo menos a metade pode ter alguma propriedade terapêutica útil à população, mas nem 1% dessas espécies com potencial foi motivo de estudos adequados. As pesquisas com estas espécies devem receber apoio total do poder público, pois, além do fator econômico, há que se destacar a importância para a segurança nacional e preservação dos ecossistemas onde existam tais espécies MARTINS (1995).

Ainda segundo Martins (1995), muitas substâncias exclusivas de plantas brasileiras encontram-se patenteadas por empresas ou órgãos governamentais estrangeiros, porque a pesquisa nacional não recebe o devido apoio. Hoje em dia, o custo para desenvolver medicamentos sintéticos ou semissintéticos é muito elevado e tem se mostrado pouco frutífero.

2.6.1 Características organolépticas

Todas as substâncias puras apresentam individualmente diversas propriedades específicas. Quando tais características podem ser percebidas pelos sentidos humanos recebem o nome de propriedades organolépticas (do grego, organon, organismo, letpos, que impressiona), sendo elas: cor, brilho, odor, sabor e textura.

As características organolépticas dos alimentos nos auxiliam com a verificação da qualidade da secagem e nos permite fazer a comparação dos processos de secagem.

Das características acima, a cor tem papel de destaque como importante atributo de qualidade, pois é um dos primeiros aspectos a serem avaliados pelos consumidores nas gôndolas de supermercados. A sua tonalidade é um indicativo da condição do produto, capaz de influenciar a aceitação pelos consumidores, fazendo com que aceitem ou rejeitem produtos caso não estejam com a aparência normalmente esperada. Essa impressão ótica é relacionada de imediato com diversos aspectos ligados à qualidade e ao grau de frescor, podendo seu aspecto exterior estar associado ao processamento e armazenamento, conseqüentemente, à dureza e suculência.

Percebida pelo tato, a textura representa o aspecto da superfície, que pode ser lisa, rugosa, áspera, macia, ondulada.

Popularmente conhecido como cheiro, o odor é definido como tudo aquilo que pode ser definido pelas células olfativas. Substâncias que despertam a percepção do olfato recebem o nome de odorantes, enquanto aquelas que não o fazem são denominadas inodoras.

2.6.2 Capim Limão (*Cymbopogon citratus*)

Por ser produzida em diversos lugares do Brasil, para realização desse trabalho, foi escolhido o capim limão como a espécie experimentada no secador, conforme mostrado na Figura 2.



Figura 2: Planta do Capim Limão.

O capim limão é uma planta medicinal, usada em medicina popular, sendo, para esse efeito, utilizadas suas folhas que, em infusão, têm propriedades febrífugas, sudoríficas, analgésicas, calmantes, antidepressivas, diuréticas e expectorantes, além de ser bactericida, hepatoprotectora, antiespasmódica, estimulante da circulação periférica e estimulante estomacal e lácteo (LORENZI; MATOS, 2002).

Seus outros nomes são capim-cheiroso, erva-cidreira, capim-cidreira, capim limão, capim-santo, capim-de-cheiro, capim-marinho, capim-cidrô, chá-de-estrada, cidrô, citronela-de-java, capim-cidrilho, parchuli, capim-catinga, capim-ciri, grama-cidreira e capim-citronela.

Como características pode se dizer que é uma erva cespitosa (termo botânico que se refere ao modo como algumas plantas crescem lançando novos brotos ou caules de maneira aglomerada) quase acaule, com folhas

longas, estreitas e aromáticas e, quando recentemente amassadas têm forte cheiro de limão. Flores raras e estéreis em nossas condições. É originária do velho mundo e muito cultivada em quase todos os países tropicais inclusive no Brasil, tanto para fins industriais como em hortas caseiras para uso em medicina tradicional. Para novo plantio, os perfilhos devem ser retirados em grupos de 3, uma vez por ano, e replantados com espaçamento de 50 x 80 cm. Permite até 4 cortes por ano. É também cultivada no Brasil a espécie *Cymbopogon flexuosus*, de maior porte e com a mesma composição em termos de óleos essenciais (LORENZI; MATOS, 2002).

Seu uso é largamente difundido de norte a sul do país na forma de um chá de aroma e sabor agradáveis e de ação calmante e espasmolítica suaves; contêm um pouco menos que 0,5 % de óleo essencial, que tem atividade antimicrobiana e formado principalmente por citral, ao qual se atribui à atividade calmante e espasmolítica; contém também um pouco de mirceno, princípio ativo de ação analgésica. O chá deve ser do tipo abafado e preparado de preferência com folhas frescas, que têm um sabor mais agradável; é empregado para alívio de pequenas crises de cólicas uterinas e intestinais, bem como no tratamento do nervosismo e estados de inquietude, farmacologicamente comprovados (LORENZI e MATOS).

Outra preparação de sabor muito agradável os mesmos efeitos do chá é o refresco recentemente preparado com 40 folhas cortadas em pequenos pedaços e trituradas em liquidificador juntamente com o suco de quatro ou 6 limões em um litro d'água; esta mistura deve ser coada em peneira fina, adoçada a gosto e posto para gelar; ambas as preparações, chá e refresco, podem ser bebidos à vontade, pois são completamente desprovidos de qualquer ação tóxica, mesmo quando são tomados muitas vezes no mesmo dia. Recomenda-se, porém cuidado para evitar a presença de microfragmentos da folha no chá, os quais poderiam causar lesões nas mucosas que revestem o aparelho digestivo, da boca aos intestinos.

A planta se presta para: extração industrial do óleo essencial a partir de grandes plantios e o óleo produzido encontra emprego como aromatizante de ambiente e, principalmente, como material de partida para síntese da Vitamina

A. Alguns produtores vêm substituindo os plantios de *C. citratus* por *C. flexuosus*, cujo óleo essencial tem os mesmos componentes e, além disso, por seu porte bem maior, chega a produzir um volume de massa verde três vezes maior numa mesma área (LORENZI e MATOS).

Os produtores do capim limão, bem como de outras culturas para fins alimentícios e medicinais necessitam respeitar algumas normas criadas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária. A seguir serão comentadas estas normas.

2.7 Vigilância Sanitária

Criada pela Lei nº 9782 de 26 de janeiro de 1999, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é uma autarquia sob regime especial.

A Agência tem como campo de atuação não um setor específico da economia, mas todos os setores relacionados a produtos e serviços que possam afetar a saúde da população brasileira. Sua competência abrange tanto a regulação sanitária quanto a regulação econômica do mercado.

Além da atribuição regulatória, também é responsável pela coordenação do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), de forma integrada com outros órgãos públicos relacionados direta ou indiretamente ao setor da saúde. Na estrutura da administração pública federal, a ANVISA encontra-se vinculada ao Ministério da Saúde e integra o Sistema Único de Saúde (SUS), absorvendo seus princípios e diretrizes.

A Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, através da resolução RDC 267 (2005) aprovou o regulamento técnico para café, cevada, chá, erva-mate e produtos solúveis. O objetivo desse regulamento é fixar a identidade e as características mínimas de qualidade a que devem obedecer o café torrado, a cevada torrada, a chá, a erva-mate e os produtos solúveis, excluindo desse regulamento os produtos obtidos de espécies vegetais com finalidade medicamentosa e ou terapêutica.

Os produtos devem ser obtidos, processados, embalados, armazenados, transportados e conservados em condições que não produzam,

desenvolvam e ou agreguem substâncias físicas, químicas ou biológicas que coloquem em risco a saúde do consumidor deve ser obedecida a legislação vigente de boas práticas de fabricação.

Os produtos devem atender aos regulamentos técnicos específicos de aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia de fabricação; contaminantes; características macroscópicas, microscópicas e microbiológicas; rotulagem de alimentos embalados; rotulagem nutricional de alimentos embalados, quando for o caso; informação nutricional complementar, quando houver; e outras legislações pertinentes.

A utilização de espécie vegetal e partes de espécie vegetal que não são usadas tradicionalmente como alimento, pode ser autorizada, desde que seja comprovada a segurança de uso do produto, em atendimento ao regulamento técnico específico.

Através da resolução RDC 267 (2005) a ANVISA aprovou o regulamento técnico de espécies vegetais para o preparo de chás.

A Tabela 6 abaixo mostra algumas espécies de plantas aprovadas nas quais consta o capim limão.

Tabela 6: Espécies vegetais para o preparo de chás.

Nome Comum/Nome Científico	Parte Vegetal Utilizada
Camomila ou Maçanilha/ <i>Matricaria Recutita</i> L. e <i>Chamomilla recutita</i> (L.) <i>Raucher</i>	Capítulos Florais
Capim-limão ou capim-santo ou capim-cidreira ou capim cidró ou chá de Estrada / <i>Cymbopogon Citratus</i> <i>Stapf</i>	Folhas
Erva-cidreira ou melissa / <i>Melissa officinalis</i> L.	Folhas e Ramos
Erva-doce ou anis ou anis doce / <i>Pimpinella anisum</i> L.	Frutos
Hortelã ou hortelã-pimenta / <i>Mentha piperita</i> L.	Folhas e Ramos

Fonte: ANVISA (2005).

Através da portaria SVS/MS 326 (ANVISA, 1997) a vigilância sanitária estabeleceu que todo o equipamento e utensílio utilizado nos locais de manipulação de alimentos que possam entrar em contato com o alimento

devem ser confeccionados de material que não transmitam substâncias tóxicas, odores e sabores que sejam não absorventes e resistentes à corrosão e capaz de resistir a repetidas operações de limpeza e desinfecção. As superfícies devem ser lisas e estarem isentas de rugosidade e frestas e outras imperfeições que possam comprometer a higiene dos alimentos, ou seja, fontes de contaminação. Deve-se evitar o uso de madeira e de outros materiais que não possam ser limpos e desinfetados adequadamente, a menos que se tenha a certeza de que seu uso não será uma fonte de contaminação. O uso de diferentes materiais para evitar o aparecimento de corrosão por contato também devem ser evitados.

