

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

MARKUS WILD

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA AQUISIÇÃO DE UM
SECADOR DE GRÃOS EM UMA MÉDIA PROPRIEDADE RURAL EM
GUARAPUAVA - PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUARAPUAVA

2017

MARKUS WILD

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA AQUISIÇÃO DE UM
SECADOR DE GRÃOS EM UMA MÉDIA PROPRIEDADE RURAL EM
GUARAPUAVA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica do Câmpus de Guarapuava da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Dalmás

GUARAPUAVA

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Guarapuava
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação de Curso de Engenharia Mecânica

TERMO DE APROVAÇÃO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA AQUISIÇÃO DE UM SECADOR DE
GRÃOS EM UMA MÉDIA PROPRIEDADE RURAL EM GUARAPUAVA - PR**

por

MARKUS WILD

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 06 de dezembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Dr. Sergio Dalmas
Prof. Orientador

Dr. Denise Alves Ramalho
Membro titular

Dr. Carla Dantas da Silva
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Nada é suficientemente bom. Então vamos fazer o que é certo, dedicar o melhor de nossos esforços para atingir o inatingível, desenvolver ao máximo os dons que Deus nos concedeu, e nunca parar de aprender.
(Ludwig van Beethoven)

RESUMO

WILD, Markus. **Análise da viabilidade econômica da aquisição de um secador de grãos em uma média propriedade rural em Guarapuava – PR.** 2017. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Bacharelado em Engenharia Mecânica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2017.

A utilização da secagem artificial de grãos no processo pós-colheita é uma etapa de fundamental importância para minimizar a deterioração dos grãos pela umidade durante o armazenamento do produto. Para realizar tal processo, existem secadores de grãos no mercado diferentes quanto aos seus funcionamentos, variando também suas capacidades de secagem, eficiências, fluxos de ar de secagem, entre outros, podendo operar com diversos tipos de combustíveis diferentes para queima. Este trabalho analisa a viabilidade econômica e financeira da aquisição de um secador de grãos, comparando os custos de um secador na fazenda versus os custos que um agricultor sem este equipamento possui ao entregar sua produção numa unidade armazenadora que oferece este serviço. Neste processo serão avaliados o combustível com melhor custo benefício. A comparação será realizada com os custos de frete dos grãos úmidos até a unidade de recebimento de grãos mais próxima (ou desejada) e o desconto de recepção dos grãos na unidade.

Palavras-chave: Secador de grãos. Grãos. Combustível. Eficiência. Custos.

ABSTRACT

WILD, Markus. **Analysis of the economic viability of the acquisition of a grain dryer in an average rural property in Guarapuava - PR.** 2017. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Bacharelado em Engenharia Mecânica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2017.

The use of the artificial drying of grains in the post-harvest process is a fundamental step to guarantee the minimum deterioration of the grains by the humidity during the storage of the product. To carry out this process, there are types of grain dryers on the market different as to their operation, also varying their drying capacity, efficiency, drying air flow, among others, being able to operate with different fuels for burning. This work has the objective of analyzing the financial economic viability of the acquisition of a grain dryer, comparing the costs of a dryer in the farm versus the costs that a farmer without this equipment has when delivering his production in a storage unit that offers this service. In this process the fuel with the best cost benefit will be evaluated. The comparison will be made with freight costs of the humid grains to the nearest (or desired) grain receiving unit and the discount of grain reception in the unit.

Keywords: Grain dryer. Grains. Fuel. Efficiency. Costs.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Secagem do grão.....	4
Figura 2 - Secagem Estacionária	6
Figura 3 - Secagem Contínua	6
Figura 4 - Secagem Intermitente	7
Figura 5 - Secagem de fluxo: a) cruzado; b) concorrente; c) contracorrente; d) misto	9
Figura 6 - Exemplo de Seca-Aeração	10
Figura 7 - Fornalha com aquecimento direto.....	12
Figura 8 - Vista frontal de uma fornalha a fogo indireto - ar/ar	13
Figura 9 - Estoque de lenha a céu aberto	15
Figura 10 - Péletes e briquetes	17
Figura 11 - Etapas do processo de peletização e briquetagem	18
Figura 12 - Curva de secagem em camada espessa	22

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Custos de recepção e secagem da Cooperativa Agrária	29
Quadro 2 - Coeficientes para <i>fu</i>	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Poder Calorífico de alguns combustíveis	14
Tabela 2 - Distribuição do consumo de energia em um secador de fluxo cruzado ...	24
Tabela 3 - Cotações médias de eucalipto dos anos 2011 - 2017.....	25
Tabela 4 - Preços médios de GLP dos anos 2013 - 2017 (R\$/13kg)	26
Tabela 5 - Preço médio nacional de Gás Natural dos anos 2012 – 2017 (R\$/m ³)	27
Tabela 6 - Preços médios de óleo diesel dos anos 2013 - 2017 (R\$/L)	27
Tabela 7 - Preço de cada combustível em R\$/kJ	28
Tabela 8 - Produção total da fazenda	29
Tabela 9 - Economia de custos relacionados a umidade e impurezas.....	30
Tabela 10 - Economia de custos de frete	31
Tabela 11 - Custos da construção do sistema de secagem.....	31
Tabela 12 - Custos fixos relacionados a aquisição do secador.....	32
Tabela 13 - Horas de funcionamento do sistema de secagem	33
Tabela 14 - Consumo de lenha	34
Tabela 15 - Custos operacionais de utilização por ano.....	35

LISTA DE ACRÔNIMOS E SIGLAS

ABEGÁS – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

PIB – Produto Interno Bruto

LISTA DE SÍMBOLOS

A – área da seção transversal

A – parâmetro dependente da temperatura do ar de secagem

A_0 – coeficiente para f_u

A_1 – coeficiente para f_u

A_2 – coeficiente para f_u

A_3 – coeficiente para f_u

aa – ao ano

b – constante

B – parâmetro em função da temperatura do ar de secagem

b.s. – base seca

b.u. – base úmida

c – teor de carbono presente no combustível

C – Carbono

$^{\circ}C$ – graus Celsius

C_2H_6 – Etano

c_{cb} – custo de combustível

c_e – consumo de energia

CEE – consumo específico de energia

c_{el} – custo de energia elétrica

c_{es} – capacidade efetiva de secagem

CH_4 – Metano

c_{ns} – capacidade nominal de secagem

CO – Monóxido de Carbono

CO_2 – Dióxido de Carbono

c_p – entalpia específica do grão

cv – cavalo vapor

d – constante

E_e – consumo de energia elétrica

f_p – fator de correção quanto ao produto

f_u – fator de correção quanto à umidade
 h – teor de hidrogênio presente no combustível
 h – hora
 H_2 – Hidrogênio
 H_2O – água
 ha – hectare
 kJ – quilo Joule
 kg – quilograma
 L – litro
 L_a – calor latente de vaporização
 m^2 – metro quadrado
 m^3 – metro cúbico
 m_a – massa de água evaporada
 \dot{m}_{cb} – consumo de combustível
 m_{cb} – massa de combustível
 m_s – massa do grão seco
 m_u – massa do grão úmido
 m_w – massa de água presente no grão
 o – teor de oxigênio presente no combustível
 O_2 – Oxigênio
 P_{cb} – preço do combustível
PCI – Poder Calorífico Inferior
PCS – Poder Calorífico Superior
 P_{el} – preço da energia elétrica
 P_i – peso inicial do produto
PIB – Produto Interno Bruto
 P_f – peso final do produto
 Pot – potência requerida
 p_v – pressão de vapor
 p_{vs} – pressão de vapor saturado
 Q – vazão de ar

R – razão entre massa de matéria seca e massa de ar seco

R\$ – reais

RU – razão de umidade

RU_0 – razão de umidade para o tempo t

RU_f – razão de umidade final

s – teor de enxofre presente no combustível

S – Enxofre

SO₂ – Dióxido de Enxofre

t – tonelada

T_0 – temperatura do ar de secagem inicial

τ – energia total

T_{amb} – temperatura ambiente

t_e – tempo equivalente para secagem

T_e – temperatura de equilíbrio

T_f – temperatura do ar final

T_{g0} – temperatura do grão inicial

T_{ge} – temperatura do grão em equilíbrio com o ar

T_{gf} – temperatura do grão na camada

U – teor de umidade no tempo t

U_0 – teor de umidade inicial

U_{bu} – teor de umidade em base úmida

U_{bs} – teor de umidade em base seca

U_e – teor de umidade de equilíbrio

U_f – teor de umidade final

UR – umidade relativa do ar

v_e – volume específico

w – teor de umidade presente no combustível

W_0 – razão de mistura do ar inicial

W_f – razão de mistura do ar final

ΔL_v – entalpia latente de vaporização superior ao valor de evaporação de água livre

Δx – espessura da camada de grãos

Δt – incremento de tempo

η – eficiência do secador

ρ – massa específica do produto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO GERAL	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 JUSTIFICATIVA	3
2 REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1 SECADORES.....	4
2.1.1 Secagem Estacionária ou de Leito Fixo, Contínua e Intermitente	5
2.1.2 Secador de Fluxo Cruzado.....	7
2.1.3 Secador de Fluxo Contracorrente	8
2.1.4 Secador de Fluxo Concorrente.....	8
2.1.5 Secador de Fluxo Misto ou Secador tipo Cascata.....	8
2.1.6 Silo Secador	9
2.1.7 Seca-Aeração.....	9
2.2 GRÃOS	10
2.2.1 Qualidade do grão pós-secagem	11
2.3 FORNALHAS E QUEIMADORES	11
2.3.1 Fornalhas com Aquecimento Direto e Indireto	12
2.3.1 Combustão	13
2.3.1 Lenha	14
2.3.2 Gás Natural e GLP	16
2.3.3 Óleo Diesel.....	17
2.3.4 Péletes e Briquetes	17
2.4 FLUXO DO AR DE SECAGEM	18
3 METODOLOGIA	20
3.1 TEMPERATURA DO FLUXO DE AR DE SECAGEM	20
3.1.1 Temperatura de equilíbrio	20
3.1.2 Teor de umidade de equilíbrio.....	21
3.1.3 Tempo Equivalente	22
3.1.4 Razão de mistura do ar de secagem na saída da camada de sementes	23
3.1.5 Temperaturas finais do produto e do ar.....	23
3.2 ENERGIA NECESSÁRIA PARA O SECADOR	23
3.2.1 Eficiência do secador	25
3.3 AVALIAÇÃO DO CUSTO BENEFÍCIO DOS COMBUSTÍVEIS	25
3.3.1 Lenha de Eucalipto.....	25
3.3.2 GLP	26
3.3.3 Gás Natural	27
3.3.4 Óleo Diesel.....	27
3.3.5 Péletes e Briquetes	28
3.5 CÁLCULOS DE CUSTOS TOTAIS – RECEPÇÃO AGRARIA	28
3.5.1 Custos de recepção e secagem	30
3.5.2 Economia de transporte	30
3.6 CÁLCULOS DE CUSTOS TOTAIS – SECADOR.....	31
3.6.1 Investimento	31
3.6.2 Custos fixos.....	32
3.6.3 Custos variáveis	32
3.6.3.1 Combustível	32
3.6.3.2 Energia elétrica	34

4 CONCLUSÃO	35
5 REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

Quando se fala em agricultura no Brasil não restam dúvidas de que é um dos setores mais poderosos e influentes da economia brasileira. Em 2015 o PIB do agronegócio participou com 21,46% do total do PIB do Brasil, mais especificamente, o PIB da agricultura participou com 14,68% do total do PIB brasileiro (CEPEA, 2016).

