

TELVI MARCELO BRANCO

HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS (HPAs) EM  
GRÃOS DE MILHO SUBMETIDOS À SECAGEM COM QUEIMADOR  
DE CAVACO

CASCADEL  
PARANÁ – BRASIL  
FEVEREIRO - 2021

TELVI MARCELO BRANCO

**HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS (HPAs) EM  
GRÃOS DE MILHO SUBMETIDOS À SECAGEM COM QUEIMADOR  
DE CAVACO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza

CASCABEL  
PARANÁ – BRASIL  
FEVEREIRO – 2021

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Branco, Telvi Marcelo  
Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos em Grãos de Milho Submetidos a secagem com Queimador de Cavacos / Telvi Marcelo Branco; orientador(a), Samuel Nelson Melegari de Souza, 2021.  
103 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2021.

1. Hidrocarbonetos. 2. Secagem de Milho. 3. Queimador de Cavacos. 4. Fontes Energéticas. I. Souza, Samuel Nelson Melegari de. II. Título.

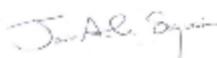
**TELVI MARCELO BRANCO**

**Determinação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) em grãos de milho submetidos à secagem com queimador de cavaco**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Fontes Renováveis e Racionalização de Energia Na Agroindústria e Agricultura, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



**Orientador(a) - Samuel Nelson Melegari de Souza**  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



**Jair Antonio Cruz Siqueira**  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



**Evandro Marcos Kolling**  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Cascavel, 10 de março de 2021

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Cascavel, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Ao Professor Samuel Samuel Nelson Melegari de. Souza, pela orientação.

Aos demais professores do Curso.

A Gilmara Raquel Trombetta pela amizade, valiosas sugestões e pela colaboração.

A COPACOL, na pessoa do Leandro Martins, que abriu suas portas para a realização deste trabalho.

À minha mãe Dirce Branco, pela vida, pelo exemplo de coragem, pelo apoio e entusiasmo durante toda a minha vida.

A Karina Casanova Branco, minha eterna companheira, pelo carinho, pela admiração e confiança.

A Deus.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produção estadual de Cereais, Leguminosas e Oleaginosas no Brasil em 2019.....	5
Figura 2. Evolução da Produção x Capacidade Estática.....	7
Figura 3. Secador de Grãos.....	14
Figura 4. Fluxo de ar em um Secador de Grãos .....	16
Figura 5. Fornalha a lenha com aquecimento direto .....	18
Figura 6. Queimador de Cavacos.....	26
Figura 7. Localização .....	36
Figura 8. Unidade da COPACOL - Colônia Melissa - Cascavel PR.....	37
Figura 9 a. Medidor de Umidade de Grãos, b - Dados da Umidade.....	38
Figura 10. Balança para Pesagem das Amostras.....	39
Figura 11 a e b. Homogeneizador de Amostras Tipo Quarteador.....	39
Figura 12 a e b. Retirada das Amostras de Grãos de Milho.....	41
Figura 13 a. Sacos de Amostras de Milho, b - Amostras Armazenadas em Geladeira .....	42
Figura 14 a. Secador de Grãos da Cooperativa, b - Instruções de Uso do Secador.....	43
Figura 15. Secador de Grãos - Sensores de Temperatura.....	44
Figura 16. Queimador de Cavacos da COPACOL.....	47
Figura 17. Controlador de Temperatura e de Alimentação do Queimador de Cavacos.....	47
Figura 18 a. Grelha de Picador de Cavaco de Lenha, b -- Dimensões da Grelha do Picador .....	49
Figura 19 a e b. Tamanhos dos cavacos de lenha.....	50
Figura 20. Montante Medido de Cavacos de Lenha.....	51
Figura 21 - Medidor de Umidade do Cavaco.....	51
Figura 22 a e b - Amostras dos Grãos de Milho Acondicionadas e Etiquetadas para Envio ao Laboratório .....	53
Figura 23. Fluxograma dos Itens Avaliados.....	55
Figura 24. Dados Ambientais do Primeiro dia de Coleta de Amostras.....	56
Figura 25. Temperaturas do secador no Primeiro dia de Coleta de Amostras.....	56

Figura 26. Umidade dos Grãos de Milho no Primeiro dia de Coleta de Amostras.....	57
Figura 27. Dados Ambientais do Segundo dia de Coleta de Amostras.....	57
Figura 28. Temperaturas do secador no Segundo dia de Coleta de Amostras.....	58
Figura 29. Umidade dos Grãos de Milho no Segundo dia de Coleta de Amostras.....	59
Figura 30. Dados Ambientais do Terceiro dia de Coleta de Amostras.....	60
Figura 31. Temperaturas do secador no Terceiro dia de Coleta de Amostras.....	60
Figura 32. Umidade dos Grãos de Milho no Terceiro dia de Coleta de Amostras.....	61
Figura 33. Dados Ambientais do Quarto dia de Coleta de Amostras.....	62
Figura 34. Temperaturas do secador no Primeiro dia de Coleta de Amostras.....	62
Figura 35. Umidade dos Grãos de Milho no Quarto dia de Coleta de Amostras.....	63
Figura 36. Dados Ambientais do Quinto dia de Coleta de Amostras.....	63
Figura 37. Temperaturas do secador no Quinto dia de Coleta de Amostras.....	64
Figura 38. Umidade dos Grãos de Milho no Quinto dia de Coleta de Amostras.....	65
Figura 39. Dados das Vazões do Ar e do Secador no Primeiro dia de Coleta de Amostras .....	68
Figura 40. Dados das Vazões do Ar e do Secador no Segundo dia de Coleta de Amostras .....	68
Figura 41. Dados das coletas de milho .....	71
Figura 42. Ocorrência de HPAs em Amostras Anteriores a Secagem.....	73
Figura 43. Ocorrência de HPAs em Amostras Posteriores a Secagem.....	74
Figura 44. Ocorrência de HPAs em Amostras de Milho, antes e depois da Secagem .....	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Demanda de Milho em Milhões de Toneladas .....	5
Tabela 2. Tabela Granulométrica de Cavacos .....	25
Tabela 3. Teores Máximos de HPAs Permitidos em Alimentos segundo o regulamento 835/11 da União Europeia .....	33
Tabela 4. Classificação de alguns HPAs de acordo com os grupos estabelecidos pelo IARC .....	34
Tabela 5. Estrutura química e efeitos tóxicos dos 16 hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) prioritários de acordo com a United States Environmental Protection Agency (USEPA) .....	35
Tabela 6. Temperatura e umidade do ar ambiente nos dias de coleta .....	66

BRANCO, Telvi Marcelo. Universidade Estadual do Oeste, Agosto – 2020.

## **Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) em Grãos de Milho Submetidos à Secagem com Queimador de Cavaco de Lenha.**

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza.

### **RESUMO**

A queima de qualquer material orgânico pode gerar compostos químicos denominados HPA's, que tem potencial carcinogênico e mutagênico. Este trabalho teve por objeto detectar a existência ou não de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) em grãos de Milho (*Zea mays L.*), após serem submetidos à secagem artificial, onde o sistema utilizado foi um secador de grãos aquecido por um queimador alimentado de Cavaco de Lenha. Para a realização do trabalho utilizou-se um secador de colunas, com capacidade de  $150 \text{ t.h}^{-1}$  e um queimador de cavacos de lenha de Eucalipto (*Eucalyptus sp.*) com capacidade de 8,6 Gcal. O estudo conta com uma revisão de literatura sobre os principais temas envolvidos no processo de secagem. O principal desafio da armazenagem de Milho é manter as propriedades físicas, químicas e biológicas dos grãos. Tanto a umidade do ar quanto a umidade dos grãos não interferiram na produção de Hidrocarbonetos. O sistema de secagem de grãos com o queimador a cavaco apresentou como vantagens a automação e diminuição na mão de obra, estabilidade e controle de temperatura, modulação da vazão de ar, economia de combustível, possibilidade de secagem de qualquer tipo de grãos, facilidade de secagem de sementes e eliminação dos riscos de incêndio, e as desvantagens, que o cavaco precisa se manter em local coberto e deve ter pedaços uniformes. Inicialmente o custo do cavaco é alto, entretanto quando diluído no processo torna-se vantajoso. Há grãos que já chegam à unidade contaminados, assim como o processo de secagem dependendo das condições pode ou não aumentar estes índices, neste estudo houve a produção de Hidrocarbonetos, mesmo que em índices abaixo dos limites internacionais, que foram utilizados como comparativos.