2.8 Atividade de Água

Quando se consideram as interações da água com os alimentos como um todo, é necessário estudar o comportamento genérico da água nos alimentos e particularmente a sua suscetibilidade ao crescimento microbiano, se relacionam com o teor de água presente. Da mesma forma, é evidente que a quantidade de água de um alimento não é por si própria, a principal determinante da estabilidade. O importante é a disponibilidade de água para os microrganismos e não sua abundância. O conceito atividade de água é adotado hoje em dia de modo universal pelos cientistas e tecnólogos de alimentos para quantificar essa disponibilidade (COULATATE, 1996).

A atividade de água (a_w) é uma medida da quantidade de moléculas de água livres ou ativas, geralmente obtida em relação à pressão de vapor da água pura. Essa medida é de fundamental importância, visto que, por meio dela, podem ser previstas reações químicas, e enzimáticas, e o desenvolvimento de microrganismos. A partir do conhecimento da atividade de água pode-se também, propor sistemas adequados em embalagem para um produto (COULATATE, 1996).

Atividade de água, (a_w) é definida como:

$$a_w = p/p_0 \quad \text{Equação 1}$$

onde “p” é a pressão parcial de vapor de água na superfície da amostra (sólida ou líquida) e “p₀” é a pressão parcial de vapor na superfície da água pura, na mesma temperatura especificada. No equilíbrio (o qual em muitos casos só é atingido lentamente) há uma relação entre atividade de água (a_w) de um alimento e a umidade relativa no equilíbrio (URE) do ar confinado bem acima deste:

$$a_w = \text{URE}/100$$

Equação 2

Esta relação entre URE e (a_w) habilita a predição de que os alimentos ganham ou perdem água quando expostos ao ar ou a uma umidade particular.

A Figura 3 mostra as curvas de secagem e hidratação em equilíbrio de um alimento em função da atividade de água.

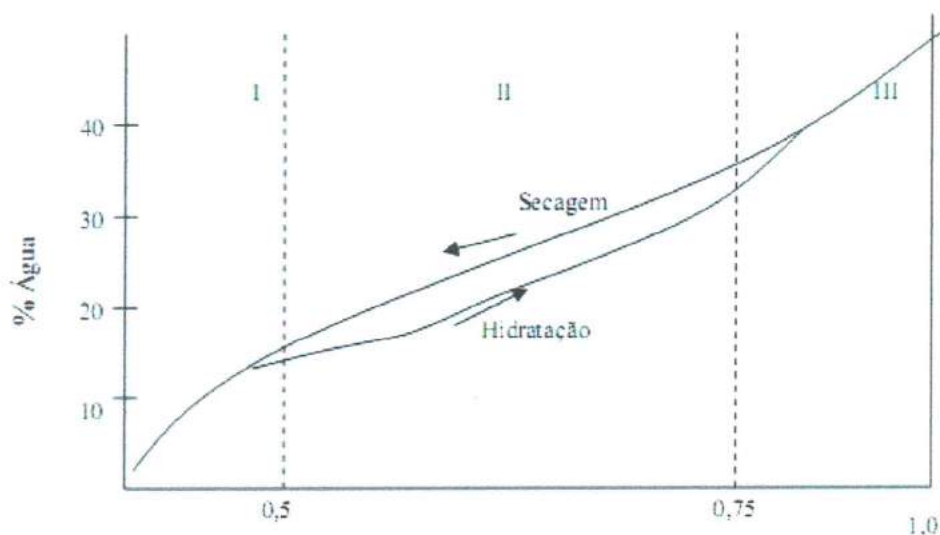


Figura 3: Curvas de equilíbrio na secagem e hidratação em função da atividade de água. Fonte: Bobbio e Bobbio apud NEGRI (2001).

- I – Água da camada primária unida a grupos ionizáveis ou fortemente polares.
- II – Água pode atuar como solvente.
- III- Água livre, retida mecanicamente nos capilares, pode formar soluções.

Conforme a Figura 3, no eixo x está a atividade de água, nomeada como (a_w). Analisando a Figura 4, a_w de 0,4 a 0,8 podem ocorrer reações químicas e enzimáticas, enquanto que a_w igual a 0,6 pouco ou nenhum crescimento microbiano ocorre. Os fungos são os microrganismos mais

resistentes à diminuição da atividade de água, agindo na faixa de a_w de 0,6 a 0,7 possivelmente devido ao fato de que nessa faixa não ocorre competição com bactérias (DITCHFIELD apud NEGRI, 2000). Em a_w menor do que 0,3 entram na zona de absorção primária, onde as moléculas de água poderão estar ligadas a pontos de absorção primária (ex: grupos carboxílicos COOH) e por pontes de hidrogênio. Em alimentos, a água nesta região está fortemente ligada formando a monocamada (pode ser mais de uma camada), que são finas camadas de água recobrendo macromoléculas e não participam de reações ou desenvolvimento microbiano (BOBBIO e BOBBIO, 2001). Em a_w igual a 0,2 as reações são inibidas, com exceção da oxidação de lipídios.

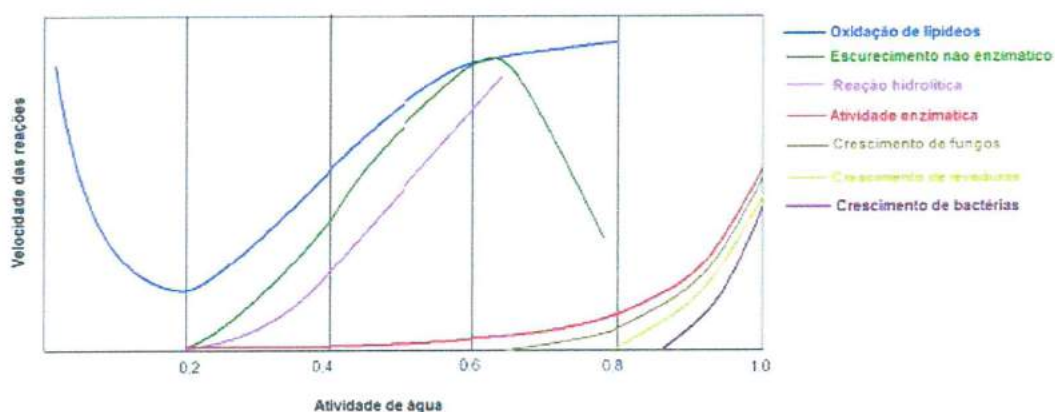


Figura 4: Diagrama de estabilidade em função da atividade de água. Fonte: DECAGON apud NEGRI (2006).

2.9 Conteúdo de Água nas Plantas

As plantas apresentam diferentes quantidades de água em diferentes órgãos: sementes e frutos de 5 a 10%, folhas 60 a 90%, raízes e rizomas 70 a 85% e as flores e frutos carnosos de 80 a 90% (BORSATO, 2003). Algumas atividades metabólicas (processos enzimáticos, auto oxidação, escurecimento não enzimático), atividade bacteriana e fúngica não cessam quando são separadas partes da planta durante a colheita, sendo dependentes do conteúdo de água na planta. Por isso, é importante que a secagem se inicie o mais rápido possível após a colheita, prevenindo a deterioração do material coletado (HORNOK, 1992). O conteúdo de água na planta pode ser classificado de acordo com o modo como a água se encontra ligada e sua retirada pela secagem (HORNOK, 1992).

Água ligada quimicamente: possui uma alta energia de ligação com as macromoléculas (proteínas, carboidratos) formando a monocamada e mantendo a sua integridade estrutural. A remoção acontece somente com a destruição do material, portanto, não é removida pela secagem.

A água ligada, devido as suas características físico-químicas, pode estar presa por adsorção e osmoticamente. A primeira possui energia de ligação mais alta e não pode ser retirada com a secagem. A água ligada osmoticamente apresenta propriedade similar a uma solução concentrada, ocupa poros e capilares, não interage diretamente com a superfície das macromoléculas e pode ser retirada parcialmente.

A água também pode estar ligada mecanicamente à planta. A água apresenta propriedade similar à solução diluída e é considerada água livre. Encontra-se situada superficialmente e nos macro capilares e é removida mais facilmente. A remoção acontece em diferença de concentração e de temperatura (a água migra de lugares de maior quantidade para os de menor quantidade de água e de lugares mais quentes para os mais frios, por movimento térmico das moléculas). A taxa de secagem depende da temperatura e do fluxo de ar no secador, sendo que quanto maiores, mais

rápida se processa a secagem. Se a temperatura e o fluxo de ar forem muito altos, a taxa de secagem supera a taxa de migração da água e os capilares são fechados, impedindo a saída de água da planta e só acontecerá num aumento de temperatura, o que pode provocar degradação do material (HORNOK, 1992). Quando ocorre a evaporação na superfície da planta, a umidade se desloca das camadas internas para a superfície por difusão. O movimento da umidade é causado pelo gradiente de concentração entre o interior e a superfície da planta (LIVI, 2004). No início da secagem o teor de umidade interna é elevado e o gradiente de concentração é alto, assim, a quantidade de líquido difundido para a superfície é igual ao evaporado, mantendo a velocidade constante. No decorrer da secagem, o gradiente de concentração vai diminuindo até que a velocidade de secagem torna-se controlada inteiramente pela difusão da água no interior da planta (LIMA, 1971).

2.10 Desidratação

O processo de desidratação consiste na secagem pelo calor produzida artificialmente em condições de temperatura, umidade e corrente de ar, cuidadosamente controladas. O processo de desidratação dos alimentos, principalmente de frutas e hortaliças, é bastante prático, pois permite a armazenagem em locais simples por longo tempo.