Os produtos finais gerados pelos grãos, sementes e frutos produzidos na agricultura no Brasil são inúmeros, desde farinha, fubá, azeite e cerveja, até lixas, resinas, adesivos, produtos farmacêuticos e etanol (CONAB; ESALQ, 2016). Esses grãos podem ser processados imediatamente após a colheita, ou mais tarde, sendo necessária a armazenagem. Mas para estes produtos finais chegarem ao consumidor final com qualidade, a matéria-prima desses produtos deve ser estocada corretamente.

Durante a armazenagem, os grãos precisam estar com teor de água e temperatura adequadas (depende da espécie de grão e período de armazenagem) para não ocorrer a fermentação, proliferação de fungos e bactérias e deterioração dos grãos. Segundo Luís César da Silva, Professor Dr. da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), o teor de umidade corresponde à relação percentual entre a massa de água presente e a massa total do produto. Muitas vezes, os grãos colhidos apresentam alto grau de umidade ao chegarem na unidade de armazenamento. Com o alto grau de umidade, a atividade metabólica de respiração dos grãos e microrganismos também é alta, o que leva ao aquecimento da massa devido a liberação de energia calórica. Essa situação facilita a proliferação dos fungos e de alguns insetos (OLESEN, 1987).

O controle do grau de umidade dos grãos pode ser realizado através da secagem. Por secagem, define-se o processo de retirada de água dos grãos até que seja adequado e seguro armazená-los por longos períodos (SILVA, 2005).

A secagem pode ocorrer de forma natural ou artificial. A secagem natural utiliza condições como o sol, para aquecer o ar, e o vento, para movimentar o ar. Este tipo de secagem ocorre naturalmente na planta (uma vez que o ponto de maturação fisiológica do grão, onde apresentam seu máximo peso de matéria seca e qualidade, já passou) antes da colheita ou em terreiros, pisos e lonas após a colheita. A secagem

natural apresenta menor custo, não expõe os grãos a danos mecânicos, porém, em regiões ou épocas em que a temperatura é baixa, e a umidade relativa do ar é elevada, este processo não é eficiente e demanda muito tempo (até semanas) para se realizar, comprometendo a qualidade do grão. A secagem artificial utiliza estruturas como secadores para controlar as características do ar de secagem, temperatura e movimentação do ar, e consegue processar volumes de grãos elevados, sendo praticamente independente de condições climáticas (OLESEN, 1987).

Uma das grandes vantagens de se utilizar a secagem mecânica artificial é de que é possível antecipar a colheita, evitando perda de produto devido a insetos, pássaros, queda dos grãos na passagem da máquina colheitadeira e perdas decorrentes de fenômenos climáticos como vendavais e chuva de granizo. Outro ponto de destaque para este processo é que, quando possível armazenar o produto por um longo período, o produtor consegue escolher o momento certo para a comercialização, fora do período de pico de safra em que a oferta diminui (RIBEIRO, VICARI, 2005).

Dados da Cooperativa Agrária Agroindustrial Unidade Entre Rios, mostram que em 2015, dos principais produtos recebidos, como milho, soja, cevada e trigo, a quantidade desses produtos que passou pelo processo de secagem foi de aproximadamente 70%, 5%, 98% e 80% respectivamente.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade da construção de um secador para uma determinada área de plantio no município de Guarapuava – PR.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os custos de recepção de safra da Cooperativa Agrária Agroindustrial e custos de transporte dos grãos da área de plantio até a unidade mais próxima da Agrária.
- Avaliar os custos de um secador, incluindo gastos com manutenção, mão-de-obra, combustível e a própria construção da estrutura.

- Comparar os custos de cooperativa e transporte com os custos do secador e avaliar a viabilidade da construção secador.

1.3 JUSTIFICATIVA

Num país em que a agricultura é um forte setor, o transporte de grãos úmidos para então serem secados somente na indústria (transportar “água”) pode ser evitado com a construção de um secador e, assim, possivelmente reduzir custos para os profissionais desse setor. Mostrar a possível viabilidade da construção de um secador para agricultores da região pode ser um incentivo para iniciarem ou intensificarem estudos e aprendizagem sobre as diferentes culturas que são plantadas em suas áreas, melhorando assim, a qualidade do grão colhido e, conseqüentemente, a qualidade do produto final que chega aos consumidores. Além da possibilidade de que, se armazenado, o produto pode ser comercializado nos períodos entre safra em que a demanda é maior.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SECADORES

A secagem é uma operação fundamental no processo pós-colheita para então se realizar a armazenagem do produto. A secagem realizada de forma inadequada é a principal causa da deterioração dos grãos no processo pós-colheita (SYPERRECK, 2005).

O princípio de secagem que acontece em um secador ocorre basicamente com transferências de calor e massa de vapor. O ar que entra em contato com os grãos, denominado ar de secagem, é primeiramente aquecido. Esse aquecimento é proveniente da combustão de algum combustível que libere energia na forma de calor. Depois o fluxo de ar de secagem é impulsionado por ventiladores e conduzido por tubos até chegar aos grãos.

O ar de secagem aquecido cede calor para o grão forçando a umidade presente a migrar para a camada de ar que circunvizinha a superfície do grão, o micro-clima, como pode ser observado na Figura 1. Como o ar de secagem é o mais seco possível, ocorre a transferência de massa de vapor dessa camada de ar para o ar de secagem. Como o ar de secagem cede calor e recebe umidade do grão, sua temperatura cai e a umidade relativa aumenta, esse ar de secagem passa a ser denominado de ar de exaustão (SILVA, 2005).

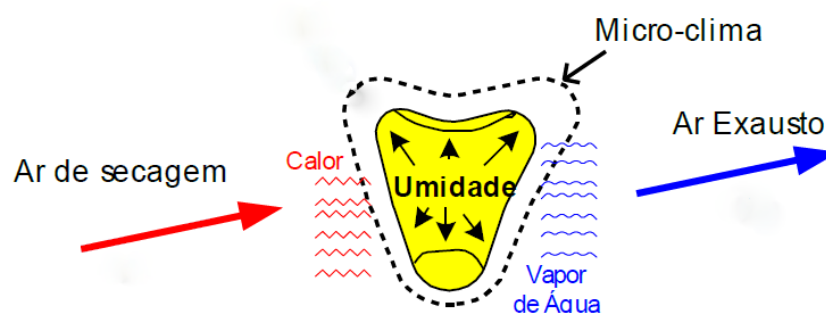


Figura 1 - Secagem do grão
Fonte: SILVA, 2005

Existem diversos modelos de secadores que possuem diferentes capacidades de secagem, funcionamento, entre outros parâmetros, dependendo da empresa que os fabrica, mas em geral os principais componentes são:

- Caixa silo: componente localizado na parte superior do secador, onde os grãos são depositados; e tem a função de distribuir o produto de forma uniforme evitando que o ar de secagem passe diretamente pelos dutos, tornando a operação ineficiente e causando risco de incêndio;

- Torre de secagem: série de calhas em formato de “V” invertido constituem a torre (câmara) de secagem, dispostas em linhas alternadas ou cruzadas dentro da estrutura do secador. Os grãos se movem para baixo (devido à gravidade) sobre as calhas enquanto o ar de secagem entra numa linha de calha e sai na outra imediatamente adjacente;

- Descarga: eixos rotativos com aletas acionados por motor, que possibilita a variação da velocidade, e assim, do fluxo de saída de grãos durante a descarga;

- Camisamento: componente onde o ar de secagem circula e que possibilita o máximo aproveitamento do ar de secagem;

- Ventilador: equipamentos que fazem com que o fluxo de ar de secagem tenha vazão e pressão adequadas para a secagem do produto;

- Fornalha: componente onde ocorre a conversão de energia química dos combustíveis para energia térmica para aquecer o ar de secagem, (SEEDNEWS, 2010).

Os principais secadores comercializados podem ser classificados quanto à operação em: estacionário, contínuo e intermitente; e quanto aos fluxos de ar e do grão em: fluxo cruzado, concorrente, contracorrente e misto ou secador do tipo cascata (PORTELLA; EICHELBERGER, 2001).

2.1.1 Secagem Estacionária ou de Leito Fixo, Contínua e Intermitente

Segundo MARTINS *et al.* (1999), na secagem estacionária (Figura 2), os grãos permanecem em repouso enquanto o fluxo de ar de secagem é forçado a passar pela massa de grãos, que fica na câmara de secagem, por meio de duto central perfurado, fazendo a secagem ocorrer do centro para a periferia, ou por um fundo perfurado, onde a secagem ocorre da base para o topo, até que a umidade seja adequada para se estocar o produto.

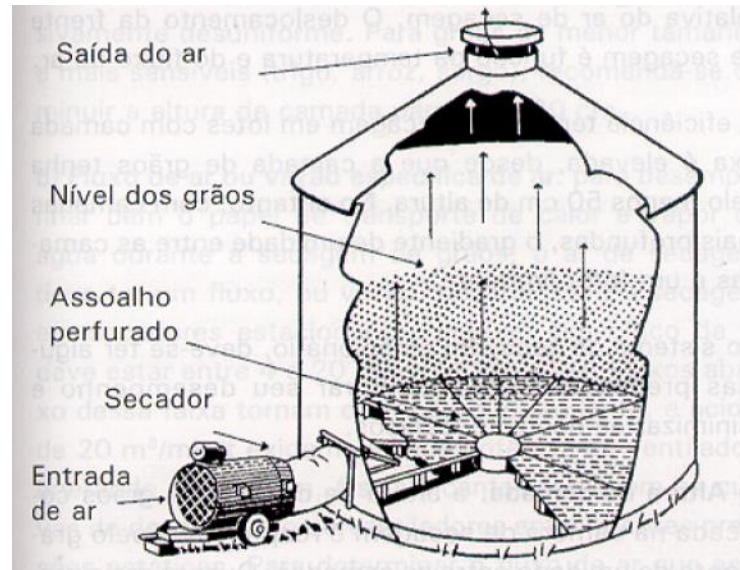


Figura 2 - Secagem Estacionária
Fonte: PORTELLA; EICHELBERGER, 2001.

Na secagem contínua (Figura 3) a massa de grãos e o ar de secagem sempre estão em movimento, sempre há um fluxo contínuo de grãos entrando e saindo do secador, e o produto necessita passar apenas uma vez pelo processo para estar com o grau de umidade desejado (SILVA, 2005). Este processo tem um fluxo de ar de secagem proporcional ao fluxo dos grãos.

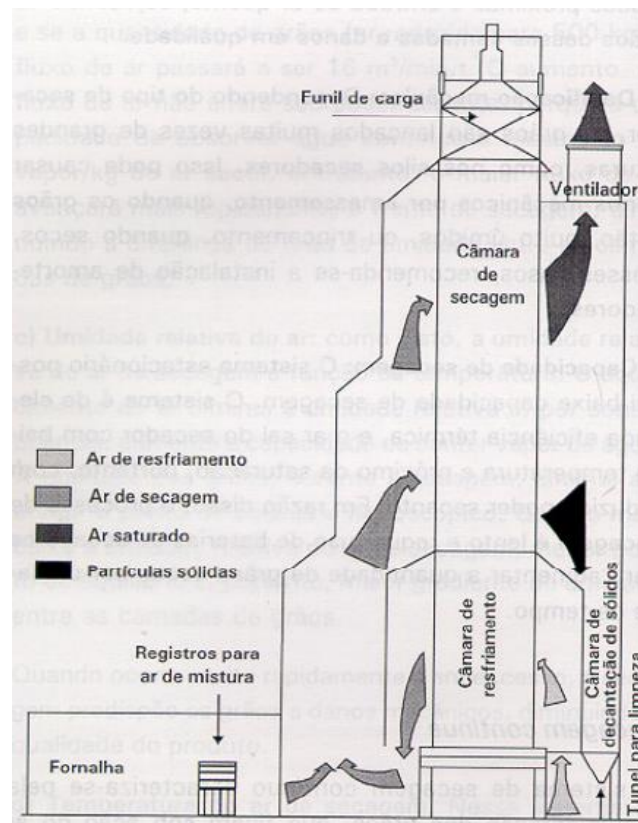


Figura 3 - Secagem Contínua
Fonte: PORTELLA; EICHELBERGER, 2001.