**PALAVRAS-CHAVE:** secagem de milho; Hidrocarbonetos; secador de grãos; queimador de cavaco; fontes energéticas e análise energética.

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

BRANCO, Telvi Marcelo. Universidade Estadual do Oeste, August – 2020.  
**Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Corn Grains Submitted to Drying  
with Wood Chip Burner.** Advisor: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari.

## **ABSTRACT**

The burning of any organic material can generate chemical compounds called HPA's, which have carcinogenic and mutagenic potential. This work aimed to detect the existence or not of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in corn kernels (*Zea mays* L.), after being subjected to artificial drying, where the system used was a grain dryer heated by a burner powered by Wood Chip. To carry out the work, a column dryer with a capacity of 150 t.h<sup>-1</sup> and a Eucalyptus wood chip burner (*Eucalyptus* sp.), with a capacity of 8.6 Gcal were used. The study has a literature review on the main topics involved in the drying process. The main challenge of corn storage is to maintain the physical, chemical and biological properties of the grains. Both the moisture in the air and the moisture in the grains did not interfere with the production of hydrocarbons. The grain drying system with the chip burner had the advantages of automation and reduction in labor, temperature stability and control, air flow modulation, fuel economy, possibility of drying any type of grain, ease of drying of seeds and elimination of fire risks, and the disadvantages, that the chip must remain in a covered place and must have uniform pieces. Initially the cost of the chip is high, however when diluted in the process it becomes advantageous. There are grains that arrive at the unit contaminated, as well as the drying process depending on the conditions may or may not increase these rates, in this study there was the production of Hydrocarbons, even if at rates below international limits, which were used as comparatives.

**KEYWORDS:** corn drying, hydrocarbons, grain dryer, chip burner, energy sources and energy analysis.

"This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001"

## ÍNDICE

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
Objetivos.....	3
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Produção de grãos no Brasil.....	4
2.2 Armazenagem do Milho no Brasil.....	6
2.3 Processos de Secagem do Milho.....	8
2.3.1 Secagem Natural.....	11
2.3.2 Secagem Artificial.....	11
2.3.2.1 Contínuos.....	12
2.3.2.2 Intermitentes.....	12
2.4 Secadores.....	13
2.4.1 Rendimento do Secador .....	16
2.5 Energia empregada na secagem .....	16
2.5.1 Fornalhas .....	17
2.5.2 Eficiência Energética .....	21
2.5.3 Trocas Térmicas na Fornalha .....	22
2.6 Combustíveis .....	22
2.6.1 Composição química .....	25
2.6.2 Pirólise .....	25
2.7 Queimadores de Cavacos .....	25
2.8 Poder Calorífico – PCI/PCS .....	26
2.8.1 Método Experimental .....	27
2.8.2 Método Analítico .....	27
2.8.3 Método Empírico .....	28
2.9 Hidrocarbonetos .....	28
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>36</b>
3.1 Localização.....	36
3.2 Materiais e Equipamentos Utilizados.....	36
3.2.1 Medidor de Umidade de Grãos.....	38
3.2.2 Balança para Pesagem das Amostras.....	32
3.2.3 Homogeneizador de Amostras .....	37
3.2.4 Amostras de Grãos.....	40

3.2.5 Secador de Grãos .....	42
3.2.5.1 Processo de Secagem de Grãos .....	45
3.2.6 Queimador de Cavacos.....	46
3.2.6.1 Combustível .....	48
3.3 Análise Laboratorial.....	52
3.4 Análise de Dados .....	54
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>55</b>
4.1 Primeiro dia .....	56
4.2 Segundo dia .....	58
4.3 Terceiro dia .....	60
4.4 Quarto dia .....	62
4.5 Quinto dia .....	64
4.6 Umidade .....	66
4.7 Temperatura.....	66
4.8 Vazão .....	68
4.9 Combustível Cavaco de Lenha.....	70
4.10 Hidrocarbonetos.....	71
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>82</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>84</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O setor agroindustrial brasileiro, principalmente no que tange às culturas do milho e a soja, no processo que vai desde a semeadura até o beneficiamento dos grãos, movimenta a economia do Brasil e garante o emprego e o sustento de milhares de pessoas, promove superávit no setor há vários anos e contribui para a melhora da balança comercial do país com as exportações, (COSTA et al., 2013).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produção de milho (*Zea mays L.*) no Brasil juntamente com a de soja (*Glycine max*), contribui com cerca de 80% da produção de grãos. A diferença entre as duas culturas está no fato de que enquanto a Soja tem sua maioria destinada à exportação, o milho tem sua produção voltada para o abastecimento interno, embora recentemente a sua exportação venha sendo realizada em quantidades expressivas, o que está contribuindo para sustentação dos preços (CONAB, 2018).

Desde meados da década de 1970 quando se iniciaram as primeiras lavouras comerciais e a expansão das fronteiras agrícolas brasileiras até os dias atuais, existe a cada nova safra, muitas pesquisas e investimentos em novas cultivares que promovem maiores produtividades, a correta adubação com agricultura de precisão, variedades resistentes à seca, a insetos e a doenças, (FREDERICO, 2013). Porém, não é o que ocorre com o pós-colheita.

O Brasil é carente em armazenagem e tem armazéns antigos, ineficientes e ineficazes sistemas de secagem de grãos. É imprescindível para a melhoria do setor de armazenagem que se torne mais eficiente e modernize o setor de pós-colheita. Com o aumento constante da produção, surge a necessidade da modernização e expansão das unidades de armazenamento, (NETO et al., 2016).

Dados da CONAB (2018) indicam que no Brasil, as perdas nas etapas de colheita e pós-colheita, podem atingir níveis superiores a 10% do total produzido e a principal causa está na carência e qualidade de armazenamento de grãos. Portanto, programas de investimentos para a secagem e armazenagem de grãos nas regiões de produção, consumo e escoamento são fundamentais para aumentar a eficiência da cadeia logística e comercialização.

A automação no setor já é uma realidade nas empresas e uma forte tendência para os próximos anos. Equipamentos automatizados eliminam o esforço físico e ainda oferecem maior segurança, diante disso, é importante que se conheça o

segmento e se entenda seus benefícios e impactos positivos, (HACKENHAAR, 2015).

Devido a comercialização e utilização dos grãos não coincidirem com a época de colheita, devemos armazená-los nas melhores condições possíveis, evitando assim perdas qualitativas e principalmente quantitativas. A maneira encontrada para atender a demanda de colheita e armazenagem adequada é a secagem artificial, que consiste em um ponto crucial no processo, por exporem os grãos a altas temperaturas e situações extremas, é a situação que exige uma alta demanda energética, SILVA (2004).

Os processos de secagem são grandes consumidores de energia e devem ser avaliados sob o ponto de vista econômico e da engenharia. Sob as condições atuais de mercados altamente agressivos, questões ligadas a velocidade e custo de secagem, qualidade e tecnologia necessárias exigem definições mais precisas de eficiência de secagem (FORTES; FERREIRA, 2004).