Umas das principais causas de deterioração de alimentos frescos e ou processados é a quantidade de água livre presente nos mesmos. Portanto, faz-se necessária a utilização de métodos ou combinações destes a fim de que o alimento se torne estável à deterioração química e microbiana. Assim, a desidratação é um método que garante melhor conservação das frutas e, industrialmente é feita por meio de sua secagem, ou seja, retirada de água por meio do calor produzido artificialmente em equipamento chamado desidratador. As condições de temperatura, umidade e corrente de ar são acompanhadas com rigor para maior qualidade do produto final.

Segundo a RDC nº 272 (BRASIL, 2005), fruta seca é o produto obtido pela perda parcial da água da fruta madura, inteira ou em pedaços, por

processos tecnológicos adequados que possibilitem a manutenção de, no máximo 25% de umidade(g por 100 g). O produto é designado simplesmente pelo nome da fruta que lhe deu origem, seguida da palavra “seca”.

Os produtos preparados com mais de uma espécie de frutas, terão a designação de “frutas secas mistas”, seguida do nome das frutas componentes. Pode também ser usada a palavra “passa”, em lugar de “seca”. Exemplos: uva passa, tomate passa etc. Matos (2001), afirma que o processamento de frutas desidratadas agrega valor ao produto, além de reduzir os custos de transporte, embalagem e requer menor área para armazenamento. Porém, a qualidade final do produto que será desidratado depende da matéria-prima utilizada, se as frutas utilizadas durante o processo forem de boa qualidade, o resultado final é fruta seca saudável e saborosa.

As frutas secas, ao contrário das frescas, representam uma fonte mais concentrada de calorias, fibras, açúcares e alguns nutrientes, além de terem um prazo de validade maior, já que a água, que é a responsável pelo crescimento de microrganismos, que deterioram o alimento, é retirada. Além das vantagens observadas, a desidratação confere também o refinamento do alimento, tendo-se como consequência a instalação de um novo produto no mercado, o que usualmente vem motivando os investimentos de produção e beneficiamento agrícola, face aos benefícios monetários que derivam da transformação do produto.

Apesar da inexistência de estatísticas oficiais, o desperdício de frutas e hortaliças no Brasil é estimado em mais de 40% da produção, ou seja, mais de 14 milhões de toneladas. Enquanto essa perda supera a produção total de muitos países da América Latina, mais de 30% da população brasileira não tem acesso a nenhum tipo de fruta ou hortaliça (SILVA et, al., 2004).

A secagem de alimentos é uma forma de conservação e variação do sabor natural, praticada há muito tempo. Provavelmente os homens primitivos já se utilizavam desta arte para prolongar a possibilidade de consumo dos alimentos encontrados em curtos períodos de ano.

De acordo com Doymaz (2004), o mecanismo de secagem é estabelecido pela transferência de calor e massa do alimento, durante a

secagem, que resulta na remoção da umidade; ocorre por vaporização térmica, com o auxílio de ar aquecido, que flui pela superfície da fruta. Essa vaporização térmica se processa numa temperatura inferior à de ebulição da água e depende, essencialmente, dos seguintes fatores: pressões de vapor da água no alimento e no ar de secagem; temperatura e velocidade do ar; velocidade de difusão da água no alimento e da espessura e superfície exposta para secagem.

Através de curvas de secagem, pode se observar que a maior parte do processo transcorre dentro de um período de velocidade decrescente. Nota-se também que a temperatura exerce influência sobre a velocidade de secagem em cada tipo de alimento, sendo o tempo de secagem menor com o aumento da temperatura. Assim como a temperatura, a pressão também exerce influências na cinética de cada tipo de alimento. O aumento da temperatura causa diminuição do tempo de secagem em todos os casos e este tempo diminui ainda mais quando diminui a pressão de secagem.

Segundo Santos et, al. (1997), a finalidade da desidratação de produtos agroalimentares é evitar o crescimento ou reprodução de microrganismos, a deterioração e a ação de insetos e, portanto, permitir a preservação das qualidades dos produtos durante armazenagens prolongadas.

A remoção da água durante o processo de secagem apresenta algumas vantagens, notadamente econômicas, sobre os demais processos de conservação, já que pode reduzir os gastos com armazenamento e distribuição dos produtos secos, em virtude da redução de massa e volume (STRINGHETA, 1984).

Existem inúmeros métodos destinados à desidratação de alimentos, desde os mais avançados, direcionados à produção em grande escala, aos mais simples, direcionados ao pequeno produtor, como a desidratação solar (mecânica e natural), sala de secagem, forno doméstico e desidratador adiabático convencional.

Segundo Grabert(2001), vários processos de secagem têm sido desenvolvidos e testados visando melhorar o aproveitamento das condições

disponíveis, tanto para a matéria prima quanto para a fonte de energia empregada na secagem.

2.11 Processo de Secagem

A secagem das plantas é uma etapa de preparação normalmente feita para atender às necessidades da indústria farmacêutica de fitoterápicos, que não tem meios para utilizar as plantas frescas nas quantidades exigidas para a produção industrial. Mesmo quando coletadas em horta caseira ou comunitária, onde a regra é o uso de plantas frescas, é preciso muitas vezes, conservar e usar partes secas das plantas, o que se consegue empregando processos adequados a esta operação.

A secagem pode aumentar o número de modificações físicas e químicas negativas, alterando a qualidade da matéria-prima para a sua comercialização como, por exemplo, mudanças em aparência (coloração), cheiro e possíveis perdas de constituintes voláteis.

Esses fatores requerem trabalhos de pesquisa, cujo objetivo é estudar os possíveis efeitos da secagem e do armazenamento de plantas medicinais, sob condições pré-estabelecidas (BARITAUX *et al.*, 1992).

A velocidade com que a água é retirada da planta medicinal, durante a secagem, é muito importante, pois um processo muito rápido pode degradar os princípios ativos. Também não deve ser muito lenta, pois pode propiciar o aparecimento de microrganismos indesejáveis (SILVA; CASALI, 2000).

Mulleret al. compararam a secagem de menta (*Mentha piperita*) e salvia (*Salvia officinalis*) pelo método tradicional (secagem ao sol) e em secador solar com ar aquecido a 45°C. Os resultados demonstraram que o teor de óleo essencial extraído de menta e da salvia apresentaram um aumento, respectivamente, de 40 e 25% com a utilização da secagem em estufa solar, em relação à secagem pelo método tradicional. O emprego da secagem em secador melhorou a qualidade das plantas medicinais intensificando a coloração e o conteúdo de princípios ativos.

Segundo Muller e Mühlbauer (1990), o acréscimo na temperatura do ar de secagem de 30 até 50°C, para a secagem de camomila (*Chamomilla recutita*), reduziu o tempo de secagem de 52 para 3,5 horas, causando

decréscimo no teor de óleo essencial na faixa de 15 a 25%, independentemente da temperatura empregada.

Deans e Svoboda (1992) empregaram temperaturas do ar de secagem entre 40 e 100°C, durante 24 horas, para a secagem de manjerona (*Origanum majorana* L.), manjerição (*Ocimum basilicum*), artemísia (*Artemisia dracunculoides*), sálvia (*Salvia officinalis*), satureja (*Satureja hortensis*), tomilho (*Thymus vulgaris* L.) e alecrim (*Rosmarinus officinalis*), com o objetivo de avaliar a quantidade e qualidade do óleo essencial. Concluíram que a quantidade extrativa de óleo essencial foi inversamente proporcional ao aumento da temperatura do ar de secagem.

De acordo com Martins (2000), a utilização das velocidades do ar de secagem de 0,5 e 1,0 m.s⁻¹, para capim-limão (*Cymbopogon citratus*), não influenciaram no teor de óleo essencial extraído e nem na quantidade do componente principal (cital). Entretanto, a temperatura do ar de secagem influenciou de forma positiva na extração do óleo essencial, ocorrendo aumento no rendimento extrativo de óleo essencial em função do aumento da temperatura do ar de secagem. Empregando a temperatura de 60°C foi observado um aumento extrativo de 21% em relação à planta fresca e comparando os tratamentos com ar aquecido a 40 e 60°C o aumento foi de 15% para o último.

Melo et al. (2004b), em uma revisão sobre a influência da secagem na qualidade de plantas medicinais, demonstra que a quantidade e qualidade do princípio ativo extraído da planta é afetado pela temperatura do ar de secagem, além de romper o paradigma de que não se podem empregar temperaturas superiores a 40°C para o ar de secagem. Os resultados confirmam a necessidade de se estabelecer valores de temperatura diferenciados para cada espécie, sendo necessário investimento em pesquisa com tal objetivo.

A secagem de produtos para o consumo surgiu na Europa, durante o Império Romano. Os produtos são submetidos a processos de secagem natural, exposição ao sol ou artificial, câmaras de ar, vapor ou estufas e mesmo assim não perdem suas propriedades nutricionais.

A secagem de produtos perecíveis com altos teores de umidade inicial apresenta diversas vantagens, tais como: manutenção dos constituintes minerais; inibição da ação de microrganismos; redução dos custos de transporte, manuseio e estocagem e alternativa para a solução dos problemas de desperdício, descarte e poluição. Além disso, os produtos secos utilizam formas de embalagem mais econômica e disponível e oferecem opções para refeições leves e rápidas.

2.11.1 Aspectos Tecnológicos

A secagem é provavelmente o mais antigo e o mais importante método de preservação praticado por seres humanos. A remoção da umidade impede o crescimento e produção de microrganismos que causam degradação, e minimiza muitas reações deterioráveis, trazendo uma redução substancial do peso e volume, reduzindo os custos com embalagem, armazenagem e transporte, e permitindo uma armazenagem segura do produto (MUJUMDAR apud SANTOS, 1995).

A preservação de alimentos por secagem é ainda de crescente interesse para a fabricação de produtos finais. Como a economia que está se tornando cada vez mais globalizada, a distribuição de produtos agrícolas e de outros produtos biológicos está crescendo, e normalmente processos de secagem são necessários para assegurar estabilidade durante o armazenamento e o transporte, uma vez que o teor de umidade é reduzido e, conseqüentemente, a disponibilidade de água para:

1. O desenvolvimento de fungos e bactérias, que causam degradação microbiológica;
2. O processo de respiração dos alimentos, que provoca perda de peso e gera calor;
3. A ocorrência de reações bioquímicas que promovem a auto degradação do produto.