A secagem intermitente (Figura 4) ocorre de forma que o grão seja submetido ao fluxo de ar de secagem a intervalos regulares de tempo. Quando a massa de grãos não está sujeita ao fluxo de ar, ocorre a homogeneização da umidade, onde a água migra do interior para a superfície do grão. Assim, a água ainda presente no grão é evaporada mais facilmente e transferida para o ar de secagem na próxima passagem pela massa de grãos.

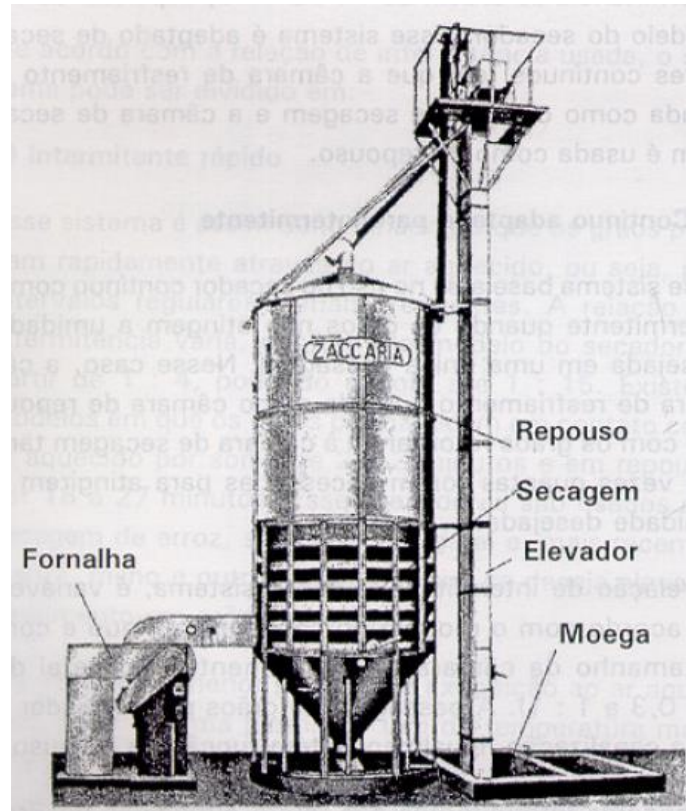


Figura 4 - Secagem Intermitente
Fonte: PORTELLA; EICHELBERGER, 2001.

2.1.2 Secador de Fluxo Cruzado

Neste tipo de secador os fluxos de grãos e do ar de secagem são perpendiculares. O grão é colocado em uma moega superior e vai descendo por ação da gravidade enquanto é atingido pelo fluxo de ar de secagem de forma perpendicular. As vantagens deste secador são a alta capacidade de secagem, a facilidade de manuseio e operação, o baixo custo inicial; as desvantagens são o maior risco de superaquecimento do produto, o alto consumo de energia, a desuniformidade de secagem quando operado na forma contínua e estacionária e a baixa eficiência de secagem (SILVA *et al*, 2005).

2.1.3 Secador de Fluxo Contracorrente

Nos secadores de fluxos contracorrentes, o fluxo de ar de secagem é forçado a passar pelos grãos em sentido contrário ao fluxo do produto. Este tipo de secador possui elevada eficiência energética, os grãos ficam expostos a altas temperaturas por menos tempo e admite menos danos mecânicos, porém, o custo de manutenção é maior quando utilizado num sistema silo-secador (PORTELLA; EICHELBERGER, 2001).

2.1.4 Secador de Fluxo Concorrente

Ao contrário do secador de fluxos contracorrente, no secador de fluxos concorrentes os fluxos da massa de grão e do ar de secagem fluem na mesma direção. As vantagens desse sistema é que os grãos que saem do secador têm uma melhor uniformidade quanto à temperatura e umidade e menos danos físicos (o que resulta num produto de alta qualidade), e eficiência energética e capacidade de secagem elevadas, mas o custo inicial para a construção é mais elevado e mais suscetível a incêndios devido às altas temperatura empregadas no sistema (PORTELLA; EICHELBERGER, 2001).

2.1.5 Secador de Fluxo Misto ou Secador tipo Cascata

Este tipo de secador é o mais utilizado pelas unidades de armazenagem brasileiras devido à alta capacidade de secagem – 15 a 250 toneladas/hora para redução de 18% para 13% do teor de umidade. Este secador utiliza os três tipos de fluxos de ar de secagem anteriores (cruzado, contracorrente e concorrente) ao mesmo tempo (SILVA, 2005). A Figura 5 mostra o princípio básico de cada um dos tipos de fluxo.

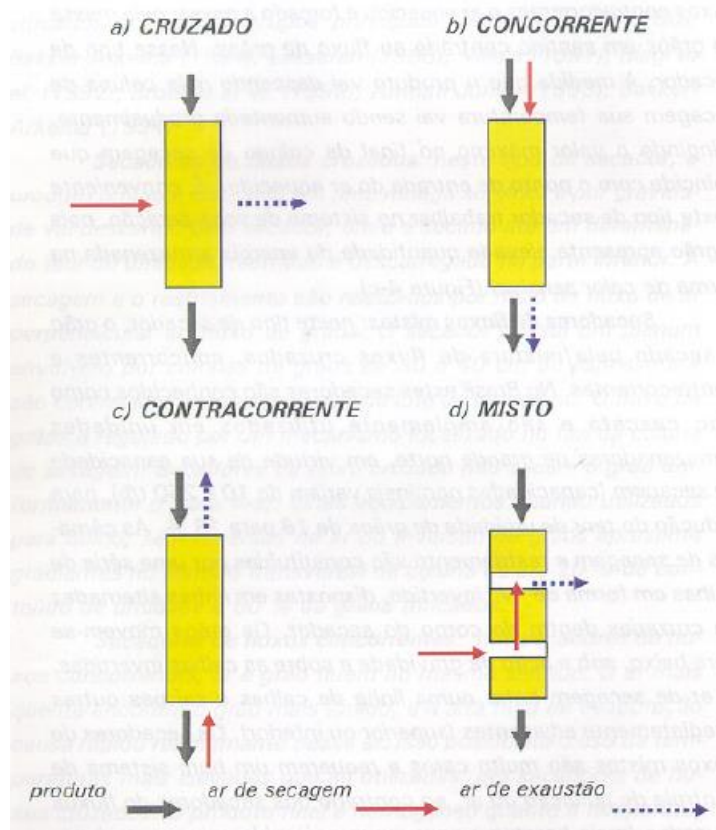


Figura 5 - Secagem de fluxo: a) cruzado; b) concorrente; c) contracorrente; d) misto
Fonte: MARTINS et al., 1999.

2.1.6 Silo Secador

É um sistema com baixa capacidade de secagem, onde os grãos localizados na entrada de ar chegam praticamente à temperatura do ar de secagem enquanto que os grãos na saída permanecem mais frios e úmidos, formando um gradiente de temperatura e umidade entre a entrada e saída do ar. Para que ocorra a homogeneização das parcelas desiguais dos grãos quanto a umidade, é necessária a mistura dos produtos após o processo (SYPERRECK, 2005).

2.1.7 Seca-Aeração

Este sistema utiliza altas temperaturas, o produto é retirado quente do secador com umidade de aproximadamente dois pontos percentuais acima da desejada para o armazenamento, e depositado num silo equalizador sem fluxo de ar para a

homogeneização da umidade. Após um certo tempo (horas), os grãos são resfriados e, então, é perdido dois pontos percentuais de umidade. Esta operação, exemplificada na Figura 6, resulta no aumento da capacidade de secagem, economia de energia e redução na perda de qualidade do produto (SILVA *et al.*).

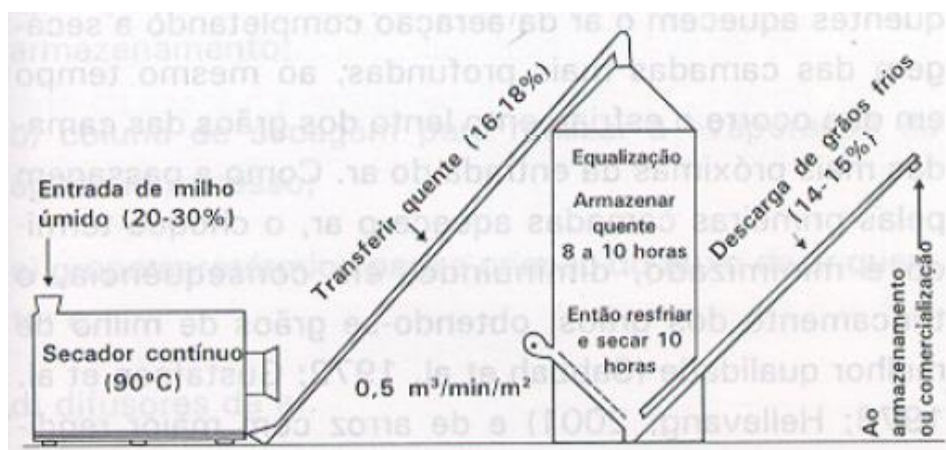


Figura 6 - Exemplo de Seca-Aeração
Fonte: PORTELLA; EICHELBERGER, 2001.

2.2 GRÃOS

Os grãos são organismos vivos, mesmo depois da colheita, por isso quanto mais água eles reterem, maior será sua taxa metabólica. Sendo assim, a eliminação do excesso de água nos grãos é muito importante para reduzir a atividade biológica e minimizar a deterioração enquanto são armazenados. Produtos higroscópios, como os grãos e sementes, tem a capacidade de repassar ou receber vapor de água do meio em que estão presentes, e essa capacidade é resultante de um balanço de pressões (SILVA, 2005).

O ar é dividido basicamente em duas frações: vapor de água e ar seco. O vapor de água pode aumentar, quando, por exemplo, na secagem de grãos, o ar absorve a umidade dos produtos, ou diminuir, quando ocorre o umedecimento dos produtos ou a condensação de vapor de água sobre superfícies (SILVA, 2005).

Para definir as características do ar presente, são analisadas algumas propriedades psicrométricas como: temperatura de bulbo seco e úmido, umidade relativa, volume específico, razão de mistura e entalpia (OLESEN, 1987).

No processo de troca de calor, o ar de secagem com a temperatura já elevada, reduz sua umidade relativa, pois quanto mais calor o ar tiver, maior é a capacidade de conter água na forma de vapor (SILVA, 2015).

2.2.1 Qualidade do grão pós-secagem

O método usado para a secagem dos grãos é muito influente na qualidade destes, pois podem ocorrer danos mecânicos, ou superaquecimento dos grãos devido a altas temperaturas utilizadas no secador, entre outros, danificando ou quebrando a estrutura biológica dos grãos.