Além da exposição dos grãos a altas temperaturas, na secagem direta, o produto entra em contato direto com a fumaça e compostos químicos oriundos da queima do combustível de aquecimento da fornalha, podendo ser contaminados por estes. Dentre os contaminantes, destacam-se os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA), (LIMA, 2014).

Os Hidrocarbonetos têm sua origem durante a combustão da matéria orgânica, esta origem se deve a fatores como temperatura e pressão (CONDE, 2004).

Os HPAs são formados por várias classes de compostos orgânicos, e estes possuem em sua estrutura dois ou mais anéis aromáticos condensados, gerados pela combustão incompleta de matéria orgânica. São persistentes no meio ambiente e apresentam alto potencial carcinogênico e mutagênico (MELO, 1999).

A detecção dos HPAs em alimentos pode decorrer dos processos de defumação, torrefação, secagem direta com lenha, poluição do solo e da água (EUROPEAN COMMISSION, 2002).

No Brasil, já foram realizadas algumas pesquisas relacionadas à determinação desta substância tóxica em produtos cárneos, óleos, gorduras e derivados, relacionando-se com seus efeitos tóxicos no organismo humano (CAMARGO; TOLEDO, 2002). Porém a quantificação de HPA em grãos ainda é muito incipiente, limitando-se aos alimentos já processados.

Diante disto, este trabalho teve o objeto de analisar amostras de grãos de milho (*Zea mays L.*), antes e após a saída destes do secador de grãos e determinar a

presença ou não de Hidrocarbonetos nelas presentes após serem submetidos à secagem artificial, onde o sistema utilizado foi um secador de grãos aquecido por um queimador cujo combustível é o Cavaco de Lenha.

## **Objetivos**

### **a.1) Geral:**

Verificar a presença e ou ausência de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos em grãos de milho anterior e posterior a secagem artificial com combustível de cavaco de lenha.

### **a.2) Específicos:**

- a.2.1) Caracterizar o secador, suas partes e etapas na secagem do milho (*Zea mays* L.);
- a.2.2) Avaliar as condições de secagem do secador de grãos de milho, observando-se a temperatura do ar ambiente e do ar de secagem, vazão do ar de secagem no secador, consumo de combustível e umidade relativa do ar;
- a.2.3) Apresentar a granulometria do cavaco e relacionar com a eficiência da queima e produção ou não de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos;
- a.2.4) Determinar a ocorrência da formação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos produzidos no processo de secagem de grãos de milho através de análise laboratorial.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Produção de Grãos no Brasil

A verdadeira origem do milho (*Zea mays* L.), ainda não foi completamente elucidada, porém existem muitos trabalhos indicando que o seu genitor seja *Zea mays* spp. mexicana ou *Zea mays* spp. parviglumis ambos conhecidos como teosintos (SERRATOS, 2009).

No vale do Tehucan, na região onde se localiza o México, datado de 7.000 a.C., foi encontrada a mais antiga espiga de milho que se tem conhecimento. Nesta região, são encontradas populações naturais das subespécies de milho, principalmente as duas subespécies mencionadas acima, que são as mais próximas do milho (FREITAS, 2001).

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) no Brasil, os índios já cultivavam o milho antes mesmo da chegada dos portugueses, pois eles utilizavam este produto como um dos principais elementos da sua alimentação. Com a colonização, e o aumento da população, o consumo do cereal no país aumentou muito e passou a fazer parte do hábito alimentar dos brasileiros e portugueses (EMBRAPA, 2009).

A CONAB (2020), cita que o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, sendo superado apenas pelos Estados Unidos e pela China, saindo de uma produção de 82 milhões de toneladas da safra 2017/2018 para 96 milhões de toneladas colhidas na safra 2018/2019 e uma projeção de 102,3 milhões de toneladas na safra 2019/2020.

Produtos que são refinados durante seu beneficiamento, como arroz e trigo, perdem algumas de suas características, já o milho conserva sua casca, rica em fibras. Além das fibras, o grão de milho é constituído de carboidratos, proteínas, vitaminas (complexo B), sais minerais (ferro, fósforo, potássio, cálcio) óleo e grandes quantidades de açúcares, gorduras, celulose e calorias (ABIMILHO, 2012).

Na Figura 1 é apresentada a distribuição da produção de cereais, leguminosas e oleaginosas nos estados brasileiros, onde destaca-se o Mato Grosso, Paraná, e Rio Grande do Sul, sendo que as regiões Sul e Centro Oeste correspondem a 78,20% da produção brasileira (IBGE, 2020).

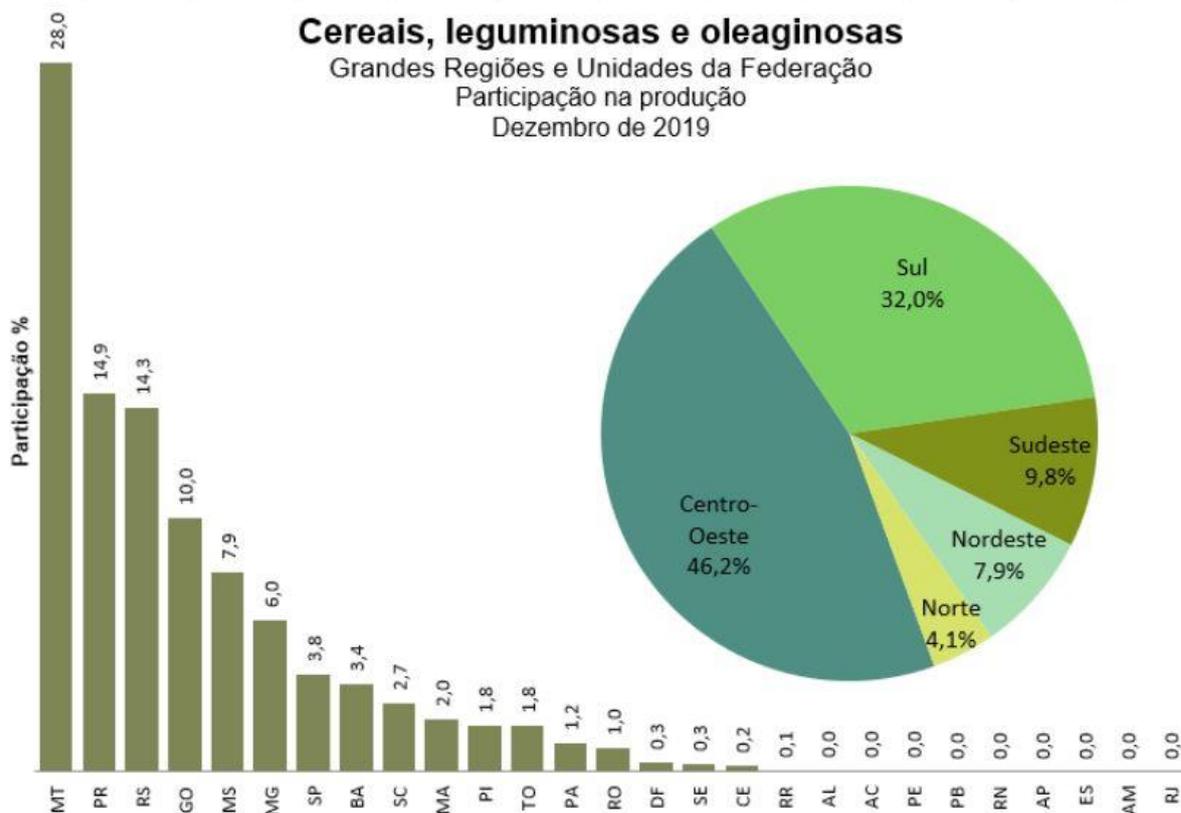


Figura 1 - Produção estadual de Cereais, Leguminosas e Oleaginosas no Brasil em 2019.  
Fonte: IBGE (2020).