Cientificamente a secagem de sólidos é uma operação complexa envolvendo fenômenos de transporte transientes e transformações físicas,

químicas e bioquímicas, as quais por sua vez, podem levar às alterações dos mecanismos de transferência de calor e massa.

A secagem é inerentemente uma área multidisciplinar, que oferece um amplo campo de pesquisas, de naturezas fundamental e aplicada, acoplando fenômenos de transporte e ciência dos materiais, desde que o objetivo da secagem não seja somente fornecer calor e remover umidade do material, mas produzir um produto seco e de qualidade.

Apesar dos diversos sistemas de secagem e grande quantidade de técnicas de produtos orgânicos já existirem, o método ainda mais empregado é a secagem natural, realizada ao ar livre, envolvendo neste caso, tempos geralmente longos e nem sempre o produto resultante é de boa qualidade. Problemas estes devido ao difícil controle das condições de secagem, causado pela grande dependência dos fatores climáticos.

Assim, a secagem natural vem dando lugar às técnicas de secagem artificial, com vistas ao aumento da produtividade e do controle do processo para alcançar um produto uniforme e de boa qualidade.

A realização de estudos que viabilizem o desenvolvimento de secadores e o conhecimento de condições ótimas de operação é altamente desejável, uma vez que a secagem é uma operação unitária indispensável para a preservação das características e propriedades físico-químicas e fisiológica dos produtos orgânicos.

Diante da necessidade de reduzir custos energéticos do processo e da crescente preocupação em assegurar a qualidade do produto, investigações sobre diferentes métodos de secagem crescem de importância.

2.11.2 Cinética de Secagem

Entre os principais fatores envolvidos no projeto de secadores, a adequada predição da taxa de secagem do material no equipamento é de fundamental importância. Esta informação é usualmente obtida a partir de estudos específicos de secagem em camada fina, o que permite conhecimento da cinética de secagem num elemento de volume dos leitos espessos, em condições de operação controladas, fornecendo informações úteis sobre o

fenômeno de transferência de massa. Esta abordagem experimental também é amplamente utilizada para a determinação, em diferentes condições de secagem, dos parâmetros de transferência de massa requeridos nos modelos de secagem em camada espessa (SARAVACOS; MAROULIS, 2001).

A secagem é mais eficiente em maior temperatura, maior velocidade do ar e menor umidade relativa (BORSATO, 2003), porém altas temperaturas promovem o rompimento das estruturas celulares, levando à morte ou desencadeamento de reações enzimáticas e não enzimáticas alterando a cor, o sabor e o odor da planta.

O efeito térmico pode hidrolisar e degradar carboidratos causando escurecimento. As espécies medicinais ou aromáticas, onde as substâncias ativas estão concentradas nas folhas devem ser secas imediatamente após coleta a fim de manter suas propriedades medicinais e de estabilidade. O material deve ser distribuído em camadas finas, sem compactação permitindo boa circulação do ar.

Recomenda-se que a secagem seja rápida, com calor moderado, circulação de ar e ausência de luz solar. Nas secagens empregando temperaturas abaixo de 80°C não ocorre degradação de enzimas, mas inibição, podendo ser reativadas (BORSATO, 2003). A secagem de plantas causa uma desidratação reduzindo a ação das enzimas e contaminação microbiana, conservando a planta por tempo superior. A desidratação aumenta o teor de princípios ativos em relação ao peso da droga vegetal. As plantas medicinais devem ter o conteúdo de umidade mais baixo possível evitando mofo e contaminação microbiana.

Quando um material vegetal é submetido à secagem, ocorre uma redução considerável da sua massa seca em relação à da planta fresca. A faixa de redução de massa considerada aceitável, de acordo com Sartório (2000), está em torno de 20 a 75%.

2.11.3 Secagem Convectiva

Entre os vários métodos existentes, a secagem convectiva é uma das mais utilizadas para remover a umidade de uma grande variedade de materiais

biológicos. Isso em razão da simplicidade de construção e facilidade de operação. Entretanto, trata-se de uma operação com grande consumo de energia. Longos tempos de secagem são usualmente requeridos, por causa das baixas condutividades térmicas dos materiais durante o período de taxa decrescente, que dificultam a transferência interna de calor, e à impermeabilização que tende a ocorrer na superfície do sólido, aumentando a resistência à transferência de massa e a possibilidade de excesso de secagem do produto.

Poucos sistemas possuem reciclo do ar de exaustão, o qual é geralmente descarregado diretamente para a atmosfera, reduzindo a eficiência energética do secador. Além disso, a maior parte da energia para a secagem é obtida da queima de combustíveis fósseis, ocasionando também um impacto ambiental negativo.

Os custos crescentes de combustíveis fósseis, a preocupação em assegurar a qualidade do produto e reduzir o impacto ambiental, têm impulsionado as pesquisas para a compreensão dos fenômenos complexos envolvidos na secagem convectiva e para a melhoria do desempenho dos secadores industriais (MUJUMDAR, 2006).

Novos produtos, novos processos, maiores taxas de produção e legislações ambientais mais rigorosas requerem maior nível de desempenho em custos menores que o obtido com secadores convencionais, o que tem fornecido uma nova motivação para pesquisas neste campo multidisciplinar, concernentes ao desenvolvimento de tecnologias de secagem com maior eficiência energética, e até mesmo envolvendo o uso de fontes de energia renovável (RAGHAVAN *et al.*, 2005). Novas tecnologias de secagem são ainda necessárias para produtos tradicionais, como grãos e sementes, em razão da massiva escala global de produção dessas “commodities” (commodities são produtos padronizados, não diferenciados cujo processo de produção é dominado em todos os países e cujo preço não é definido pelo produtor, dada a sua importância para o mercado). Em adição, a globalização de mercado tem obrigado demandas mais rigorosas sobre as tecnologias de secagem.

2.11.4 Secagem por radiação infravermelha

Na grande maioria dos processos de secagem, o tratamento térmico dos materiais envolve técnicas convencionais de fornecimento de energia tais como convecção e condução. Entretanto, estes modos de transferência de calor restringem as possibilidades de aumentar a eficiência de secadores no processamento de determinado produto e até mesmo no aumento da capacidade de produção. Neste contexto, as tecnologias radiantes se tornam particularmente interessantes à medida que permitem o imediato e significativo fornecimento de energia ao produto a ser processado (SALAGNAC *et al.*, 2004).

Diante da necessidade de aplicar fontes alternativas e eficientes de energia para reduzir o tempo e os custos com o processo, as investigações sobre tecnologias de secagem via radiação eletromagnética crescem de importância (MUJUMDAR, 2006). Entre as técnicas de radiação, a aplicação contínua ou intermitente da radiação infravermelho, de forma isolada ou acoplada com o aquecimento convectivo, tem se mostrado bastante promissora, tanto no que diz respeito à redução do tempo de secagem e, portanto, no consumo de energia, quanto no que diz respeito à garantia de uma degradação mínima da qualidade do produto.

O aquecimento infravermelho (IV) envolve energia eletromagnética na faixa de comprimento de onda de 0,75 a 100 mm. As vantagens desta técnica incluem:

1. A simplicidade do equipamento requerido;
2. A fácil incorporação do aquecimento IV com outros métodos de aquecimento (convectivo, condutivo e micro-ondas);
3. O fácil direcionamento da fonte de calor e transferência da energia eletromagnética no regime infravermelho para a superfície do material sem aquecimento do ar;
4. A obtenção de altas taxas de transferência de calor com aquecedores compactos;

5. Reduzida necessidade de uma alta velocidade do ar, minimizando o contato do material submetido à secagem com o oxigênio;
6. Alta qualidade dos produtos finais
7. Significativa economia de energia (MUJUMDAR, 1995).

Ainda, em termos da qualidade do produto, o aquecimento infravermelho pode atuar como tratamento térmico, incluindo a inativação de fatores tóxicos e enzimas degradativas, redução da contagem microbiana, melhoria da operação de descasque de grãos de leguminosas e, em geral, agregando valor aos grãos de cereais, leguminosas e oleaginosas (GINSBURG, 1969).

A alta densidade de potência aplicada ao produto pode modificar significativamente suas propriedades de superfície e diminuir o tempo de secagem, mas pode também causar danos ao material. Uma consideração importante é a máxima temperatura atingida, considerada segura para a secagem. Esta temperatura varia dependendo do produto.

Prolongada exposição do material ao aquecimento IV pode resultar em eventual injúria térmica do material (FASINA *et al.*, 2001). Assim, as vantagens técnicas e econômicas do aquecimento infravermelho devem ser acompanhadas pela qualidade do produto final, a qual deve atender parâmetros pré-estabelecidos.

Inicialmente, os trabalhos existentes na literatura se concentravam tradicionalmente sobre a utilização da IV para a secagem de tintas e recobrimentos na indústria automotiva (NAVARI *et al.* apud SANTOS, 1992), bem como para a correção de perfis de umidade na secagem de papel. Nos últimos anos, o potencial da secagem infravermelho, para obtenção de alimentos de alta qualidade, incluindo frutas e vegetais vem sendo extensivamente investigado na literatura (AFZAL e ABE apud SANTOS, 1997). A combinação de aquecimentos infravermelho e convectivo aplicados à secagem de filmes poliméricos, produzidos para fins farmacêuticos também tem sido reportada (LE PERSON *et al.*, 2004). Já a aplicação desta tecnologia na agroindústria ainda está no seu estágio inicial, com um amplo campo de pesquisas a ser explorado. Poucos são os trabalhos descrevendo o

comportamento da secagem infravermelho de grãos e sementes, tampouco o efeito do processo sobre as propriedades físicas, químicas e fisiológicas desses produtos (FASINA *et al.*, apud SANTOS, 2001).