É preciso chegar a um equilíbrio entre economia de tempo, temperatura e fluxo de ar aos quais o grão é exposto e qualidade do grão. Alta qualidade de grão é exigida para sementes, maltes cervejeiros, moinhos ou para alimentação. Os danos causados por temperaturas altas diminuem o poder de germinação do grão, condenando sua função como semente e malte (OLESEN, 1987).

2.3 FORNALHAS E QUEIMADORES

Para se realizar a secagem artificial dos grãos, o que é obtido através do aquecimento dos grãos, sabe-se que o potencial de secagem do ar deve ser elevado. É na fornalha ou no queimador que acontece a conversão da energia química do combustível para energia térmica que será transferida para o ar. O tipo de fornalha usado dependerá das características e da qualidade do combustível.

Os queimadores, ou misturadores, são equipamentos instalados nas fornalhas para realizar a combustão de óleo, gás, carvão e outros combustíveis convencionais (BAZZO, 1995).

Na câmara de combustão ocorre a combustão propriamente dita, com os compostos dos combustíveis reagindo com o oxigênio e liberando energia na forma de calor. O dimensionamento da fornalha é muito importante para se garantir a entrada suficiente de ar primário para a quantidade suficiente de oxigênio e fazer com que a mistura comburente-combustível seja a mais eficiente possível, evitando o desperdício de combustível ao máximo.

2.3.1 Fornalhas com Aquecimento Direto e Indireto

Fornalhas com aquecimento direto são aquelas em que os gases de combustão são misturados com o ar ambiente, ainda na fornalha (Figura 7), formando o ar de secagem que passará pela massa de grãos, ou seja, a fumaça e outros resíduos, e até contaminantes, ocasionando impregnação destes aos grãos.

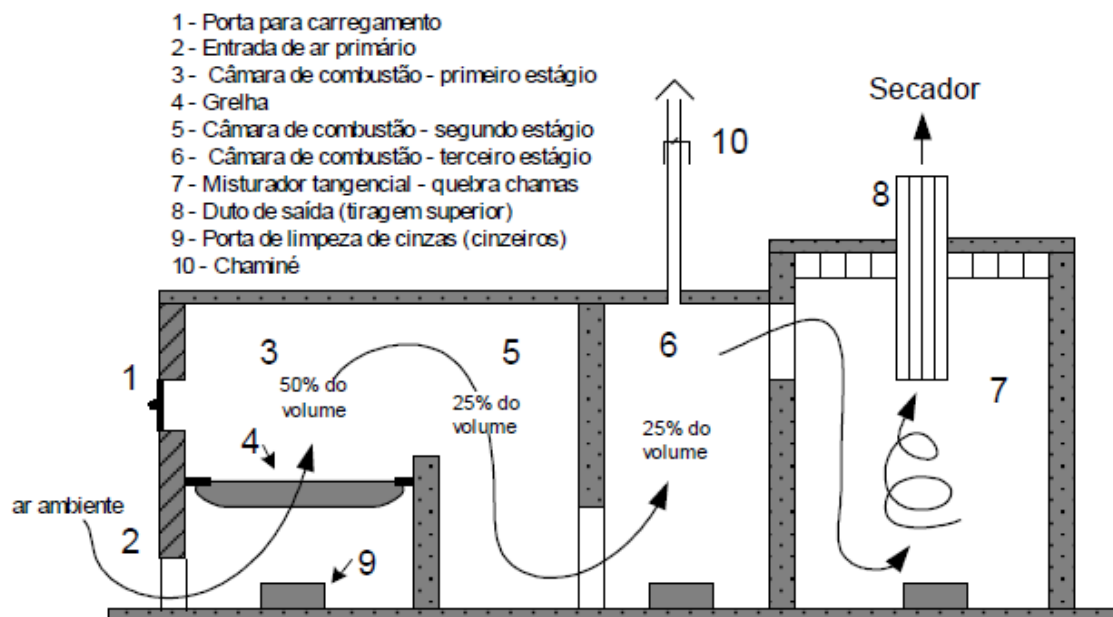


Figura 7 - Fornalha com aquecimento direto
 Fonte: SILVA, 2015.

Já na fornalha com aquecimento indireto (Figura 8), os gases de combustão passam por um trocador de calor onde a sua energia na forma de calor é transferida para o ar de secagem, que será “limpo”, sem fumaça e outros resíduos. Mesmo a eficiência de secagem sendo maior para o aquecimento direto, alguns produtos não podem ser secados diretamente (CAMPOS *et al.*, 2004).

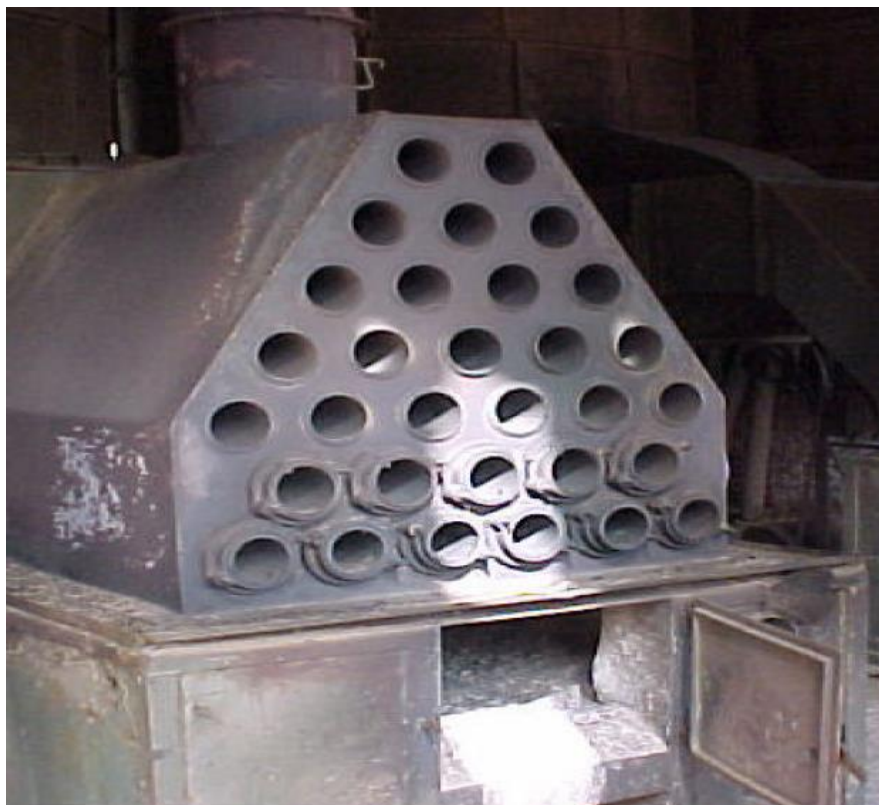
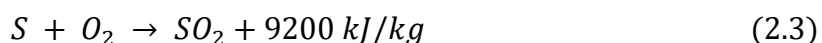
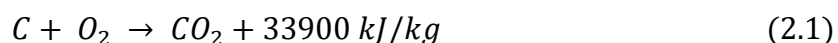


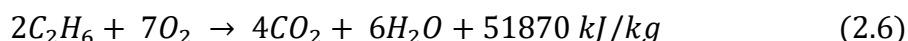
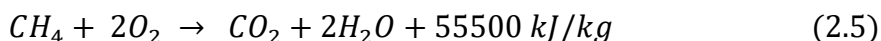
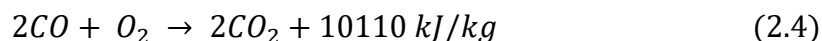
Figura 8 - Vista frontal de uma fornalha a fogo indireto - ar/ar
Fonte: PRECCI et al.

2.3.1 Combustão

Combustível é uma substância que reage com o oxigênio liberando energia térmica. O potencial para liberar essa energia depende das reações que o combustível tem quando o processo de combustão está completo. Os combustíveis podem ser encontrados na forma natural, como carvão fóssil e petróleo, ou artificial, como derivados da forma natural, carvão vegetal e óleo diesel. Cada um dos combustíveis é caracterizado por suas propriedades físico-químicas. Para combustíveis sólidos e líquidos, as reações químicas com o carbono, hidrogênio e enxofre causam a liberação de energia (GALANTE, 2015):



Já para os combustíveis gasosos, os responsáveis por essa energia liberada são as reações entre hidrogênio, monóxido de carbono, metano, etano e outros carbonetos (GALANTE, 2015):



Segundo BAZZO (1995), dependendo da composição de cada combustível, a energia liberada por unidade de massa ou de volume é definida pelo poder calorífico superior (PCS) ou inferior (PCI), que podem ser obtidos com as equações:

$$PCS = 33900c + 141800 \left(h - \frac{o}{8} \right) + 9200s \quad (2.7)$$

$$PCI = PCS - 2440(9h + w) \quad (2.8)$$

onde c , h , o e s são os teores de carbono, hidrogênio, oxigênio e enxofre, respectivamente, em quilograma por quilograma de combustível, e w é o teor de umidade em quilograma por quilograma de combustível. Onde o PCI é o valor do PCS descontada a energia necessária para se aquecer e evaporar a água presente no combustível. Alguns valores de Poder Calorífico Superior podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 - Poder Calorífico de alguns combustíveis

Combustível	Poder Calorífico Superior (kJ/kg)
Lenha	12600
GLP	49800
Gás Natural	51800
Óleo Diesel	45600
Péletes e Briquetes	17000 - 18000

Fonte: Adaptado de BAZZO, 1995.

2.3.1 Lenha

A lenha é considerada a fonte de energia térmica mais antiga da qual o homem tem conhecimento. A mata nativa sempre parecia uma fonte de lenha inesgotável, porém, da forma que a devastação ocorreu no Brasil, resultando em

degradação do solo, alteração do regime de chuvas e desertificação, o homem se conscientizou e começou a usar lenha de reflorestamento.

O combustível mais comum para fornalhas de secadores é a lenha, principalmente eucalipto, apesar de também se utilizarem comumente cavaco e casca de arroz, mas estes não têm um potencial de energia térmica tão elevado. Como a alimentação de lenha da fornalha é constante, e é necessário fazer o monitoramento de entradas de ar, a operação de fornalhas a lenha é feita manualmente, o que eleva o custo de mão-de-obra.

As principais vantagens da lenha são: baixo custo na produção de energia (no Brasil), fácil armazenagem – céu aberto, como mostrado na Figura 9 (embora com as chuvas isso seja prejudicial, levando a um aumento da umidade do combustível), baixos teores de enxofre e geração de cinzas, e é um combustível renovável. Mas também existem desvantagens: uso racional por conta de exigências ambientais, fornecimento irregular, baixo poder calorífico e difícil automação no abastecimento de fornalhas (SILVA, 2015).



Figura 9 - Estoque de lenha a céu aberto
Fonte: <http://reflorestms.com.br/lenha-e-cavaco/>, nov. 2016.

Outro problema muito sério que pode ocorrer é a incidência de fagulhas, resultado de combustível queimado de forma incompleta e que então segue junto do ar de secagem até na câmara de secagem, podendo ocasionar incêndios, que resulta em perda de produto, tempo, deterioração do secador e perigo para operadores. Além disso, o uso da lenha resulta em cheiro e resíduos impregnados no grão, restringindo sua industrialização para consumo humano (RIBEIRO; VICARI, 2005).

Para o reflorestamento de lenha para queima em secadores, o mais comum é o eucalipto, de origem australiana, com mais de 600 espécies, que demora pouco tempo para ser cortado e tem uma produtividade excelente (SYPERRECK, 2005).

Os principais elementos responsáveis pela liberação de energia são o carbono e o hidrogênio; o enxofre, quase inexistente na lenha, participando com uma mínima parcela dessa geração de calor.