Conforme Brum e Luft (2008) no Brasil, de 70 % a 80 % de todo o milho produzido é destinado à ração animal, enquanto que apenas 1,6 % são processados industrialmente para alimentação humana, Tabela 1.

Tabela 1 - Demanda de Milho em Milhões de Toneladas

Demanda	Safrá							
	10/11	11/12	12/13	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18
Consumo animal	38,28	40,29	43,45	47,18	49,45	48,07	49,72	50,68
Aves de Corte	19,13	19,80	21,48	23,52	24,58	24,08	24,62	25,16
Aves de Postura	3,27	3,40	3,66	3,92	4,07	3,99	4,38	4,53
Suínocultura	10,67	10,94	11,65	12,55	13,25	12,58	13,14	13,27
Bovinocultura	3,19	3,43	3,68	3,98	4,16	4,07	4,19	4,23
Outros Animais	2,57	2,75	2,98	3,20	3,40	3,33	3,40	3,48
Consumo Industrial	4,63	4,86	5,21	5,99	6,59	6,52	6,65	6,78
Consumo Humano	1,87	1,89	1,88	1,87	1,86	1,84	1,88	1,92
Outros Usos	2,85	3,54	4,26	4,01	4,22	3,58	3,87	3,91
Perdas	1,07	1,42	1,67	1,65	1,74	1,58	2,01	1,89
Sementes	393	404	425	381	403	443	439	451
Exportação	9,48	19,80	26,65	20,65	28,92	21,87	29,26	32,00

Fonte: ABIMILHO (2018).

Ainda segundo os autores, do milho destinado ao consumo animal, 54,8 % é utilizado no setor avícola, 36,1 % na suinocultura, 7,2 % na pecuária e 1,9 % no setor de pequenos animais, como cães e gatos, sendo que este último vem crescendo no país. Na tabela 1, temos a demanda brasileira de consumo de milho no ano de 2018.

Na cultura da soja, o Brasil é o segundo maior produtor mundial na temporada 2018/2019, a oleaginosa apresentou crescimento na área plantada de 1,9 % em relação à safra anterior, correspondendo ao plantio de 35,8 milhões de hectares e uma produção estimada em 118,8 milhões de toneladas, tendo a sua grande maioria destinada à exportação (CONAB, 2018).

## **2.2 Armazenagem do Milho no Brasil**

Após a colheita e a secagem dos grãos de milho, estes devem ser armazenados em lugares apropriados para que não ocorra alterações na sua qualidade.

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura FAO (2015), durante o ano, milhões de toneladas de produtos, ou seja, de 10 a 15 % da produção, sendo: cereais, raízes, frutas e hortaliças serão perdidos em países em desenvolvimento. Devido à falta de técnicas, instalações de armazenamento inadequadas, danos causados por insetos, roedores e outras pragas e problemas relacionados à comercialização, logística e transporte.

De acordo com Elias (2009) a armazenagem é o processo de guardar o produto, associada a uma sequência de operações, tais como limpeza, secagem, tratamento fitossanitário, transporte, classificação, dentre outros, com o intuito de preservar as qualidades físicas e químicas da colheita até o abastecimento.

Tal importância se observa no vigor e na qualidade dos grãos, para a preservação das características no processamento e das propriedades nutritivas como alimento que somente se consegue com boa armazenagem (BROOKER et al., 1992).

Conforme a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) a capacidade estática de armazenagem de um país deve ser igual ou superior a 1,2 vezes a sua produção agrícola anual. Desta forma, seria necessária uma capacidade estática de mais de 250 milhões de toneladas, conferindo ao sistema de armazenagem e beneficiamento brasileiro uma grande defasagem, o que implica

em perdas qualitativas e quantitativas do produto final FAO (2015).

Segundo a CONAB (2018) a capacidade estática em nível de fazenda no Brasil está em 15 % do total, enquanto em outros países temos 65 % nos Estados Unidos, 40 % na Argentina e chegando a 80 % no Canadá. Ainda segundo a CONAB (2018) a armazenagem em nível de fazenda implica em uma redução da exposição do produto a céu aberto, reduz a exposição do produto a condições de armazenamento deficiente como silos bolsas e por fim reduz o tempo de exposição dos grãos às condições da carroceria de caminhões.

No Brasil, a capacidade estática de armazenagem de grãos é de aproximadamente 162 milhões de toneladas, sendo que a produção de grãos é de aproximadamente 226 milhões de toneladas CONAB (2018). A evolução desta produção em relação à capacidade estática de armazenamento é na Figura 2.

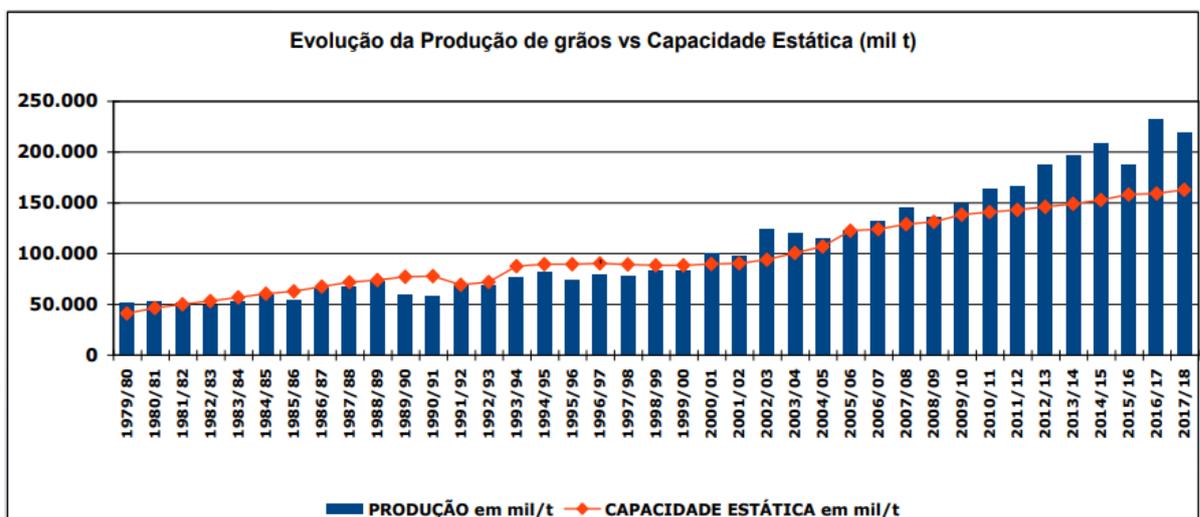


Figura 2 - Evolução da Produção x Capacidade Estática de Armazenagem no Brasil.

Fonte: CONAB (2018).

Logo após a colheita, os produtos devem ser destinados ao local de armazenamento e como são produzidos em grande escala, são acondicionados em silos e ou armazéns (CORADI et al., 2015).

As unidades armazenadoras e beneficiadoras de grãos estão presentes no escoamento da safra destes produtos. Durante este processo, para a melhora de comercialização, estas unidades necessitam operar com diversos processos que vão desde a retirada de impurezas, a redução da umidade para conservar o produto e a facilidade no modelo de transporte (FERRARI, 2006).

Quando se trata de grãos, perdas quantitativas e ou qualitativas, de várias proporções podem ser ocasionadas dependendo da forma que o produto foi

armazenado e da estrutura física dos silos e armazéns. Estas perdas também podem ocorrer tanto na colheita como em qualquer etapa do sistema pós-colheita, ou seja, no transporte, no manuseio, na secagem, no armazenamento, no processamento, na comercialização e nos pontos finais de distribuição aos consumidores (CORADI et al., 2015).