A secagem artificial, geralmente possui custo superior ao da secagem natural, proporciona a regulação das condições operacionais do processo, reduzindo o conteúdo de umidade a níveis aceitáveis, sendo possível obter um produto com umidade em condições pré-estabelecidas e sem a necessidade de riscos às intempéries ambientais. Nesse sentido a utilização do biogás como fonte energética do queimador por infravermelho contribui com a crescente conscientização sobre a degradação ambiental.

Segundo Raghavan *et al.* (2005), a secagem é apontada por consumir de 12 a 20% da energia total consumida pelo setor industrial, entretanto há uma série de maneiras de minimizar os gastos energéticos nas operações de secagem, tais como: modificação das condições operacionais e de equipamentos e, utilização de tecnologias híbridas de secagem, como por exemplo, a combinação da secagem convectiva ou a vácuo com as tecnologias eletrônicas disponíveis como micro-ondas, frequência de rádio e radiação infravermelha.

A tecnologia de secagem via radiação infravermelha tem sido amplamente utilizada em vários processos industriais, envolvendo materiais têxteis, eletrônicos, tintas automotivas e papéis (NAVARI *et al.*, 1992; KUANG *et al.*, 1992), mas sua aplicação em produtos da agroindústria ainda está na sua fase inicial.

A aplicação da radiação infravermelha apresenta vantagens em relação à secagem convectiva convencional, tais como: a versatilidade do aquecimento infravermelho, a simplicidade do equipamento requerido, o fácil acoplamento do aquecimento infravermelho com o aquecimento convectivo e condutivo, a rápida resposta transiente, e também a economia de energia, de acordo com (MUJUMDAR apud GUIMARÃES, 1995).

A secagem utilizando o fornecimento de energia eletromagnética no regime infravermelho tem sido investigada também como uma técnica para

obter alimentos, como frutas, vegetais e grãos, com maior qualidade, bem como recentemente para sementes oleaginosas (ABE; AFZAL, 1997).

Ainda, em termos da qualidade do produto, o aquecimento infravermelho pode atuar como tratamento térmico, incluindo a inativação de fatores tóxicos e enzimas degradativas, redução da contagem microbiana, melhoria da operação de descasque de grãos de leguminosas e, em geral, agregando valor aos grãos de cereais, leguminosas e oleaginosas (GINZBURG apud SANTOS, 1969).

Além do cuidado com as propriedades das plantas após a secagem, estas devem possuir algumas propriedades segundo normas especificadas na legislação, para então serem comercializadas.

2.11.4.1 Queimador Infravermelho

Segundo Vlassov apud Dantas (2001) o queimador é um equipamento encarregado de processar a queima de uma mistura ar/combustível numa câmara de combustão. O combustível seja ele sólido ou líquido ou gasoso, somente apresenta uma boa combustão se forem criadas condições necessárias e adequadas. A construção desse equipamento depende de fatores como: consumo, pressões disponíveis para o combustível, pressão do ar na entrada do queimador, das temperaturas empregadas, entre outros.

Na utilização de queimadores infravermelhos é importante conferir se o combustível e o oxidante estão em contato o tempo e a temperatura suficientes para ocorrer e completar a reação de combustão. Uma vez que a maioria das reações de combustão acontece na fase gasosa, o contato eficiente depende do tempo, da temperatura e da distribuição do calor no secador.

O queimador infravermelho oferece uma troca de calor através da radiação associada a um substancial volume de gases aquecidos. Ele é construído sob uma base metálica na qual um leito cerâmico fica inserido, nesse espaço é onde ocorre a reação de combustão.

Conforme Malico (1999) a combustão infravermelha envolve a estabilização de uma chama no interior de uma matriz cerâmica. Na entrada do queimador, a fase sólida encontra-se a uma temperatura superior a dos

reagentes gasosos já que é aquecida por radiação emitida pela matriz cerâmica para jusante. Como consequência, após entrarem na matriz cerâmica, o ar e o combustível pré-misturados são aquecidos por convecção à medida que atravessam os furos do leito cerâmico. O inverso ocorre na zona de combustão, onde a energia química do combustível é transformada em energia térmica. Nessa região a temperatura da fase gasosa é superior a da fase sólida, que é, portanto, aquecida por convecção.

O queimador infravermelho é um equipamento em que a combustão desenvolve-se na saída da tela cerâmica refratária porosa, a chama produzida aquece a superfície da tela e o calor é transmitido principalmente por radiação infravermelha, conforme Figura 5.



Figura 5: Modelo de queimador infravermelho a gás.

A matriz cerâmica pode ser adotada como um trocador de calor que transfere para os reagentes uma fração energética química liberada pelo combustível/comburente. Devido ao mecanismo de realimentação de energia dos produtos de combustão para os reagentes é possível queimar combustíveis de menor poder calorífico, com limites de inflamabilidade alargados, obtendo-se velocidades de chama adequada.

As outras vantagens da combustão no interior de matrizes cerâmicas estão relacionadas com as emissões de poluentes, já que embora as taxas de transferência de calor possam ser superiores, as temperaturas na zona de reação são relativamente baixas e a combustão muito eficiente o que conduz a baixos índices de emissão de NO_x e CO. (MALICO, 1999).

2.11.4.2 Funcionamento do queimador infravermelho

As ondas emitidas por um queimador infravermelho são uma forma de energia por radiação eletromagnética, semelhante às ondas de rádio no espectro das frequências. A energia radiante infravermelha emitida depende do material de superfície, além da temperatura envolvida (TRIMIS e TURST, 1996).

Os raios infravermelhos possuem um comprimento de onda de luz invisível e, portanto, não podem ser vistos a olho nu. Eles podem, no entanto, fazer-se sentir, pois nosso corpo consegue detectar facilmente o calor produzido pela radiação infravermelha. Os modelos destes secadores usam o calor para provocar a evaporação e secar uma grande variedade de produtos.

Secadores com queimadores infravermelhos são frequentemente utilizados para secagem do papel, bem como para a cura de tintas, silicones, espumas, colas e resinas. Além de ajudar nos processos de fabricação, eles são utilizados para processamento de alimentos e pelas indústrias médica e farmacêutica.

O calor infravermelho é mais facilmente absorvido por objetos sólidos tridimensionais do que pelo ar, o que significa que a maior parte do calor chega ao seu destino, em vez de difundir para a atmosfera. Os aquecedores por convecção, por exemplo, aquecem o ar e, em seguida, o distribuem por ventiladores ou ventoinhas, enquanto os aquecedores infravermelhos emitem calor, que é transferido diretamente para o objeto. Quando secadores infravermelhos são usados, os produtos ficam secos de dentro para fora, minimizando o calor escaldante. Diferentes materiais têm diferentes propriedades de absorção de calor radiante, e comprimento de onda do infravermelho do aquecedor pode ser comparado à taxa de absorção do produto para aumentar sua eficiência.

Os secadores infravermelhos são mais seguros do que outros tipos, porque o compartimento do secador permanece frio ao toque e, uma vez que os queimadores estão desligados, há uma rápida queda na temperatura.

Os queimadores a gás convertem a energia da chama em radiação infravermelha, através de uma série de tubos, filamentos ou trocadores de calor

de cerâmica. Algumas também utilizam refletores para manter os raios orientados para o produto. Os ventiladores também podem ser usados para redistribuir o calor irradiado.

O processo de funcionamento do queimador infravermelho com biogás e com o GLP ocorre com a abertura da válvula de gás e o acendimento do biogás na entrada do queimador, a chama entra na câmara de combustão e então, há a troca de calor com a cerâmica e a emissão de ondas no comprimento do infravermelho.

Este trabalho de monografia foi desenvolvido levando em consideração o que existe de conhecimento na literatura sobre plantas medicinais, biogás, secagem, queimadores e assuntos a eles relacionados, com o objetivo de montar um secador com as especificidades necessárias para a secagem de plantas em um secador alimentado com biogás e queimador infravermelho.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Secador a Biogás

Foi adquirido e adaptado um forno do fabricante ITAJOBI com as medidas de 630 cm de largura, 400 cm de profundidade e 450 cm de altura, paredes laterais e teto duplos e com isolamento em fibra de vidro, parede traseira simples e porta de vidro de 5 mm de espessura. A Figura 6 mostra o secador.



Figura 6: Secador adaptado para o processo de secagem.

Conectado ao secador foi montado um sistema de aquisição de dados composto por um controlador de temperatura da marca FULL GAUGE CONTROLS e modelo MT-512Ri Plus, um conversor serial 485 em USB e um programa para análise dos dados chamado SITRAD do mesmo fabricante do controlador, conforme Figura 7.

O SITRAD é um software da marca FULL GAUGE CONTROLS para gerenciamento a distância das instalações de refrigeração, aquecimento, climatização e aquecimento solar. Ele atende as mais rígidas exigências do mercado porque é atualizado constantemente pelo fabricante. Acessa tanto local como remotamente instalações dos mais diversos segmentos, desde redes de supermercados, frigoríficos e restaurantes, até hotéis, hospitais, laboratórios, residências, entre outros.

O SITRAD avalia, configura e armazena continuamente dados de temperatura, umidade, tempo, pressão e voltagem, permitindo a modificação dos parâmetros de operação dos instrumentos com total segurança e precisão, de qualquer lugar do mundo, via internet, através do computador ou celular.