2.3.2 Gás Natural e GLP

O gás natural é uma substância que permanece no estado gasoso sob condições atmosféricas e é composto essencialmente por metano (CH_4), normalmente com teores acima de 70%, etano (C_2H_6) e propano (C_3H_8) (ANP). Porém, seu uso é mais viável quando pode chegar por tubulações até o local de utilização, dificultando seu uso em propriedades agrícolas.

O gás liquefeito de petróleo (GLP), popularmente conhecido como gás de cozinha é composto principalmente por butano (C_4H_{10}), buteno (C_4H_8), propano (C_3H_8) e propeno (C_3H_6) (PETROBRÁS, 2013), extraídos do petróleo. Minoritariamente, outros hidrocarbonetos, como o etanol, também fazem parte de sua composição. Como ele é incolor e inodoro, adiciona-se um composto a base de enxofre para que os vazamentos do gás sejam detectados com mais facilidade (ANP, 2016).

Fornalhas que utilizam gás para a queima para gerar calor, são muito simples, possuem vários queimadores e algumas vantagens quando comparadas às fornalhas a lenha, como controle de temperatura, automação, abastecimento e estocagem do combustível mais fáceis (SYPERRECK, 2005).

As vantagens quanto ao uso de gás natural e GLP incluem o não derramamento de combustível (já que é um gás), deixando a área de serviço limpa e sem contaminantes. A queima não resulta em resíduos tóxicos nocivos à saúde humana ou ao meio ambiente, não deixa resíduos ou cheiros impregnados no produto, e leva a redução significativa do tempo de secagem (RIBEIRO; VICARI, 2005).

2.3.3 Óleo Diesel

Além da lenha, o diesel era o principal produto utilizado para secagem de produtos agrícolas no Brasil até meados de 1970, já que a distribuição, a facilidade de uso e o baixo preço eram muito atrativos. No entanto, ainda na década de 70, o gás natural e óleo industrial começaram a se destacar já que eram aproximadamente 40% mais baratos, e o GLP se aproximava ao diesel em preço. Assim, os combustíveis gasosos começaram a tornar-se mais atrativos, devido ao baixo teor de enxofre e por permitir o aquecimento direto do ar de secagem. Neste trabalho, o óleo diesel também será considerado como combustível para a fornalha devido a facilidade de distribuição (PRECCI *et al.*)

2.3.4 Péletes e Briquetes

Péletes, com diâmetro entre 6 e 16 mm, e briquetes, com diâmetro superior a 50 mm, que estão ilustrados respectivamente na Figura 10, podem ser obtidos a partir da compactação de qualquer resíduo vegetal, como serragem, sabugo e palha de milho, além de outros resíduos gerados na lavoura, como cascas e caroços de frutas e palmáceas, folhas e troncos das podas de árvores, entre muitos outros, e são utilizados na geração de energia, térmica ou elétrica (DIAS, 2012).



Figura 10 - Péletes e briquetes

Fonte:

<http://pelletsdemadeira.blogspot.com.br/2010/12/pellets-de-madeira-ou-briquetes.html>, 2016.

São necessários vários processos para que o produto final esteja acabado. A Figura 11 nos mostra tal caminho até que os péletes ou briquetes estejam formados.



Figura 11 - Etapas do processo de peletização e briquetagem
Fonte: DIAS et al., 2012.

Estes dois materiais são substitutos diretos da lenha em diversas situações, como no uso residencial (lareira e churrasqueira), industrial (indústrias química e têxtil) e comercial (padarias e pizzarias). Assim, eles também podem ser combustíveis para fornalhas de secadores de grãos (DIAS, 2012).

Existem muitas vantagens em se utilizar péletes e briquetes como: queima uniforme e de qualidade, fácil transporte e estocagem, biodegradação reduzida, elevação de temperaturas com mais rapidez, devido à baixa umidade, gerando menos fumaça, fuligem e cinzas. Comparando com a lenha, porém, eles têm tendência de se desmancharem quando em contato com água ou elevada umidade. (SILVA, 2007).

2.4 FLUXO DO AR DE SECAGEM

O fluxo do ar de secagem assegura a retirada de água dos grãos. Enquanto o ar de secagem vai se afastando do ponto de entrada na massa de grãos, sua temperatura vai diminuindo (pois cede calor aos grãos) e a sua umidade vai aumentado (por absorvê-la dos grãos) até um ponto em que o ar de secagem não tem mais a capacidade de provocar a evaporação de água no grão. Porém, como o fluxo

de ar é contínuo, a faixa que separa grãos que estão no processo de secagem dos grãos que estão em contato com o ar saturado, vai avançando até que essa faixa, chamada de “frente de secagem” tenha percorrido toda a massa de grãos, completando assim, o processo da secagem.

O deslocamento da frente de secagem é determinado pelo fluxo de ar, quanto maior o fluxo, mais rapidamente a frente de secagem atravessa toda a massa do produto (SARTORI, 2001).

O fluxo de ar ocorre mecanicamente a partir de compressores centrífugos (ventiladores) e, para escolha de tais é necessário conhecer a vazão total e a pressão estática. Esses dois elementos são especificados no projeto de acordo com o tipo e quantidade de produto a ser secado, umidade inicial e final, entre outros (PORTELLA; EICHELBERGER, 2001).

3 METODOLOGIA

3.1 TEMPERATURA DO FLUXO DE AR DE SECAGEM

Para determinar a temperatura utilizada para secar o grão, é necessário estabelecer uma relação entre temperatura e teor de umidade do ar de secagem, do grão e do ambiente.

O teor de umidade do grão, que é a quantidade de água presente no grão, pode ser definido em base seca ou base úmida. Para Borges (2002), a massa do grão úmido e o teor de umidade em base úmida e base seca, podem ser expressas respectivamente por:

$$m_u = m_w + m_s \quad (3.1)$$

$$U_{bu} = \frac{m_w}{m_u} \cdot 100 \quad (3.2)$$

$$U_{bs} = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100 \quad (3.3)$$

onde m_u é a massa do grão úmido (kg), m_w é a massa de água presente no grão (kg), m_s é a massa do grão seco (kg), U_{bu} é o teor de umidade em base úmida (%) e U_{bs} o teor de umidade em base seca (%).

Deseja-se reduzir a massa de água presente no grão, m_w , para que o armazenamento não prejudique a qualidade do grão, como já explicado na introdução dessa monografia.

De Souza *et al* (2001) realizaram uma simulação de secagem de uma camada de sementes e para isso executaram alguns passos para encontrar os principais parâmetros para a operação de secagem.

3.1.1 Temperatura de equilíbrio

A temperatura de equilíbrio entre o ar de secagem e o produto pode ser expressa fazendo um balanço de energia. Considerando-se apenas a troca de calor sensível (SOUZA *et al*, 2001):

$$0,24T_0 + W_0(588 + 0,45T_0) + c_p R(1 + U)T_{g0}$$

$$= 0,24T_e + W_0(588 + 0,45T_e) + c_p R(1 + U)T_{ge} \quad (3.4)$$

onde T_0 é a temperatura do ar de secagem na entrada da camada de grãos em °C, W_0 a razão de mistura do ar na entrada da camada de grãos em kg de vapor de água por kg de ar seco, T_{g0} temperatura do grão inicial t em °C, T_e a temperatura do ar em equilíbrio com o grão em °C, T_{ge} a temperatura do grão em equilíbrio com o ar em °C, U o teor de umidade do grão no tempo t em decimal b.s., c_p a entalpia específica do grão (dependente de cada tipo de grão – milho, soja, trigo, etc.) em kJ/kg°C e R a razão entre a massa de matéria seca da camada de grãos e a massa de ar seco que passa no intervalo de tempo Δt .

Supondo que a temperatura do grão e a temperatura do ar que o circunda são iguais temos $T_{ge} = T_e$. Souza *et al* (2001) determina R pela equação:

$$R = \frac{\rho \cdot v_e \cdot A \cdot \Delta x}{Q \cdot \Delta t \cdot 60 \cdot (1 + U_0)} \quad (3.5)$$

onde ρ a massa específica do produto no início da secagem em kg/m³, v_e o volume específico do ar em m³/kg, A a área da seção transversal da camada em m², Δx a espessura da camada de grãos em (m), Q vazão de ar em m³/min, Δt o incremento de tempo em horas e U_0 é o teor de umidade inicial em decimal b.s., e T_e é a temperatura de equilíbrio determinada por Thompson (SOUZA *et al*, 2001) descrita na equação:

$$T_e = \frac{(0,24 + 0,45 \cdot RU)T_0 + c_p R(1 + U)T_{g0}}{0,24 + 0,45 \cdot RU + c_p R(1 + U)} \quad (3.6)$$

onde RU é a razão de umidade adimensional.

3.1.2 Teor de umidade de equilíbrio

Para determinar o teor de umidade de equilíbrio deve-se antes determinar a umidade relativa do ar, que Bortolaia (2011) descreve por:

$$UR = \frac{p_v}{p_{vs}} \quad (3.7)$$

onde p_v é a pressão de vapor e p_{vs} é a pressão de vapor saturado dados em Pa. Com o teor de umidade relativa do ar definida podemos determinar o teor de umidade de equilíbrio pela equação que foi encontrada por Henderson (BORTOLAIA, 2011):

$$1 - UR = \exp(-d \cdot T_e U_e^b) \quad (3.8)$$

com d e b são constantes que dependem de cada produto e são obtidas experimentalmente. Rearranjando a equação (3.8) obtém-se:

$$U_e = \left(\frac{\ln(1 - UR)}{-dT_e} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (3.9)$$

3.1.3 Tempo Equivalente

O Tempo Equivalente, denotado por t_e , dependente de T_e e W_0 , é o tempo necessário para que o produto permaneça em contato com as condições atuais (T_e e W_0) para que o teor de umidade desejado seja atingido. Para Thompson (SOUZA, 2001), o tempo equivalente para secagem a granel, é dado por:

$$t_e = A \cdot \ln(RU_0) + B \cdot [\ln(RU_0)]^2 \quad (3.10)$$

onde t_e é o tempo de secagem em horas e A e B são parâmetros dependentes da temperatura do ar de secagem T em °C e do tipo de grão, e podem ser obtidos a partir de curvas de secagem de cada grão, como exemplo da Figura 12, e a razão de umidade para o tempo t pode ser obtido por (SOUZA, 2001):

$$RU_0 = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e} \quad (3.11)$$

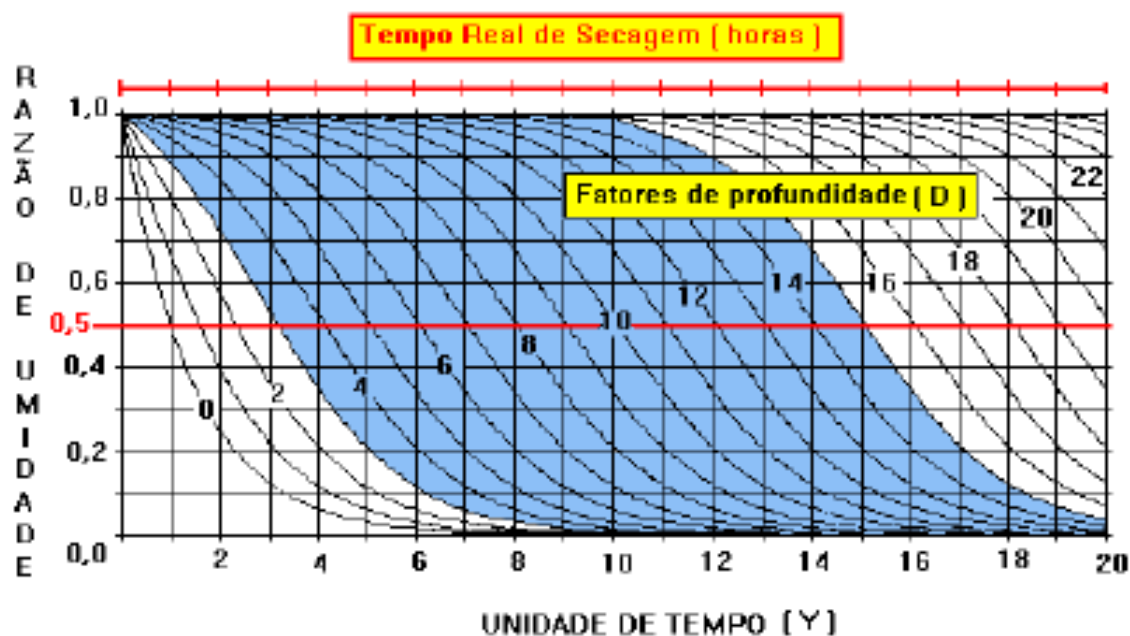


Figura 12 - Curva de secagem em camada espessa
Fonte: SILVA, 2008.