O processo de armazenamento de grãos, no Brasil, ainda é pouco estudado, sendo necessário um maior campo de desenvolvimento de pesquisas deste setor e suas particularidades, a fim de evitar perdas quantitativas de grãos e manter a qualidade dos mesmos desde a colheita até o seu destino (SCHUH et al., 2011).

D'Arce (2008) cita algumas das vantagens do armazenamento de grãos:

- Diminuição das perdas quantitativas e qualitativas que podem ocorrer no campo, pelo atraso da colheita ou durante o armazenamento temporário em locais inadequados;
- Economia do custo de transporte, já que os valores de fretes aumentam significativamente no pico de safra. Se o armazenamento fica próximo à lavoura, reduz-se o transporte e este poderá ser feito depois para os outros armazéns, com a secagem e a limpeza do produto evita-se o transporte de impurezas e da água do produto úmido.
- Maior rendimento na colheita por não se ter restrição de horário de funcionamento das empresas e evitar filas de caminhões nas unidades maiores;
- Melhor qualidade do produto, obtendo-se uma melhor secagem em quantidades menores;
- Obtenção de financiamento por meio das linhas de crédito específicas para a pré-comercialização;
- Disponibilidade do produto para comercialização na melhor condição;
- Menor dependência do suprimento de produtos de outros locais;
- Aumento do poder de negociação dos produtores na escolha da época de comercialização dos seus produtos.

Durante o armazenamento dos grãos não se consegue melhorar sua qualidade, o máximo que se consegue é mantê-la, sendo assim, somente boas práticas de armazenamento conservam a qualidade física e fisiológica dos grãos (BAUDET; VILELA, 2000).

### **2.3 Processos de Secagem do Milho**

Quando os grãos atingem o máximo de reserva, a máxima germinação, vigor e acúmulo de matéria seca afirma-se que atingiu o ponto de maturação fisiológica. Porém, nem sempre a umidade é ideal para a colheita e armazenamento, e permanecendo na lavoura aguardando esta condição ficarão expostos às condições climáticas ocasionando perdas quantitativas e qualitativas (MIRANDA et al., 1999).

A secagem de grãos é um processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem. A remoção do teor de água deve ser feita a nível tal que os grãos permaneçam em equilíbrio com ar do ambiente onde serão armazenados (SILVA et al., 2000).

Este processo deve ocorrer de maneira a preservar a aparência e a qualidade nutritiva dos grãos como alimento e sua viabilidade como semente (SILVA et al., 2000).

Lacerda Filho (1998) diz que para permitir a preservação do produto, durante um período mais longo de tempo, em um ambiente natural, o método mais viável economicamente e de processamento é a secagem dos grãos.

O processo mais utilizado para garantir a qualidade e estabilidade dos grãos é sua secagem, pois a retirada da água do material diminui a atividade biológica e as alterações químicas e físicas que podem ocorrer durante o armazenamento, (RESENDE et al., 2008).

Oliveira Filho (1986) cita que na secagem de grãos, o método mais utilizado é a secagem em altas temperaturas, e que o consumo de energia neste método de secagem pode chegar a 60 % ou mais do total de energia consumido na produção e processamento do produto. Portanto, precisa-se de uma otimização de uso de fontes energéticas convencionais, não se esquecendo de ao mesmo tempo, fomentar o desenvolvimento de estudos e usos de fontes renováveis de energia.

Ao receber os cereais, sendo em sua maioria com umidade acima do recomendado para o armazenamento, o produto passa por etapas de beneficiamento.

Os grãos, logo após a colheita, possuem elevado teor de impurezas, oriundas da própria lavoura, o que o torna inadequado para o armazenamento e fora dos padrões de comercialização, por gerar descontos (WEBER, 1998).

Estas impurezas que são palhas, sabugos, terra, outras sementes e detritos do próprio milho, atrapalham a passagem dos grãos pelos transportadores, reduzem a capacidade das máquinas de limpeza e ocasionam problemas na secagem, além de um armazenamento ineficaz (TEIXEIRA et al., 2003).

Após a secagem, se faz necessário mais uma operação de limpeza, pois é essencial separar impurezas remanescentes da pré-limpeza e as produzidas durante a secagem. Esta operação visa uma separação rigorosa de todos os materiais indesejáveis ao armazenamento, como sementes ou grãos de outras espécies, sementes defeituosas e imaturas, sementes ou grãos quebrados (SILVA et al., 1995).

São utilizadas máquinas de limpeza, nestas máquinas, a escolha das peneiras que serão utilizadas para a retirada das impurezas deve ser feita de forma correta, pois o tamanho do furo varia conforme a umidade e tipo de produto. Estas máquinas também possuem regulagem no fluxo de ar do ventilador, para retirada de produtos finos, e deve ser ajustado adequadamente para evitar perda de grãos (BRAGANTINI; VIEIRA, 2004).

Caso ocorram erros na escolha no tamanho do furo das peneiras, na regulagem da velocidade do ar do exaustor, de oscilação das caixas de peneiras e do sistema de aspiração pode acontecer que grãos, meio-grãos ou suas partes sejam descartados como impurezas, gerando quebras. Assim sendo, nas etapas de pré-limpeza e limpeza, conhecimento e experiência estão relacionadas aos cuidados que devem ser dispensados a regulagem e operação das máquinas de pré-limpeza e limpeza (COSTA, 2012).

Segundo Kolling et al. (2012) um manejo adequado das etapas de limpeza e secagem garante uma melhor eficiência do sistema de beneficiamento e secagem e contribui na manutenção da qualidade final do produto. Para isto deve-se ter acompanhamento técnico, experimental e de pesquisa das etapas de beneficiamento (SCHUH et al., 2011).

Com relação ao milho o agravante é ainda maior, principalmente na região Sul do Brasil e sul do estado do Mato Grosso do Sul, onde o Milho é plantado na chamada segunda safra sendo sua colheita no inverno, justamente onde se tem as menores temperaturas e as maiores Umidades Relativas do Ar, gerando um maior custo de energia elétrica e maior consumo de combustível nas fornalhas para o processo de secagem (ELIAS, 2002).

Os danos mais comuns, ocasionados quando a secagem por ar aquecido não é devidamente controlada, são alterações de cor da epiderme do grão, formação de crosta periférica, perda de peso e matéria seca, redução da integridade física dos grãos, diminuição da digestibilidade das proteínas, desestruturação do amido, suscetibilidade à incidência de defeitos e redução da conservação, além do

desperdício de tempo e de energia (ELIAS, 2002). Estes danos se manifestam após a secagem e também podem ocasionar fissuras que diminuem a resistência do milho ao armazenamento, impossibilitando a armazenagem por um período maior (RESENDE et al., 2008).

Para tanto a Secagem, que é feita em secadores apropriados de grãos e pode ser entendida como a operação utilizada para reduzir o teor de umidade do produto a nível adequado à sua armazenagem e comercialização. A operação de secagem depende do combustível utilizado, modelos de secadores e finalidades comerciais dos grãos (SILVA, 2005).

A secagem pode ser entendida como o aumento da temperatura do ar, que será insuflado a passar pelos grãos de milho, gerando um gradiente ou uma diferença de temperatura e retirando a umidade destes, ainda para Park (2007) a quantidade de água presente no sólido é chamada de umidade e a secagem é a remoção de uma substância volátil, comumente, mas não necessariamente água, de um produto sólido.

Para Silva (2005) a secagem dos grãos propicia a redução do teor de água a níveis adequados para o armazenamento destes produtos, assim reduzindo a atividade fúngica e mantém-se a qualidade do cereal. Porém é imprescindível o controle e cuidado com a temperatura no processo de secagem, para garantir a integridade dos grãos.