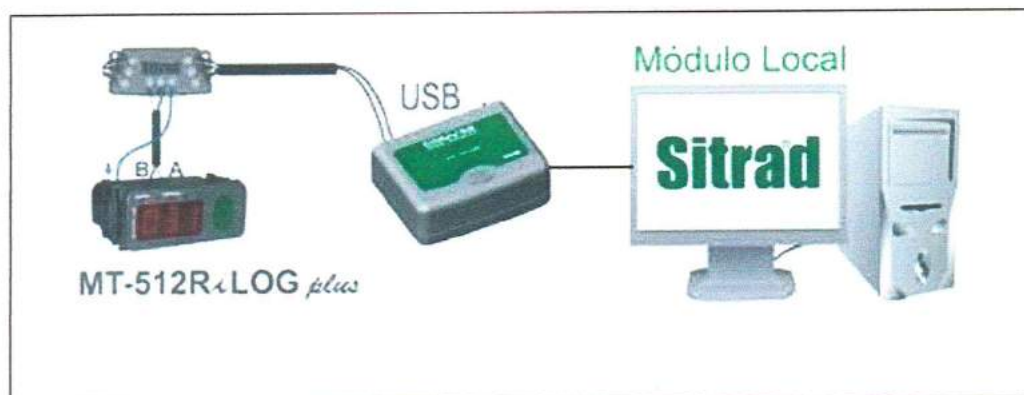


Figura 7: Sistema de aquisição de dados.

O controlador regula a temperatura interna do forno através do comando em um exaustor axial medindo 14 x 14 cm da marca VENTISILVA e modelo E14, dessa forma se retira o ar quente do secador quando a temperatura a ser controlada é atingida, ou seja, 50 °C do processo. A Figura 8 mostra o ventilador instalado na parte traseira do secador. Por estar constantemente ligando e desligando, o ventilador acaba contribuindo para o fluxo de ar no interior do secador e assim acelerar o processo de secagem.

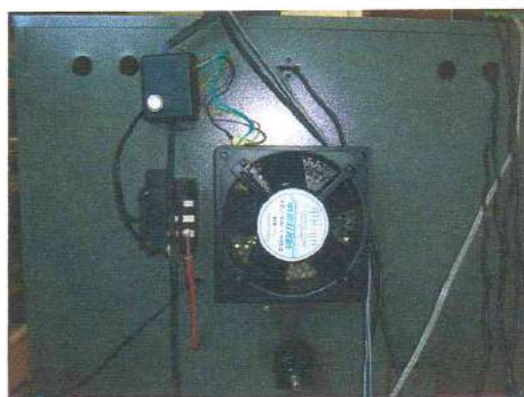


Figura 8: Ventilador instalado no secador.

Foi adquirido e um queimador infravermelho a gás para utilização no secador. Foi realizada uma pesquisa no mercado sobre a potência queimadores a gás e o tamanho mínimo encontrado foi de 1200 kcal.h^{-1} , dessa maneira após alguns testes iniciais constatou-se que essa potência era muito superior à necessária para que se pudesse utilizar como secador. A solução encontrada foi adquirir um queimador de 2250 kcal.h^{-1} , indicado na Figura 9 e sua adaptação para a utilização como secador. O procedimento adotado foi fazer um corte transversal dividindo secador em três partes e a posterior utilização de 1/3 como secador para o forno adaptado. Conforme Figura 10 o queimador infravermelho adaptado para que se pudesse o utilizar com potência de secagem a biogás e GLP, está localizado no centro do secador.



Figura 9: Queimador por infravermelho a gás.

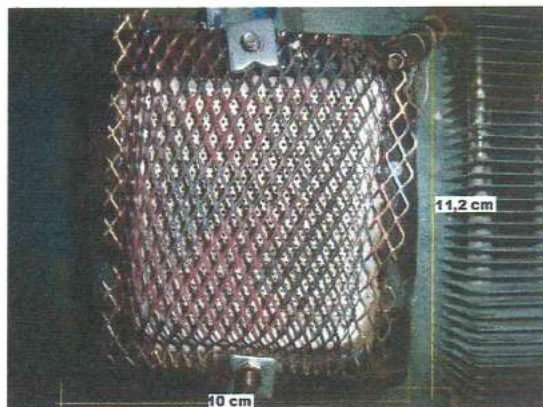


Figura 10: Queimador adaptado para uso com o secador.

Para facilitar o acendimento do fogo no secador foi adquirido e instalado um acendedor automático de fogões domésticos, conforme Figura 11, garantindo assim a segurança do acendimento no secador por não haver necessidade de se levar, com a mão, o fósforo até o queimador.

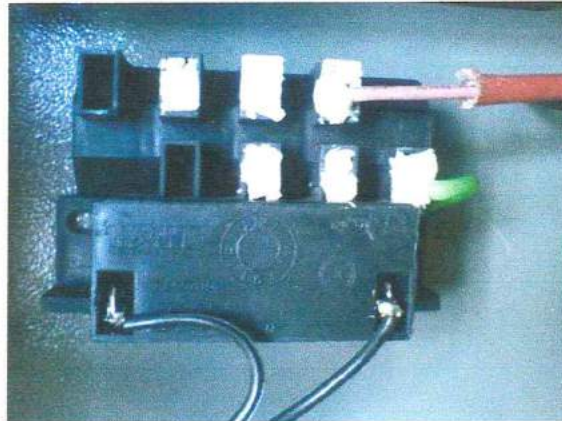


Figura 11: Acendedor automático de fogões domésticos.

O sistema da medida de consumo do gás GLP e do biogás foi realizado por um medidor comercial da marca LAO e modelo G1 conforme Figura 12. Já o sistema de ajuste de fluxo e pressão foi realizado por um regulador de gás de baixa pressão comercial e uma válvula tipo registro conforme Figura 13.



Figura 12: Medidor de volume de gás.



Figura 13: Botijão de GLP e o ajuste de fluxo de gás.

Para que se chegasse a um valor médio de temperatura durante o processo de secagem nos três métodos apresentados, foram inseridos na bandeja do secador três sensores de temperatura tipo PT 100, conectados aos dois controladores de temperatura ao qual um dos controladores possui duas saídas para medição de temperatura e dessa forma indicados na Figura 14 abaixo.

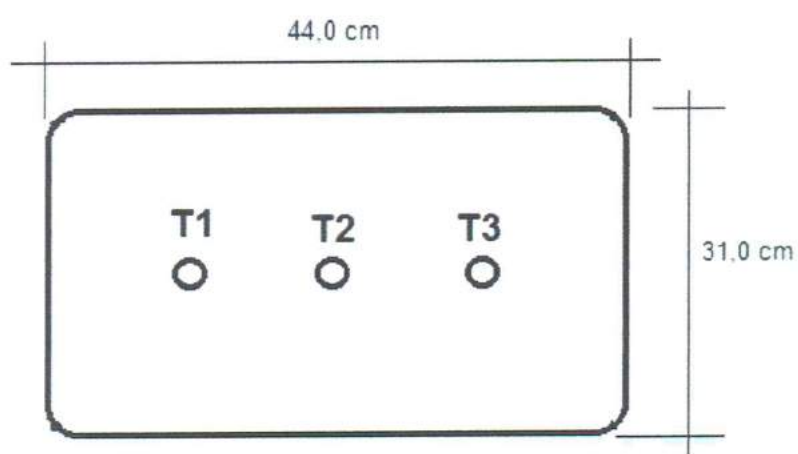


Figura 14: Posição dos sensores de temperatura na bandeja do secador.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes de secagem foram realizados com o capim limão utilizando três fontes de calor para que se pudesse comparar os resultados e chegar às conclusões necessárias à aceitação do secador a biogás. Como não houve consenso na bibliografia sobre qual seria o tempo de secagem de folhas, se adotou, para os três processos o tempo de 6 horas.

As fontes de calor testadas foram o queimador infravermelho e uma resistência elétrica de 500 W, localizada ao lado do queimador infravermelho e como combustível foi utilizado biogás e GLP (gás liquefeito de petróleo). A escolha dessas fontes de calor ocorreu pelo fato de que os fornos mais usados possuem tecnologias para utilização dessas fontes de energia.

Quando os testes foram realizados o objetivo era conseguir uma planta medicinal com um rendimento de secagem de aproximadamente 20% (massa final medida e comparada com a massa inicial do produto fresco), tendo o cuidado de sempre fazer a secagem sem que a planta perdesse suas propriedades físico-químicas. Para isso a temperatura de secagem foi controlada em torno de 50°C. Todos os testes foram realizados em triplicada para verificar a reprodutibilidade dos resultados.

Os testes iniciais foram realizados, a partir do GLP, com a secagem da planta *Cymbopogon citratus*. Conforme mostrado na Tabela 7, a temperatura foi regulada e a obtida foram $50 \pm 0,1$ e $51 \pm 0,9$ °C respectivamente.

A massa inicial da planta foi de 100,42 g e após 6 horas de secagem esta passou para 24,05 g o que equivale há uma diminuição de 76,05%.

O controle da temperatura foi realizado durante os três processos conforme indica a Tabela 7, 8 e 9.

Tabela 7: Controle da temperatura durante a secagem com GLP.

Tempo (h)	Temperatura no sensor (°C) - GLP			Média/hora
	T1	T2	T3	
0	50,5	50,0	51,2	50,6
1	51,2	50,1	52,1	51,1
2	52,5	50,2	53,1	51,9
3	50,1	48,5	51,4	50,0
4	50,5	50,5	50,9	50,6
5	51,3	50,4	51,9	51,6
6	49,8	50,3	51,3	50,5

Comparando os resultados de secagem no forno quando se utiliza biogás como combustível, a temperatura regulada em 50°C ficou entre 50,7 e 51,8°C, conforme mostrado na Tabela 8.

Tabela 8: Controle da temperatura durante a secagem com biogás.

Tempo (h)	Temperatura no sensor (°C) - Biogás			Média/hora
	T1	T2	T3	
0	51,2	50,1	52,3	51,2
1	50,7	50,2	51,4	50,7
2	50,6	50,2	51,4	50,8
3	50,9	50,3	51,4	50,8
4	51,2	50,8	52,6	51,3
5	51,3	50,1	51,7	51,0
6	51,7	50,2	53,5	51,8

A planta secada no secador com combustível biogás foi o capim limão onde a massa da amostra inicial foi 102,5 g e após 6 horas a 51,08°C, a massa caiu para 23,2 g o que equivale a uma redução de 77,36%.