3.1.4 Razão de mistura do ar de secagem na saída da camada de sementes

A razão de mistura de ar após a passagem pelo produto pode ser obtida fazendo um balanço de massa (SOUZA *et al*, 2001):

$$W_f = W_0 + R \cdot (U - U_f) \quad (3.12)$$

onde U_f é o teor de umidade do produto após a passagem do ar de secagem pela camada de sementes no tempo $t + \Delta t$, e pode ser obtido por (SOUZA *et al*, 2001):

$$U_f = RU_f(U_0 - U_e) + U_e \quad (3.13)$$

onde RU_f é obtida pela equação empírica (SILVA *et al*, 2008):

$$RU_f = \exp \left\{ \frac{[-A - (A^2 + 4B(t + \Delta t))^{0,5}]}{2B} \right\} \quad (3.14)$$

3.1.5 Temperaturas finais do produto e do ar

Fazendo um balanço de energia que subtrai a perda de umidade dos grãos, obtém-se as temperaturas finais do produto e do ar de secagem (SOUZA *et al*, 2001):

$$\begin{aligned} & 0,24T_e + W_0(588 + 0,45T_e) + c_p R(1 + U)T_{ge} + (W_f - W_0)T_{ge} \\ & = 0,24T_f + W_f(588 + 0,45T_f) + c_p R(1 + U)T_{gf} + (W_f - W_0)\Delta L_v \end{aligned} \quad (3.15)$$

onde T_f é a temperatura do ar após passar pela camada de produto em °C, T_{gf} é a temperatura do produto na camada durante o tempo $t + \Delta t$ em °C, e ΔL_v é a entalpia latente de vaporização superior ao valor de evaporação da água livre em kJ/kg de água, ou, em outras palavras, é a energia adicional que se necessita para evaporar a água dos grãos, e, segundo Silva *et al* (2008) é obtida por:

$$\Delta L_v = (606 - 0,57T) \cdot [4,35e^{(-28,25U)}] \cdot 4,1868 \quad (3.16)$$

3.2 ENERGIA NECESSÁRIA PARA O SECADOR

A energia consumida nos secadores é gerada pelo combustível para o aquecimento do ar de secagem que realiza a evaporação da água dos grãos e pela energia elétrica necessária para acionar ventiladores e motores.

Para determinar a energia utilizada no secador para evaporar a água dos grãos precisa-se determinar a massa de água evaporada do grão. Então, é necessário saber o peso inicial do produto úmido e o peso final no teor de umidade final (SILVA *et al*, 2008):

$$P_f = P_i \frac{100 - U_0}{100 - U_f} \quad (3.17)$$

onde P_i e P_f são os valores do peso inicial do produto úmido e peso final do produto no teor de umidade final, respectivamente. Assim, a massa de água evaporada durante a secagem pode ser calculada por (SILVA *et al*, 2008):

$$m_a = P_i - P_f \quad (3.18)$$

Segundo Silva (2008) o consumo específico de energia (CEE), dado em kJ/kg, é definido pela equação:

$$CEE = \frac{\text{consumo de combustível} \times \text{poder calorífico}}{\text{massa de água evaporada}} \quad (3.19)$$

Porém, nem toda energia fornecida ao ar de secagem é utilizada para a evaporação da água dos grãos. Certa porção dessa energia é perdida na forma de calor sensível do ar de exaustão, no aquecimento dos grãos e na condução, irradiação e convecção da própria estrutura do secador para o ambiente. Portanto, é necessário saber como o consumo de energia se distribui pelo secador para se conhecer as perdas e eficiência do equipamento. A distribuição do consumo de energia pode ser analisada no Tabela 2.

Tabela 2 - Distribuição do consumo de energia em um secador de fluxo cruzado

Consumo kJ/kg de água evaporada	Uso da energia sob forma de calor	% do consumo total
754	Perdas pelo trocador e na tiragem dos gases	15
100	Perdas no secador	2
301	Perda por aquecimento dos grãos	6
603	Perda pelo ar de exaustão não-saturado	12
754	Perda por calor sensível ar de exaustão saturado	15
2512	Energia necessária à vaporização da água	50
5024	Consumo total	100

Fonte: SILVA *et al* (2008).

3.2.1 Eficiência do secador

A eficiência de um secador é calculada pela razão da energia para remover a água do produto e a energia total cedida ao secador (SILVA *et al*, 2008):

$$\eta = \frac{m_a \cdot L_a}{\tau} \cdot 100 \quad (3.20)$$

onde L_a é o calor latente de vaporização e τ é a energia total utilizada pelo secador, que é a soma da energia proveniente dos combustíveis e da energia elétrica. A eficiência ainda pode ser calculada por (SILVA *et al*, 2008):

$$\eta = \frac{T_e - T_f}{T_e - T_{amb}} \quad (3.21)$$

Assim, com os valores de m_a e L_a conhecidos e obtendo o valor de η da equação (3.21), substituindo na equação (3.20) obtemos o valor de τ :

$$\tau = E_e + m_{cb} \cdot PCI \quad (3.22)$$

onde E_e é o consumo de energia elétrica, m_{cb} a massa de combustível e PCI o poder calorífico inferior desse combustível. Rearranjando a equação (3.22) obtém-se a massa de combustível necessária para a secagem:

$$m_{cb} = \frac{\tau - E_e}{PCI} \quad (3.23)$$

3.3 AVALIAÇÃO DO CUSTO BENEFÍCIO DOS COMBUSTÍVEIS

3.3.1 Lenha de Eucalipto

A obtenção da lenha para a queima no secador pode ser por meio da compra ou da produção própria de lenha. Como já mencionado, o eucalipto é uma das fontes de energia mais baratas para o secador, porém com um dos menores poderes caloríficos. A Tabela 3 mostra a média de preços por metro cúbico de eucalipto dos últimos anos.

Tabela 3 - Cotações médias de eucalipto dos anos 2011 - 2017

ANO	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
R\$/m ³	53,52	50,46	46,15	45,41	43,60	42,10	41,34

Fonte: Adaptado de Instituto de Economia Agrícola.

Nota-se que o preço no mercado vem caindo nos últimos anos, mas deve estabilizar segundo Manoel de Freitas, um dos grandes expoentes da silvicultura do Brasil, e Marcio Funchal, Diretor de Consultoria na Consufor.

Segundo dados do Comunicado Técnico da Embrapa, 2007, o custo e produção de um hectare de eucalipto é de aproximadamente R\$ 4.127,38 e 525 m³ de lenha para energia, para dois ciclos e duração de 14 anos. Esse custo de produção envolve operações mecânicas, insumos, mão-de-obra e corte e empilhamento. Assim, o custo de produção é de apenas R\$ 7,86 por m³, tornando a produção própria de lenha a opção mais viável.

Considerando a densidade do eucalipto igual a 450 kg/m³ (com um teor de umidade de 20%) (ADETEC) o custo de produção é de R\$ 0,017/kg de lenha. Supondo o PCI do eucalipto como 12000 kJ/kg (ADETEC), obtém-se o custo de R\$ 7,655/GJ para a compra da lenha e o custo de R\$ 1,416/GJ para a produção de lenha.

3.3.2 GLP

Para o uso do GLP como combustível para queima no secador também é necessário fazer uma estimativa de custos. A Tabela 4 mostra um breve histórico do preço do GLP no Paraná.

Tabela 4 - Preços médios de GLP dos anos 2013 - 2017 (R\$/13kg)

ANO	2013	2014	2015	2016	2017
Preço médio de revenda	40,18	41,813	49,771	57,568	59,286
Preço médio de distribuição	30,18	30,389	34,513	39,595	41,937

Fonte: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

Nota-se que o preço do GLP vem aumentando nos últimos anos. Sabendo que o PCI do GLP é de 46500 kJ/kg (ANP) e supondo o preço do quilograma de GLP como R\$ 4,61, obtém-se R\$ 99,14./GJ.

3.3.3 Gás Natural

Segundo a ANP, o histórico de preços ao consumidor industrial pode ser avaliado na Tabela 5:

Tabela 5 - Preço médio nacional de Gás Natural dos anos 2012 – 2017 (R\$/m³)

ANO	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Média Nacional	1,39	1,48	1,54	1,68	1,68	1,79

Fonte: Ministério de Minas e Energia.

E os preços do gás natural devem continuar aumentando (ABEGÁS). O valor do combustível está em R\$/m³, portanto, adotando o preço para estes cálculos como R\$ 1,90/m³, e considerando a densidade do gás natural como 0,74 kg/m³ (ANP) o preço do kg de gás natural seria de R\$ 1,406. Como o gás natural tem um PCI igual a 41606 kJ/kg, o preço do GJ para o gás natural seria R\$ 33,8. Porém, em Guarapuava e região não existe uma rede de distribuição de gás natural próxima para viabilizar o uso desse combustível (ABEGÁS).

3.3.4 Óleo Diesel

A Tabela 6 mostra um histórico de preços do óleo diesel com base nos dados fornecidos pela ANP:

Tabela 6 - Preços médios de óleo diesel dos anos 2013 - 2017 (R\$/L)

ANO	2013	2014	2015	2016	2017
Preço médio de revenda	2,252	2,449	2,733	2,855	2,866
Preço médio de distribuição	2,007	2,171	2,44	2,554	2,49

Fonte: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

Com uma densidade de 0,84 kg/L (ANP) e considerando o preço do litro como R\$ 2,90, o preço do kg do óleo diesel é R\$ 2,436/kg. O PCI do óleo diesel é 42300 kJ/kg, portanto, o preço do GJ para o óleo diesel é de R\$ 57,56.

3.3.5 Péletes e Briquetes

Os péletes tem uma densidade entre 500 e 750 kg/m³ e os briquetes entre 500 e 1200 kg/m³ (DIAS *et al*, 2012), porém os poderes caloríficos dos dois produtos são bastante semelhantes. Essa margem de densidade se deve por causa dos diversos tipos de matérias primas que existem para a fabricação desses produtos. Após a consulta de fabricantes de péletes e briquetes certificados, obteve-se um preço médio de péletes de R\$ 600,00/tonelada e dos briquetes em torno de R\$ 500,00/tonelada (valores para compras de grande volume, acima de duas toneladas), ou seja, R\$ 0,60/kg e R\$ 0,50/kg de péletes e briquetes respectivamente. O PCI dos produtos fica entre 15.400 e 16.500 kJ/kg (DIAS *et al*, 2012). Assim, o valor do GJ para o pélete é de R\$ 37,61 e para o briquete é de 31,34 (valores considerando o PCI igual a 15950 kJ/kg).