Segundo Elias (2009) a secagem dos grãos pode ser realizada por diversos métodos, podendo ser natural, natural melhorada e secagem artificial ou secagem forçada sendo que esta última pode ser estacionária, convencional contínua, intermitente e seca aeração.

### **2.3.1 Secagem Natural**

A secagem natural, muito utilizada antigamente, principalmente por produtores de café, é o processo de secagem que utiliza a radiação solar. Possui um custo muito baixo, por não utilizar equipamentos mecânicos e nenhum tipo de combustível. Bastante utilizado por pequenos produtores para secar feijão e milho, sua maior desvantagem é a necessidade de clima adequado e de espaço físico como os terreiros, além de mão de obra para espalhar os produtos (SILVA, 2005).

### **2.3.2 Secagem Artificial**

O sistema de secagem artificial é caracterizado pela utilização de processos

ou equipamentos mecânicos. Neste sistema de secagem pode-se reduzir o tempo de operação, e um controle que permite a manutenção da qualidade do produto (SILVA, 2000).

Pela rapidez e pela agilidade no processo é o método mais econômico para manutenção da qualidade de produtos agrícolas. O sistema de secagem natural é limitado pelas condições ambientais, isto faz com que se elevem o período de secagem e a possibilidade de deterioração do produto. Sendo assim, comparado ao artificial, o sistema natural torna-se ineficiente e pode proporcionar perdas na qualidade do produto (CARDOSO SOBRINHO, 2001).

O método artificial utiliza meios mecânicos para o processo de secagem. Aproveitando-se de equipamentos chamados Secadores de grãos. Esta secagem artificial pode ser em altas, médias ou até em baixas temperaturas. Os secadores apresentam diferentes modelos, variando em função do combustível utilizado para aquecimento do ar, diferente movimentação do ar e dos grãos (WEBER, 2005). E ainda segundo o mesmo autor, quanto ao sistema de secagem artificial, podem ser contínuos ou intermitentes.

Umidade relativa do ar ambiente, temperatura do ar ambiente, a temperatura e fluxo do ar de secagem, a umidade inicial e final do grão, o fluxo do produto no secador estão relacionados com a velocidade de secagem e com a qualidade final dos grãos secos (SILVA et al., 2000).

### **2.3.2.1 Contínuos**

O produto a ser secado passa uma única vez pelo secador, entrando pela parte superior e com uma única passada, já é descarregado, e uma nova quantidade de produto vai entrando continuamente pelo secador. Só consegue-se secar continuamente quando o produto está com umidade não muito alta, geralmente em torno de 20% de umidade no caso de soja e milho (SILVA, 2005).

### **2.3.2.2 Intermitentes**

Quando os teores de umidades do produto excedem a 20%, não se consegue a secagem com somente uma passada pelo secador, então se repete a operação e o produto que sai debaixo retorna por um elevador à parte superior do secador, passando novamente pela câmara de secagem até que atinja a umidade requerida e seja descarregado (SILVA, 2005).

Segundo Afonso (2011) a secagem intermitente consiste em utilizar a secagem artificial com alta temperatura, com o produto passando pelo secador até o produto atingir o teor de umidade recomendado, transferindo o produto seco e frio/quente para o sistema de armazenagem.

## 2.4 Secadores

O processo de secagem depende dos secadores e de sua operação. Estes são equipamentos ditos térmico/mecânicos e dentro do conjunto, merecem bastante atenção. Para obter um bom rendimento de secagem são necessários uma boa e dimensionada fornalha, o ciclone de captação bem regulado, e um exaustor que produza um volume de ar suficiente, pois o ar é um dos itens principais na secagem (PUZZI, 1986).

O teor de umidade inicial e final do produto a ser seco, a temperatura do ar de secagem, a resistência oferecida ao fluxo de ar (vazão), a temperatura e umidade relativas do ambiente, a natureza da fonte de energia da fornalha, o sistema de carga do secador e as características dos ventiladores do secador são os principais fatores que interferem no desempenho e rendimento dos secadores (SILVA et al., 2000).

Para uma melhor secagem, os secadores devem operar com temperaturas do ar de secagem superiores à temperatura ambiente, e segundo Silva et al (2000), eles podem ser classificados por dois critérios:

a) Quanto ao sentido dos fluxos do ar de secagem e da massa de grãos.

Neste caso podem ser: Leito fixo, fluxos cruzados, fluxos contracorrentes, fluxos concorrentes e fluxos mistos;

b) Quanto à forma de funcionamento: Contínuos ou Intermitentes.

Um secador é formado pelas partes a seguir: um funil de carga que é por onde o grão a ser seco é recebido e distribuído uniformemente na câmara de secagem; uma torre de secagem, formada por painéis e dutos abertos ou fechados intercalados. O secador pode ser de cavaletes (mais antigos) ou em colunas, por onde passa a massa de grãos verticalmente e recebendo o fluxo de ar quente aquecido na fornalha e insuflado no secador, que proporcionará a secagem destes grãos (SILVA, 2005).

Alguns modelos de secadores possuem venezianas laterais para a entrada de ar que possibilitam a mistura do ar ambiente com o ar aquecido proveniente da fornalha, resultando uma mistura e vazão de ar que melhora o processo de secagem e por último um sistema de descarga dos grãos. Estas podem ser eclusas,

pneumáticos ou de bandejas, conforme o fabricante ou modelo do secador (SILVA, 2005) conforme a Figura 3.

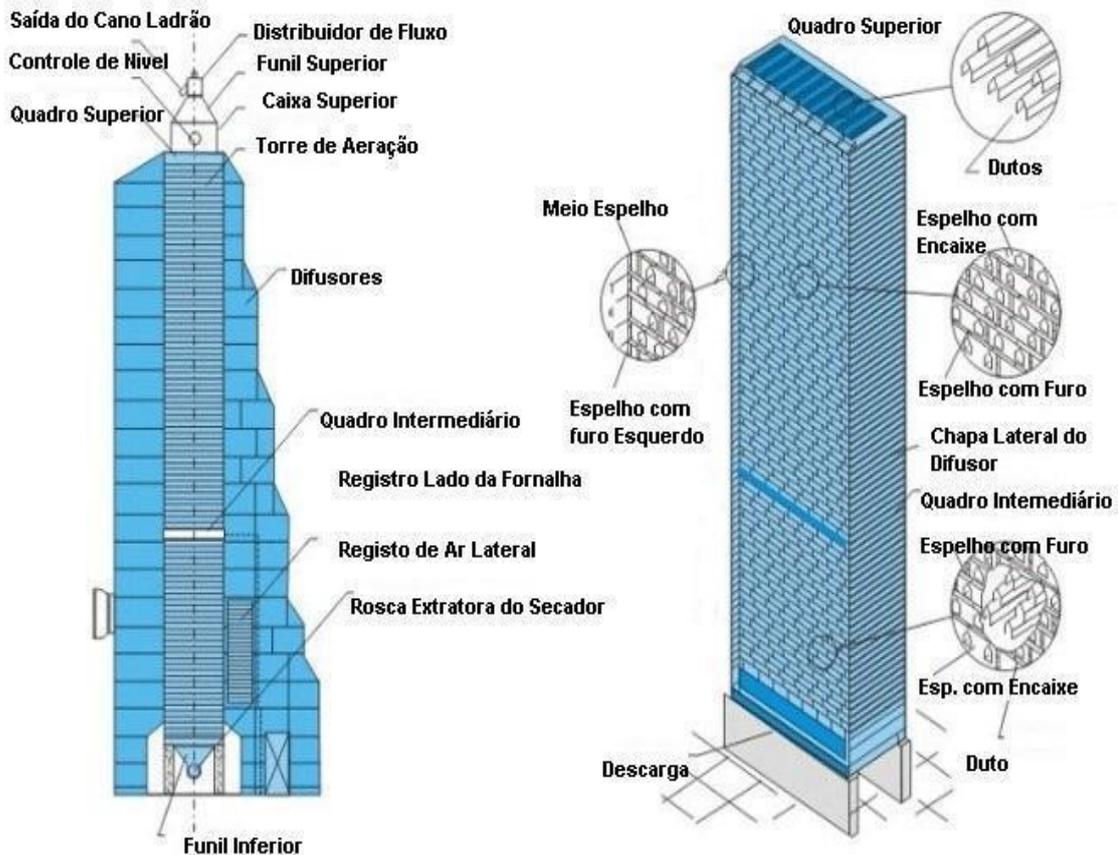


Figura 3 - Secador de grãos; a) partes externas b) partes internas  
Fonte: Fábrica do projeto (2020).