Outra fonte de energia testada foi a eletricidade. Conforme descrito anteriormente, foi adaptada uma resistência elétrica de 500 W no secador e nesse teste foi seca uma amostra com 100 g de capim limão. Conforme

mostrado na Tabela 9, a temperatura oscilou entre 50,4 e 52,2°C e após 6 h de secagem, a planta perdeu massa equivalente a 77,98%.

Tabela 9: Controle da temperatura durante a secagem com eletricidade.

Tempo (h)	Temperatura no sensor (°C) – Eletricidade			Média/hora
	T1	T2	T3	
0	48,9	50,1	52,3	50,4
1	51,4	50,3	54,1	51,9
2	54,3	50,0	52,4	52,2
3	53,1	50,7	48,9	51,9
4	48,2	49,9	56,2	51,3
5	47,6	52,3	56,7	52,2
6	50,0	53,3	55,0	51,7

Se forem comparadas as variações de temperatura durante os testes realizados com diferentes fontes de energia, a com biogás foi a que apresentou menor variação de temperatura durante a secagem, o que demonstra a estabilidade desse sistema.

Outra constatação do uso do biogás foi justamente seu menor poder calorífico que proporcionou o melhor intervalo de controle da temperatura, pois no processo de secagem necessitamos de temperaturas muito baixas comparadas com as temperaturas encontradas em processos de aquecimento com a finalidade de assar.

Conforme Figura 15, o gráfico apresenta o comparativo da variação de temperatura dos três processos de secagem durante 6 horas.

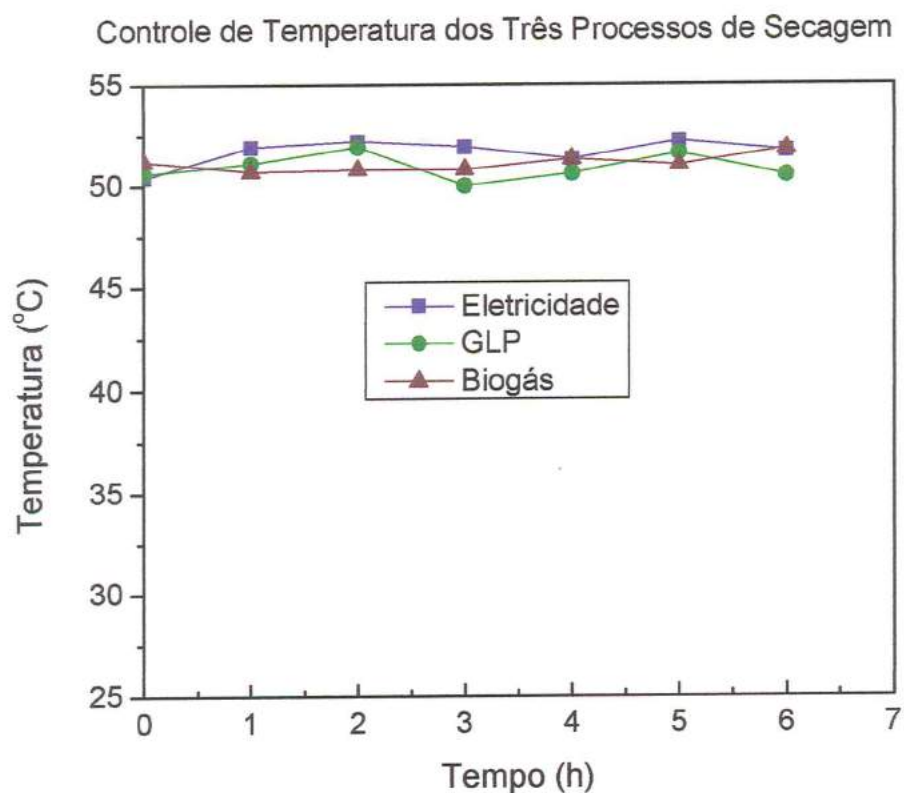


Figura 15: Gráfico comparativo dos três processos de secagem.

Após receber informações solicitadas ao projeto de plantas medicinais localizado na Itaipu Binacional, fomos informados de que o rendimento médio da secagem do capim limão em secadores elétricos a temperatura de 40°C por 36 horas ficou em média 24,17% em seis colheitas num período de 19 meses, conforme Tabela 10.

Tabela 10: Rendimento da secagem do capim limão em secador elétrico.

Data	Colheita (kg)		Rendimento (%)
	Verde	Seca	
20/10/2011	39,98	9,42	23,56
28/11/2011	59,50	14,52	24,40
28/12/2011	37,34	9,30	24,91
07/02/2012	45,10	13,14	29,14
19/03/2012	51,20	8,68	16,95
07/05/2012	26,68	6,96	26,09
Média dos rendimentos igual a 24,17%			

Fonte: Projeto de plantas medicinal da Itaipu Binacional.

Conforme citado anteriormente, foi realizada a secagem do capim limão em um forno a biogás. A Tabela 11 mostra a secagem do capim limão durante 6 horas com o biogás e temperatura controlada a $50\pm 3^{\circ}\text{C}$. Como pode ser observada, a amostra de capim limão perdeu 37,8% de sua massa na primeira hora de secagem no secador a biogás. Nas horas seguintes até a sexta hora as perdas de massa foram 19,6; 10,0; 5,0; 3,0 e 1,9%, respectivamente. Ao final do processo de secagem de 6 horas o volume aproximado gasto de biogás foi de $0,9\text{ m}^3$.

A Tabela 12 mostra a secagem do capim limão com temperatura controlada a $50\pm 3^{\circ}\text{C}$ durante as mesmas 6 horas com GLP. Fazendo a mesma análise referente à perda de massa da planta, na primeira hora de secagem houve uma perda de 27,9% de massa e comparando com o obtido com a tabela 10, este valor é menor do que os 37,9% obtido com biogás. A cada hora posterior, até o final de secagem, as perdas de massa, conforme a Tabela 12 foram 21,8; 11,0; 6,3; 3,3 e 5,7%, respectivamente. Diferente do sistema com biogás, a perda na sexta hora de secagem foi superior a 5,7%. Porém, o consumo de gás durante todo o processo foi de aproximadamente $0,17\text{ m}^3$.

Tabela 11: Secagem do capim limão no secador com biogás.

Medida do Biogás (m ³)	Hora	Massa (g)
1995,70	0	102,5
1997,32	1	63,7
1998,78	2	43,6
2000,27	3	33,4
2001,74	4	28,3
2003,10	5	25,2
2004,69	6	23,2
Consumo do processo:		0, 899 m ³

Tabela 12: Secagem do capim limão no secador com GLP.

Medida do GLP (m ³)	Hora	Massa (g)
2005,10	0	100,42
2005,35	1	72,42
2005,66	2	50,51
2005,93	3	39,46
2006,20	4	33,16
2006,47	5	29,83
2006,75	6	24,05
Consumo do processo:		0,165 m ³

Os resultados de secagem obtidos podem ser comparados também quando é utilizada eletricidade como fonte de energia no secador. A Tabela 13 mostra o mesmo processo de secagem com o uso da eletricidade.

Tabela 13: Secagem do capim limão no secador com eletricidade.

Medida em kWh	Hora	Massa (g)
0	0	100,00
0,454	1	64,02
0,426	2	49,76
0,428	3	30,83
0,469	4	25,94
0,495	5	23,25
0,473	6	22,02
Consumo do processo:		2,74 kWh

Fazendo a mesma comparação da secagem do capim limão com secador elétrico, na primeira hora de secagem ocorreu a perda de 36% da massa da amostra, valor ligeiramente inferior ao obtido com biogás. No decorrer da secagem a perda de massa a cada hora foi de 14,2; 18,9; 4,9; 2,7 e 1,2%, respectivamente.

Conforme mostrado na Tabela 13, a secagem do capim limão durante 6 horas consumiu 2,74 kWh.

As características organolépticas da cor do capim limão, após cada processo foram comparadas e são mostradas nas Figuras 16, 17 e 18. Conforme visto nessas figuras, a secagem em secador a biogás apresentou características organolépticas semelhantes aos outros dois processos de secagem já consagrados comercialmente para secagem de plantas medicinais.



Figura 16: Capim limão seco no secador com biogás.



Figura 17: Capim limão seco no secador com GLP.



Figura 18: Capim limão seco com eletricidade.

A velocidade do ar no interior do secador ficou em $1,30 \text{ m.s}^{-1}$ em todos os processos.

Para a comparação do consumo de cada processo, 2,74 kWh de eletricidade, 0,165 m³ de GLP custam R\$ 1,23 e R\$ 1,26, respectivamente. O biogás tem um custo aproximado de R\$ 2,70 por 0,9 m³, porém pode ser produzido na própria propriedade rural onde será secada a planta, no secador de pequena escala proposto nesse trabalho, a secagem acaba sendo economicamente viável.

O rendimento dos três processos foi de 22,63% no biogás, 23,95% no GLP e 22,02% na eletricidade.

Assim, mostra-se que é viável utilizar um forno com queimador IV alimentado com biogás para a secagem de plantas medicinais e até condimentares.

As informações recebidas da Itaipu Binacional, em seu projeto de plantas medicinais confirmaram uma das vantagens da secagem a 50°C no secador a biogás, pois o rendimento do processo a biogás ficou em 22,63% enquanto que o rendimento de um processo já conhecido ficou em média 24,17%, valores bem próximos considerando que o processo do biogás no secador foi de 6 horas.

5 CONCLUSÃO

Com base, na análise dos dados obtidos pelos testes no secador adaptado, confrontando-os com as informações obtidas da revisão bibliográfica e com os objetivos propostos para esta monografia, foi possível realizar algumas conclusões sobre o tema abordado as quais estão apresentadas a seguir:

A região de Marechal Candido Rondon é potencial produtora de grandes quantidades de biogás de suínos, aves e bovinos e entre seus produtores, as pequenas propriedades contribuem com essa produção. Os produtores de biogás já possuem terras para que se desenvolva um projeto de plantação, secagem e armazenamento de plantas medicinais com o uso de biogás como fonte energética.