Portanto, os valores de energia para cada combustível estudado neste trabalho podem ser visualizados na Tabela 7:

Tabela 7 - Preço de cada combustível em R\$/kJ

Combustível	Eucalipto (compra)	Eucalipto (produção)	GLP	Gás Natural	Óleo Diesel	Pélete	Briquete
Preço do GJ	7,655	1,416	99,14	33,80	57,56	37,61	31,34

Fonte: autoria própria.

Observando a tabela, nota-se que o combustível mais viável é o eucalipto (produção e compra) e o mais caro seria o GLP. É claro que existem outros fatores que influenciam a eficiência da secagem quando se trata dos combustíveis, como inércia de queima, mas como não é o objetivo deste estudo, não será levado em consideração.

3.5 CÁLCULOS DE CUSTOS TOTAIS – RECEPÇÃO AGRÁRIA

A Cooperativa Agrária forneceu alguns dados para o cálculo de custos de recepção e secagem, Quadro 1.

UMIDADE % b.u.	Soja	Milho	CEVADA	TRIGO
LIMPO E SECO	12,38	14,17	18,58	15,97
13,00			28,03	24,15
14,00	16,62	18,31	32,01	27,22
15,00	26,58	20,52	35,40	29,72
16,00	28,11	32,13	38,18	31,74
17,00	29,53	33,32	39,93	33,75
18,00	30,93	34,61	44,49	36,33
19,00	32,28	35,98	48,83	38,96
20,00	33,56	37,46	54,72	44,12
21,00	34,73	39,04	60,34	49,42
22,00	35,75	40,74	66,18	54,85
23,00	36,60	42,52	73,61	60,52
24,00	37,27	44,46	81,18	66,31
25,00	37,71	46,57	88,89	71,99
26,00	37,98	48,87	97,85	79,16
27,00	38,27	51,36	106,67	86,23
28,00	38,64	54,08	115,64	93,29
29,00	39,06	57,03	125,96	102,43
30,00	39,56	60,25	136,39	11,60

Quadro 1 - Custos de recepção e secagem da Cooperativa Agrária
Fonte: Cooperativa Agrária Agroindustrial

Com essas informações é possível calcular o custo aproximado de um produto úmido e um produto limpo e seco. Supondo uma propriedade rural com 800 hectares de plantio em que se realiza rotação de culturas, que planta milho em 31% da área e soja nos outros 69% na safra de verão e na safra de inverno cevada em 38% e trigo em 31%. As umidades médias de colheita dos produtos são de 24% para milho, 17% para soja e 17% para cevada e 17% para trigo.

Analisando-se a Tabela 8, verifica-se que a produção total da propriedade será de aproximadamente 8.500 toneladas/ano.

Tabela 8 - Produção total da fazenda

Cultura	Área ha	Produtividade bruta - kg/ha	% umidade colheita	Produção Total - toneladas
Soja	550	4.515	17	2.483
Milho	250	14.950	24	3.738
Cevada	300	4.378	17	1.313
Trigo	250	4.120	17	1.030
Total				8.564

Fonte: autoria Própria.

3.5.1 Custos de recepção e secagem

Analisando-se as linhas marcadas no Quadro 2 verifica-se que o milho teria um custo de recepção e secagem de R\$ 44,56/t se fosse entregue na umidade da colheita – 24%. Caso a umidade do grão fosse reduzida à 13,99% este custo passaria a ser de R\$ 18,31/t, ou seja, uma economia de R\$ 26,25/t.

Além do custo de secagem existe também o custo da limpeza (retirada das impurezas – milho considera-se 1,2%, soja, 0,75% e cevada e trigo 1,3%.

Na Tabela 9 verifica-se que a economia anual com limpeza e secagem seria de R\$ 199.770,43.

Tabela 9 - Economia de custos relacionados a umidade e impurezas

Cultura	Total (t)	Total limpo e seco (t)	Custo recepção e secagem	Custo de recepção limpo e seco
Soja	2.483	2.390	R\$ 73.330,37	R\$ 29.586,71
Milho	3.738	3.319	R\$ 166.169,25	R\$ 47.023,52
Cevada	1.313	1.244	R\$ 58.426,49	R\$ 34.855,77
Trigo	1.030	975	R\$ 37.419,90	R\$ 24.109,59
Total	8.564	7.927	R\$ 335.346,02	R\$ 135.575,58
Diferença de custo devido á secagem				R\$ 199.770,43

Fonte: autoria própria.

3.5.2 Economia de transporte

A secagem dos produtos na fazenda acarreta uma redução do custo de transporte, pois menos produto será transportado pelos caminhões com destino à cooperativa. A umidade de colheita no caso do milho é de 24%, e abaixo de 14% cessam as cobranças de descontos relativos à umidade. Portanto a diferença seria de $24\% - 13,99\% = 3,01\%$ aplicados sobre a produção total de 3.738 toneladas, deixaria-se de transportar 374 toneladas. Conforme citado anteriormente, o transporte das impurezas também acarreta uma economia de quase 94 toneladas que deixam de ser transportadas. O frete por tonelada está estimado em R\$ 17,00. Na Tabela 10 verifica-se neste quesito, e a economia anual de R\$ 10.825,10.

Tabela 10 - Economia de custos de frete

Cultura	Umidade		Impurezas		Frete umidade e impurezas	
	% de diferença	Em toneladas	%	Em toneladas		
Soja	3,01	74,75	0,75	18,62	R\$	1.587,29
Milho	10,01	374,12	1,20	44,85	R\$	7.122,55
Cevada	4,01	52,66	1,30	17,07	R\$	1.185,47
Trigo	4,01	41,30	1,30	13,39	R\$	929,78
Total		542,83		93,94	R\$	10.825,10

Fonte: autoria própria.

3.6 CÁLCULOS DE CUSTOS TOTAIS – SECADOR

Tanto o investimento, como os custos fixos e variáveis de determinado projeto, devem ser considerados para analisar a viabilidade econômico financeira do mesmo.

Os custos envolvidos na operação de um secador são divididos entre fixos e variáveis. Os fixos não se alteram com seu uso enquanto os custos variáveis são proporcionais à utilização.

3.6.1 Investimento

Um sistema de secagem é constituído por vários subsistemas como: recebimento, pré-limpeza, secagem, limpeza e armazenagem. Para estimativa de custos da construção do sistema inteiro de secagem consultou-se um representante comercial da empresa Kepler Weber que forneceu os custos relacionados a aquisição de equipamentos, construção civil e uso da energia elétrica para um secador com capacidade de secagem de 30 t/h, e capacidade de armazenamento em torno de 3.000 t, que seguem na Tabela 11.

Tabela 11 - Custos da construção do sistema de secagem

Equipamentos Kepler Weber	R\$	1.500.000,00
Montagem Equipamentos Kepler Weber	R\$	300.000,00
Parte Civil	R\$	975.000,00
Parte Elétrica (sem gerador)	R\$	300.000,00
Balança	R\$	75.000,00
Total	R\$	3.150.000,00

Fonte: autoria própria.

3.6.2 Custos fixos

Entre os custos fixos apresentam-se a depreciação (conforme fins contábeis utiliza-se 20 anos para depreciação de benfeitorias) e o custo do capital sobre o investimento estimado em 7,5% aa.

Tabela 12 - Custos fixos relacionados a aquisição do secador

Custos fixos		
Depreciação	R\$	157.500,00
Custo de capital sobre investimento	R\$	236.250,00
Total	R\$	393.750,00

Fonte: autoria própria.

3.6.3 Custos variáveis

Os custos variáveis variam proporcionalmente de acordo com o nível de produção. Esses custos podem ser subdivididos em: energia elétrica, combustível, mão de obra e manutenção.

3.6.3.1 Combustível

Analisando a Tabela 6 nota-se que o combustível mais barato é a lenha de eucalipto. Para determinar o consumo total de combustível é necessário encontrar a capacidade efetiva de secagem e assim o tempo total de secagem.

A capacidade de secagem pode ser nominal, que é o valor fornecido pelo catálogo do fabricante do secador e é definida como a capacidade de secagem da soja ou trigo, ou efetiva, que é a capacidade efetiva de secagem do produto e pode ser obtida pela equação (SILVA *et al*, 2008):

$$c_{es} = c_{ns} f_u f_p \quad (3.24)$$

onde c_{ns} é a capacidade nominal de secagem do secador em toneladas por hora, f_u um fator de correção quanto aos teores de umidade inicial e final e f_p um fator de correção quanto ao produto. O fator f_u pode ser obtido com base em dados fornecidos por Weber (2001):

$$f_u = A_0 + A_1(U_0 - 18) + A_2(U_0 - 18)^2 + A_3(U_0 - 18)^3 \quad (3.25)$$

onde A_0 , A_1 , A_2 e A_3 são coeficientes determinados por análise de regressão e podem ser obtidos a partir do Quadro 2:

U_0	U_f	A_0	A_1	A_2	A_3
$18 \leq U_i \leq 28$	13	1,0000	-0,1544	$1,4863 \cdot 10^{-2}$	$-5,9420 \cdot 10^{-4}$
$15 \leq U_i \leq 18$	13	1,0000	-0,0450	0,0950	0,0000
$17 \leq U_i \leq 28$	14	1,2365	-0,2287	$2,4645 \cdot 10^{-2}$	$-1,0420 \cdot 10^{-3}$
$18 \leq U_i \leq 28$	15	1,5088	-0,2953	$3,1195 \cdot 10^{-2}$	$-1,2720 \cdot 10^{-3}$
$19 \leq U_i \leq 28$	16	1,8740	-0,3956	$4,2255 \cdot 10^{-2}$	$-1,7230 \cdot 10^{-3}$

Quadro 2 - Coeficientes para f_u
Fonte: WEBER, 2001.

O fator de correção f_p depende do produto a ser secado. Para o milho, por exemplo, f_u é 0,75 (WEBER, 2001), isso corresponde a uma capacidade de secagem de 25% menor para o milho em relação a soja.

Então, para c_{ns} igual a 30 t/h, umidade do milho inicial de 24% e final de 13% resultando em f_u igual a 0,4803 e f_p 0,75 temos c_{es} igual a 10,8 t/h. Para a soja com umidade inicial de 17% e final 13%, f_u é 1,14 e f_p é 1,0. Assim o valor de c_{es} para a soja nessas condições é de 34,2 t/h. Para a cevada e o trigo as condições são geralmente muito semelhantes, assim, para uma umidade inicial de 17% e final de 13% tem-se novamente c_{es} igual a 34,2 t/h.

Analisando a Tabela 13 verifica-se que a ocupação anual do secador será de aproximadamente 500 horas.

Tabela 13 - Horas de funcionamento do sistema de secagem

Cultura	Produção Total (t)	capacidade de secagem efetiva (t/h)	total de horas de secagem por ano
Soja	2.483	34,2	73
Milho	3.738	10,8	346
Cevada	1.313	34,2	38
Trigo	1.030	34,2	30
Total	8.564		487

Fonte: autoria própria.