Os secadores de grãos apresentam sensores para monitoramento das temperaturas internas e do ar de secagem, estes devem ser monitorados constantemente. Os sensores são colocados em três ou quatro pontos dentro do secador conforme o tamanho e o fabricante. Normalmente se localizam na entrada do ar de secagem medindo a temperatura deste ar, um pouco mais acima na massa de grãos, medindo a temperatura a qual os grãos estão submetidos e no ar de saída do secador, para controlar o ar de exaustão. Estas temperaturas variam de acordo com o produto e sua finalidade e em função de condições ambientais (SILVA, 2005).

Segundo Oliveira (2008) a secagem é influenciada por fatores extrínsecos e intrínsecos. Os fatores extrínsecos são:

- Fluxo de ar na massa de Grãos (volume e movimento do ar);
- Fluxo do produto (Grãos em movimento);
- Temperatura (ar de secagem na massa de Grãos);
- Temperatura e umidade relativa do ar ambiente.

Ainda segundo este mesmo autor cada um desses fatores interfere na secagem da seguinte maneira:

- a) Quanto maior o volume de ar que passa pelo produto mais rapidamente ocorre à secagem;
- b) Quanto maior a temperatura do ar que passa entre os grãos mais umidade será carregada deles;

Silva et al. (2000) cita que o ar que passa entre os grãos têm a função de absorver a umidade periférica destes grãos, carregando para fora da massa, isto quer dizer, que quanto maior o volume de ar em metros cúbicos de ar e de massa de grãos/minuto ( $m^3$  de ar. $m^{-3}$  de massa de grãos.minuto $^{-1}$ ), maior será o rendimento de secagem, ou seja, menos tempo de secagem com menor perda.

A temperatura do ar de secagem tem duas funções: reduzir a umidade relativa do ar de secagem e acelerar o carregamento de umidade interna dos grãos, então a massa de grãos em movimento facilita a secagem, pois a realiza de maneira uniforme e homogênea (OLIVEIRA, 2008).

Ainda Oliveira (2008) afirma que dentro do secador o volume de ar entrará pelos seguintes locais:

- Janelas dos cinzeiros da fornalha, chamado de ar primário;
- Janelas do ciclone chamado de ar secundário;
- Algumas fornalhas podem ter também janelas, depois da câmara de combustão e antes do ciclone para mistura do ar;
- Janela persiana para regulagem do ar no ciclone;
- Janelas/Persianas da câmara fria diretamente no secador.

Para Oliveira (2008) os fatores intrínsecos que influenciam na eficiência da secagem são, Figura 4:

- a) Equilíbrio do secador;
- b) fornalha;
- c) ciclone;
- d) regulagem do secador;
- e) limpeza e manutenção do secador;
- f) qualidade do combustível.

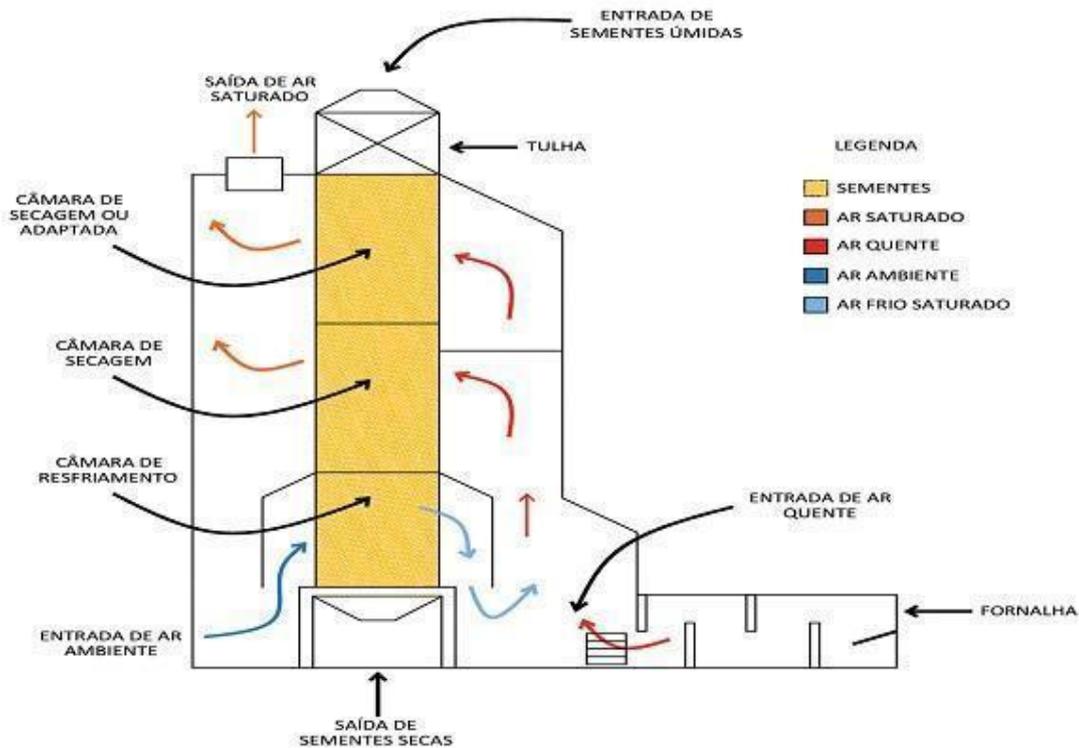


Figura 4 - Fluxo de ar em um Secador de Grãos. Fonte: Fábrica do projeto (2020).

#### 2.4.1 Rendimento do Secador

Alguns fatores podem afetar o rendimento da secagem, como o tipo de produto a ser seco, a umidade de entrada e de saída deste produto, a temperatura de secagem, a temperatura e a umidade relativa do ar além do tipo de combustível utilizado na fornalha (WEBER, 1998).

Ribeiro e Viccari (2005) afirmam que a quantidade de água retirada de um produto é expressa pela seguinte equação:

$$P_i = P_f \times (100 - U_f / 100 - U_i) \quad \text{Eq. 1}$$

$P_i$  – Peso Inicial

$P_f$  – Peso Final

$U_f$  – Umidade Final

$U_i$  – Umidade Inicial

A temperatura fica na dependência do teor de umidade inicial do grão. Nos grãos mais secos pode ser utilizada uma temperatura mais alta (PUZZI, 1986).

#### 2.5 Energia Empregada na Secagem

Tanto na agricultura como nas indústrias nas cidades, cada vez mais formas

de energia são necessárias para o desenvolvimento. Considerada uma energia renovável, o uso da madeira na geração de energia vem crescendo continuamente ao longo da última década em todo mundo, incentivado principalmente pelas questões ambientais, já que reduz as emissões de gases nocivos à atmosfera e como renovável diminui o uso de outras fontes poluentes (MULLER, 2005).