A secagem de planta medicinal e condimentar varia de aplicação para aplicação não se chegando a um padrão de temperatura que se adequasse a cada tipo de folha e raiz.

O secador a biogás com controle de temperatura e aplicação de retirada do ar quente, mostrou-se viável para aplicação em plantas medicinais em função da não variação da temperatura escolhida pelo tempo de secagem.

O modelo do secador, encontrado no mercado, mostrou-se estável principalmente por manter os pontos de medição da temperatura com pequenas diferenças.

A secagem de planta medicinal e condimentar, com o modelo de secador estudado é uma grande oportunidade para pequenos produtores de biogás desenvolver sua própria plantação de planta medicinal e condimentar, haja vista, que no mercado de compra e venda o preço pago por planta fresca não passa de R\$ 1,00 por quilo enquanto que o preço pago no atacado por planta seca pode chegar a R\$ 12,00 por quilo e o preço pago nas gôndolas de supermercado pode chegar a R\$ 300,00 por quilo.

O custo final do secador com os acessórios que o compõem ficou em torno de R\$ 700,00. Concluindo-se que seria preciso a produção de 50 quilos

de plantas secas para se pagar o investimento e considerando que o biogás para pequenos produtores é de custo muito reduzido.

Para trabalhos futuros sugere-se que se possa aumentar o número de prateleiras a serem secadas as plantas medicinais, bem como o número de ventiladores para controle do fluxo de ar. Outra oportunidade para trabalhos futuros é a secagem direta por infravermelho por um processo de radiação.

6 BIBLIOGRAFIA

ABE, T.; AFZAL, T. M.: Thin-layer infrared radiation drying of rough rice. *J Agric Eng Res* 67, p. 289–97, 1997.

BRASIL, ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Resolução Normativa 390 de 15 de dezembro de 2009.

BRASIL, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 267, de 22 de setembro de 2005.

BRASIL, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 326, de 30 de julho de 1997.

BARITAUX, O., RICHARD, H., TOUCHE, J., DERBESY, M. Effects of drying and storage of herbs and spices on the essential oil. Part I. Basil, *Ocimum basilicum*. *Flavour and Fragrance Journal*, v.7, p.267–271, 1992.

BLEY JR. (et al.) **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais** /Maurício Galinkin. Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, 2009.

BOBBIO, P.A.; BOBBIO F.O. **Água**. In: **Química do Processamento de Alimentos**. 3.ed. São Paulo : Varela, p.1-12, 2001.

BORSATO, A.V. **Secagem da camomila sob diferentes temperaturas e vazões específicas do ar**. Curitiba: UFPR, 2003. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

CASTAÑÓN, NORMAN J.B., **Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais**. Programa Interunidades de Pós-Graduação – EPUSP – FEA – IEE – IFUSP. Universidade de São Paulo – USP, São Paulo. f 66, 2002.

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso de biogás na bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. Cascavel: UNIOESTE, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

COSTA, D.F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**, São Paulo: USP, 2006. 194 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

COULATATE.T. P. **Food Chemistry of its Components Series of the Royal Society of Chemistry Paperbacks**, 3rd edition. London, Royal Society of Chemistry, 1996. p. 321-339.

DANTAS, Marcello Araújo. **Análise do desempenho de um queimador infravermelho funcionando com gás liquefeito de petróleo e glicerina**. Natal: UFRN, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Petróleo) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

DEANS, S.G; SVOBODA, K.P. Effects of drying regime on volatile oil and microflora of aromatic plants. **Acta Horticulture**, n.306, p.450-452, 1992.

DECAGON DEVICES INC. Aqualab Model CX2. Water Activity Meter. Operator's. Manual Version 3.0. Washington, 2001. Catálogo.

DITCHFIELD, C. **Estudos dos métodos para a medida da atividade de água**. São Paulo: USP, 2000. 174 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade de São Paulo, 2000.

DOYMAZ, I: Drying kinetics of white mulberry, **Journal of Food Engeneering**, v. 74, n.3, p. 341-346, 2004.

FASINA, O. O.; TYLER, B.; PICKARD, M.; ZHENG, G.; WANG, N. Effect of Infrared Heating on the Properties of Legume Seeds, **International Journal of Food Science Technology**, 36, p. 79-90, 2001.

FURLAN, M. R. **Cultivo de Plantas Medicinais**. Coleção Agroindústria. Edição SEBRAE – Cuiabá. Mato Grosso. p.137. 1998.

GINZBURG, A. S. Application of infrared radiation in food processing. ***Chemical and process engineering series***. London: Leonard Hill, 1969.

GUIMARÃES, P.V.R. **Secagem de café: Uma revisão**. Porto Alegre: UFRS, 2010. Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos, Engenharia de Alimentos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

HORNOK, L. Primary Processing of Medicinal Plants. In: **Cultivation and processing of medicinal plants**. Chichester: John Wiley & Sons, p.86-93, 1992.

LE PERSON, S.; PUIGGALI, J. R.; BARON, M.; ROQUES, M. Near infrared drying of pharmaceutical thin films: experimental analysis of internal mass transport. ***Chemical Engineering and Processing***, 37, p. 257-263, 1998.

LIMA, F.P. **Energia no tratamento de esgoto: análise tecnológica e institucional para conservação de energia e uso do biogás**. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia – PIPGE (EP/FEA/IEE/IF). Universidade de São Paulo – USP, São Paulo. 139p. 2005.

LIMA, L.R. **Operações Unitárias. Secagem**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1971.

LIVI, C.P. **Fundamentos de Fenômenos de Transporte. Um texto para Cursos Básicos**. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

LORENZI H, MATOS F.J.A. **Plantas Medicinais no Brasil – Nativas e Exóticas**. Nova Odessa - SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, 2002.

MALICO, I; PEREIRA, J.C.F.: Numerical Prediction of porous burns with integrated heat exchanger for household applications, ***Journal of Porous Media***, Vol.2, p. 153-162, 1999

MALICO, I.; **Modelação de Queimadores Porosos para aquecimento doméstico**. Universidade de Évora, Departamento de física, 2001.

MARTINS, E.R. [et all]. **Plantas Medicinais**. Edição Impressa Universitária – UFV. Viçosa. Minas Gerais. P 220, 1995.

MARTINS, P.M. **Influência da temperatura e da velocidade do ar de secagem no teor e na composição química do óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf)**. Viçosa: UFV, 2000. 77p. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

MUJUMDAR, A; S. **Handbook of Industrial Drying**. 2ª Ed., v.1 Marcel Dekker, Inc. p.742, 1995.

MUJUMDAR, A. S. “**Innovation and globalization in drying R & D**”. In: *15th International Drying Symposium (IDS 2006)*, Budapest, Hungary. Gödöllo: Szentlsván, Vol. A, p. 3-17, 2006.

MÜLLER, J.; MÜHLBAUER, W. **Effects of drying on the essential oil of Chamomile recutita**. In: *International Joint Symposium of Biology and Chemistry of Active Natural Substances*, Bonn, 1990. **Anais**. Bonn, p. 155, 1990.

NAVARI, P.; ANDRIEU, J.; GEVAUDAN, A. **Studies on infrared and convective drying of non-hygroscopic solids**. In: *Mujumdar AS, editor. Drying 92*. Amsterdam: Elsevier Science. p. 685–94, 1992.

NEGRI, Mirian Lane Soares. **Secagem das folhas de espinheira-santa – *Maytenus illicifolia* mart. ex reiss. sob diferentes temperaturas e influência nos teores de polifenóis, na atividade antioxidante e nos aspectos microbiológicos**. Curitiba: UFPR, 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) Setor Ciência da Saúde, Departamento de Farmácia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

PRADO, M. M. **Secagem em leito fixo de sementes com mucilagem**, Tese de Doutorado, UFSCar, São Carlos-SP, 2004.

RAGHAVAN, A.; VEMURI, N. S.; SHEN, R.; GONÇALVES, M. A.; FAN, W.; AND FOX, E. A. **Incremental, Semi-automatic, Mapping-Based Integration of Heterogeneous Collections into Archaeological Digital Libraries:**

Megiddo Case Study. In ECDL '05: Proceedings of the 9th European Conference on Research and Advanced Technology for Digital Libraries. Forthcoming, 2005.

SALAGNAC, P.; GLOUANNEC, P.; LECHARPENTIER, D. Numerical modeling of heat and mass transfer in porous medium during combined hot air, infrared and microwave heating. *International Journal of heat and mass transfer*, 47, p. 4479-4489, 2004.

SANTOS, Cleiton José Rodrigues. **Secagem de sementes de girassol via radiação infravermelha e convecção forçada de ar aquecido.** Aracaju: UNIT, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos). Universidade Tiradentes, Aracaju, 2009.

SANTOS, Sivaldo Ramos. **Agricultura Familiar:** 2012. <<http://www.webartigos.com/artigos/agricultura-familiar-no-brasil/31006/>>: Acessado em 17 janeiro 2013.

SARAVACOS, G. e MAROULIS, Z. B. **Transport Properties of Foods**, 1st ed., Marcel Dekker, New York, 2001.

SARTÓRIO ML. **Cultivo orgânico de plantas medicinais.** Viçosa: Aprenda Fácil. 2000.

SILVA, F.; CASALI, V.W.D. **Plantas medicinais e aromáticas: Pós-colheita e óleos essenciais.** Viçosa: Arte e Livros, 2000. 135p.

STRINGHETA, P. C. **Desidratação de pimentas e pimentões.** Informe Agropecuário, v.10, n.113, p.79–83, 1984.

TRIMIS, D., TURST, F., **Combustion in porous medium – advances and applications.** Combustion, Science and Technology. Vol. 121, p 153-168, 1996.

VLASSOV, D.; **Combustíveis, combustão e câmara de combustão.** Ed. UFPR, Curitiba, 2001.