O consumo de energia c_e pode ser obtido, em t/h, pela equação (3.26):

$$c_e = CEE \cdot m_a \quad (3.26)$$

onde CEE pode ser obtido pela equação (3.19) ou experimentalmente. O consumo do combustível por hora pode ser obtido de modo semelhante a equação (3.23):

$$\dot{m}_{cb} = \frac{c_e}{PCI} \quad (3.27)$$

O custo do combustível por hora pode ser calculado como:

$$c_{cb} = P_{cb} \cdot \dot{m}_{cb} \quad (3.28)$$

onde P_{cb} é o preço do combustível por quilograma (R\$/kg).

Tabela 14 - Consumo de lenha

Cultura	m_a t/h	c_e (kJ/h)	\dot{m}_{cb} (kg/h)	c_{cb} (R\$/h)	custo total de combustível
Soja	1,24	5.891.259,04	490,94	45,10	R\$ 21.964,12
Milho	1,42	6.756.750,00	563,06	51,73	R\$ 25.190,89
Cevada	1,65	7.848.487,95	654,04	60,08	R\$ 29.261,17
Trigo	1,65	7.848.487,95	654,04	60,08	R\$ 29.261,17
Total		28.344.984,94	2.362,08		R\$ 105.677,35

Fonte: autoria própria.

O consumo de combustível lenha de eucalipto é de 2.362,08 kg/h, ou com 487 horas de funcionamento, 1.150.784 kg/ano, e com densidade de 450 kg/m³, são 2557 m³. Com o preço considerado de compra e não de produção, o custo total de lenha é de R\$ 105.677,35 por ano.

3.6.3.2 Energia elétrica

O custo do consumo de energia elétrica pode ser calculado a partir do total de horas do funcionamento e da demanda de energia elétrica do sistema de secagem. A potência requerida pelo sistema é de 45 cavalos-vapor (cv) (dados do fabricante) e conforme a Tabela 13 o uso anual de secador seria de 487 horas. Portanto, o custo de energia elétrica demandada pelo sistema em um ano pode ser calculada por:

$$c_{el} = Pot \cdot 0,735 \cdot P_{el} \quad (3.29)$$

onde c_{el} é o custo total de energia elétrica, Pot a potência requerida pelo sistema e P_{el} o preço do kwh que nesse caso é de R\$ 0,32064 (Copel Distribuidora S.A.). Assim, o custo total de energia elétrica é de R\$ 5.166,72 por ano.

Para os custos de manutenção estima-se um gasto anual de manutenção no valor de 0,65% sobre o investimento (dado fornecido pelo representante comercial). Mão de obra estima-se utilização de 2 funcionários durante os 4 meses de safra anuais.

Tabela 15 - Custos operacionais de utilização por ano

Custos variáveis		
Energia elétrica	R\$	5.166,72
Combustível	R\$	105.677,35
Manutenção	R\$	20.475,00
Mão de obra	R\$	14.300,00
Total	R\$	145.619,07

Fonte: autoria própria.

4 CONCLUSÃO

Os custos fixos anuais de R\$ 393.750,00 e custos variáveis de R\$ 145.619,07 somam R\$ 539.369,07, enquanto a economia alcançada com a redução do custo do frete de R\$ 10.825,10 e custo de recepção de R\$ 199.770,43 somam R\$ 210.595,53. O projeto se torna inviável, pois os custos anuais excedem a economia de gastos em R\$ 328.773,54.

Outro aspecto a ser considerado é o estratégico, por haver um sistema de secagem e armazenagem que permite manter o produto na fazenda. A pressão de venda do produto por um valor não desejado é diminuída, pois os custos de armazenagem na fazenda são inferiores aos da cooperativa, permitindo maior margem a especulação dos preços por parte do produtor.

5 REFERÊNCIAS

ADETEC. Disponível em: <http://adetec.ind.br/consumo.asp>. Acesso em 19 out. 2017.

ANP. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Dados de gás natural. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/gas-natural>. Acesso em 26 out. 2016.

ANP. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Dados de gás liquefeito de petróleo. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/petroleo-e-derivados2/glp>. Acesso em: 26 out. 2016.

ANP. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/precos-e-defesa/234-precos/levantamento-de-precos/868-serie-historica-do-levantamento-de-precos-e-de-margens-de-comercializacao-de-combustiveis>. Acesso em 20 out. 2017.

ANP. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Disponível em: www.anp.gov.br/wwwanp/?dw=82253. Acesso em 20 out. 2017.

ABEGÁS. **Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado**. Disponível em: <http://www.abegas.org.br/Site/?p=50881>. Acesso em 30 out. 2017.

BAZZO, Edson. **Geração de vapor**. 2a. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995.

BORGES, Pedro Augusto Pereira. **Modelagem dos Processos Envolvidos nos Sistemas de Secagem e Armazenamento de Grãos**. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

BORTOLAIA, Luís Antonio. **Modelagem matemática e simulação do processo de secagem artificial de grãos de soja em secadores de fluxo contínuo**. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CAMPOS, Alessandro Torres; MELO, Evandro de Castro; SILVA, Juarez de Sousa e. **Análise energética de secador de grãos a lenha**. Anais. UNIOESTE, 2004.

CEPEA. **Centro de Estudos Avançados de Economia Aplicada**. Disponível em: <http://cepea.esalq.usp.br/pib/>. Acesso em: 8 set. 2016.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1125&t=2>. Acesso em: 9 set. 2016.

DIAS, José Manuel C. S; SOUZA, Daniela T. de; BRAGA, Melissa; ONOYAMA, Marcia M.; MIRANDA, Cesar H. B.; BARBOSA, Patrícia F. D.; ROCHA, José D. **Produção de briquetes péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. 1ª ed. Embrapa Agroenergia, Brasília, DF, 2012.

GALANTE, Renan Manozzo. **Análise termodinâmica de uma planta termoeétrica a biomassa assistida por energia solar**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

IEA. **Instituto de Economia Agrícola**. Dados para a Tabela 2. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/florestas.php>. Acesso em 16 set. 2017.

MARTINS, Ricardo Ramos; FRANCO, José Boaventura da Rosa; DE OLIVEIRA, Paulo Armando V. **Tecnologia de secagem de grãos**. Passo Fundo: Editora da EMBRAPA, 1999.

MME. **Ministério de Minas e Energia**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/publicacoes/boletim-mensal-de-acompanhamento-da-industria-de-gas-natural>. Acesso em 23 out. 2017.

OLESEN, H. Toftdahl. **GRAIN DRYING**. Thisted: Bornerups Bogtryk og Offset, 1987.

Painel Florestal. Disponível em: <http://www.painelflorestal.com.br/noticias/mercado/10-tendencias-para-negocios-e-mercado-florestal-em-2018>. Acesso em 16 out. 2017.

Péletes de Madeira. Imagem Figura – 10. Disponível em: <http://pelletsdemadeira.blogspot.com.br/2010/12/pellets-de-madeira-ou-briquetes.html>. Acesso em 2 nov. 2016.

PETROBRÁS. Manual Técnico. Disponível em:
<http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/manual-tecnico-gas-liquefeito-petrobras-assistencia-tecnica-petrobras.pdf>. Acesso em 26 out. 2016.

PORTELLA, José Antonio; EICHELBERGER, Luiz. **Secagem de grãos**. 1ª ed. Passo Fundo: Editora da EMBRAPA, 2001.

PRECCI, Roberto Lopes; SOBRINHO, José Cardoso; SILVA, Juarez de Sousa e; SILVA, Jadir Nogueira da. **Fontes de energia para secagem**. Disponível em:
<ftp://ftp.ufv.br/dea/poscolheita/LIVRO%20SECAGEM%20E%20ARMAZENAGEM%20ODE%20CAFE/capitulo4.pdf>. Acesso em: 27 out. 2016.

Reflorest.mt Florestal. Imagem Figura – 8. Disponível em:
<http://reflorestms.com.br/lenha-e-cavaco/>. Acesso em: 2 nov. 2016.

RIBEIRO, Ivano; VICARI, Cristian Carlos. **Análise de Viabilidade Econômica para Secagem de Milho com Gás Liquefeito de Petróleo**. Artigo, UNIOESTE, Cascavel, 2005. Disponível em:
<http://www.unioeste.br/campi/cascavel/ccsa/IVSeminarario/IVSeminarario/Artigos/07.pdf>. Acesso em 21 set. 2016

RODIGHERI, Honorino Roque; DA SILVA, Helton Damin; TUSSOLINI, Elson Luiz. **Indicadores de Custos, Produtividade e Renda de Plantios de Eucaliptos para Energia na Região de Guarapuava, PR**. Comunicado Técnico 179. Embrapa, Colombo – PR, 2007.

SARTORI, José Aparecido. **Qualidade dos grãos de milho após o processo de secagem**. Dissertação em Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2001.

SCHÄFER, Marcio Geraldo. **Paraná Silos**. Representante Comercial Kepler Weber.

SILVA, Claudinei Augusto da. **Estudo técnico-econômico da compactação de resíduos madeireiros para fins energéticos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

SILVA, Luís César da. **Fornalhas em secadores cascata**. Boletim técnico, Universidade Federal do Espírito Santo, 2015. Disponível em:
http://www.agais.com/manuscript/ag0505_fornalhas.pdf. Acesso em 26 out. 2016.

SILVA, Luís César da. **Secagem de grãos**. Boletim técnico, Universidade Federal do Espírito Santo, 2005. Disponível em: http://agais.com/manuscript/ag0405_secagem.pdf. Acesso em 21 set. 2016.

SILVA, Luís César da. **Troca de calor e massa no processamento de grãos**. Boletim técnico, Universidade Federal do Espírito Santo, 2015. Disponível em: http://www.agais.com/manuscript/ag013_troca_de_calor_massa_v3.pdf. Acesso em: 25 out. 2016.

SILVA, Juarez de Sousa e; AFONSO, Adriano Divino Lima; DONZELLES, Sérgio Maurício Lopes. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Disponível em: ftp://ftp.ufv.br/dea/poscolheita/Livro%20Secagem%20e%20e%20Armazenagem%20de%20Produtos%20Agricolas/livro/mb_cord/mb1/cap5.pdf. Acesso em 12 out. 2016.

SILVA, Juarez de Sousa e; QUEIROZ, Daniel Marçal de; SOUSA, Frederico Faúla de. **Estudo da Secagem em Camada Espessa**. 2ª ed. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2008.

SOUZA, Cristiano Márcio Alves de; QUEIROZ, Daniel Marçal de; LACERDA FILHO, Adílio Flauzino de. **Simulação do Processo de secagem de sementes de milho em camada fixa**. Scientia Agrícola, v.59, n.4, p 653-660, Viçosa – MG, 2002.

STRAZZI, Sueli. **Derivados do milho são usados em mais de 150 diferentes produtos industriais**. Artigo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP. Disponível em: http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA_13_Industrializacao-artigo4.pdf. Acesso em: 9 set. 2016.

SULZBACHER, Adair Luiz; GOLTZ, Victor; VILLELA, Francisco Amaral. Procedimentos Operacionais na Secagem com Alta Temperatura. **SeedNews**, Ano XIV, N.6. Disponível em: http://www.seednews.inf.br/_html/site/content/reportagem_capa/imprimir.php?id=86%20-%20componentes. Acesso em: 4 out. 2016.

SYPERRECK, Egon Luiz. **Secagem de milho: custo e benefício entre as fontes de energia lenha e gás**. Monografia de Bacharel Ciências Econômicas, Universidade Estadual do Centro Oeste, Guarapuava, 2005

WEBER, Erico. A. **Armazenagem Agrícola**. Editora. Livraria e Editora Agropecuária, Guaíba: RS. 2001. 396 p.

WEBER, Erico. A. **Excelência em beneficiamento e armazenamento de grãos.**
Panambi: Salles, 2005. 586p.