Nos secadores de grãos, para o aquecimento do ar de secagem é necessária uma energia térmica muito alta. Estes equipamentos têm nas Fornalhas a principal fonte de energia térmica e nelas se busca a queima completa de combustível. Sendo que a secagem no beneficiamento de Milho, em especial, pode representar até 50% ou mais do consumo total de energia (LOPES, 2002).

### **2.5.1 Fornalhas**

Oliveira Filho (1986) diz que na fornalha é onde ocorre a queima do combustível, ou seja, onde a energia química potencial do combustível, no caso a lenha, transforma-se em energia térmica. Lopes et al. (2000) cita que são dispositivos projetados buscando assegurar a queima completa do combustível, de modo eficiente e contínuo, em condições que permitam o aproveitamento da energia térmica liberada da combustão, obtendo-se maior rendimento térmico.

Silva (2005) seguindo o mesmo raciocínio cita que as fornalhas são projetadas para a queima completa de combustível, buscando um aproveitamento completo do combustível e a liberação de energia térmica para o sistema.

Segundo Silva et al. (2000) uma combustão eficiente e completa ocorre quando todos os elementos químicos dos combustíveis resultantes do processo de queima são totalmente transformados em dióxido de carbono, água e calor.

As fornalhas podem ser classificadas como sendo com fogo direto conforme apresentado na Fig. 5, em que os gases resultantes da combustão são misturados com o ar ambiente e insuflados diretamente na massa de grãos; e de fogo indireto, onde os gases provenientes da combustão passam por um trocador de calor que aquece o ar de secagem, sendo assim sem contato com a massa de grãos (CARVALHO; LACAVA, 2003).

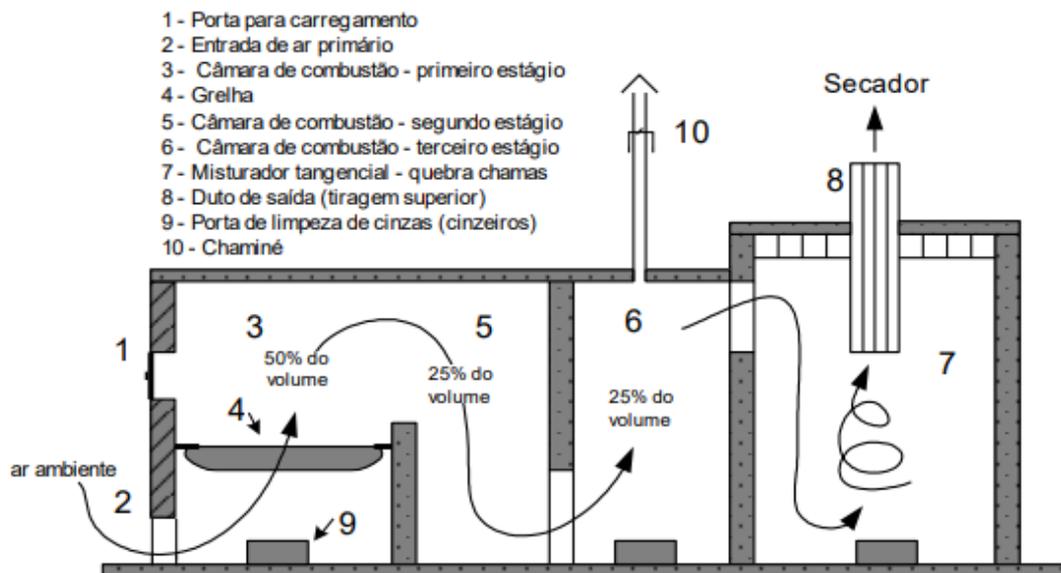


Figura 5 – Fornalha a lenha com Aquecimento Direto.  
 Fonte: Andrade et al. (1986).

Os principais agentes da poluição atmosférica em gases de combustão são o material particulado, o Monóxido de carbono, o Dióxido de carbono, os Óxidos de Nitrogênio e os Óxidos de Enxofre (CARVALHO; LACAVA, 2003).

Considerada o combustível mais antigo, a lenha é utilizada para produzir energia, utilizada até hoje no Brasil, entretanto, a busca por fontes alternativas de energia passou a receber uma atenção especial em virtude das vantagens que se tem em reduzir custos e impactos ambientais substituindo os combustíveis derivados de petróleo (NASCIMENTO, 2007).

A energia utilizada em sua grande maioria devido à facilidade de encontrar e baixo custo nos processos de secagem no Brasil é proveniente da queima de combustível, dentre eles a lenha (WEBER, 2005), e se comparada a outras opções como GLP e óleo diesel, a lenha apresenta um custo bastante inferior (SILVA, 2005). Assim torna-se importante realizar estudos no sentido de manter e reduzir o consumo deste recurso, considerado natural e boa fonte energética.

Como desvantagem, este combustível apresenta que o controle da temperatura do ar de secagem na queima da lenha para a secagem é bem mais difícil devido às variações na temperatura e na alimentação irregular da fornalha (AFONSO JÚNIOR, 2006).

Para Silva (2005) as principais vantagens do uso da lenha na secagem de grãos são:

1. Menor custo por tonelada, em relação à produção de energia;
2. Facilidade de utilização de mão de obra não qualificada;
3. Facilidade de armazenagem, podendo ser a céu aberto;
4. É considerado um combustível renovável;

As principais desvantagens são:

1. Exigências dos órgãos governamentais e ambientais, com planejamento de cultivo e exploração;
2. Em função da Umidade, variação do poder calorífico;
3. Difícil automação das fornalhas.

Somado às desvantagens citadas, um dos principais problemas da secagem com lenha é a geração de Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) (MARTINS et al., 1999).

Outra desvantagem é que as fornalhas projetadas e utilizadas hoje não apresentam opção de variação do combustível a ser utilizado, ou seja, não apresentam adaptação para outro combustível, pois as fornalhas são projetadas para um determinado tipo de combustível, e se usado outro resultará em mau funcionamento, consumo excessivo e um baixo rendimento de secagem, esta inflexibilidade aumenta o seu custo caso se queira alternar sistemas de secagem (SILVA, 2000).

Segundo Pera (1990) para o projeto de dimensionamento de uma fornalha eficaz deve satisfazer os seguintes requisitos:

- Permitir uma alimentação contínua e uniforme do combustível;
- Possuir aberturas, que possam ser controladas para entrada de ar primário e secundário;
- Possibilitar distribuição uniforme e turbulenta do ar na câmara de combustão;
- Assegurar a estabilidade da queima e a continuidade operacional do sistema e;
- Permitir a remoção e limpeza eficiente das cinzas.

Geralmente os sistemas para aquecimento de ar que utilizam combustíveis sólidos, como a lenha, podem possuir características semelhantes na forma de serem construídas, porém o tamanho e as entradas do ar para mistura são diferentes, também no sistema de alimentação e na saída dos produtos da combustão, sendo que estes podem ser de fluxo descendente ou ascendente (MELO, 2010).

Silva (2000) diz que as fornalhas destinadas à queima de combustíveis sólidos

picados como o cavaco, a serragem, a palha de arroz e outros, devem possuir um depósito para este combustível e um sistema de alimentação deste, além de todos os componentes essenciais para o funcionamento destas fornalhas que são específicos para cada tipo de combustível.

Segundo Melo (2010) para o dimensionamento de uma fornalha a lenha devem-se considerar alguns fatores essenciais como:

- a) o volume na câmara de combustão;
- b) na área da grelha, as aberturas de entrada de ar primário e secundário.

Cada combustível possui propriedades térmicas diferentes, portanto o tamanho e a forma de uma fornalha dependem da quantidade de calor desejada em um intervalo de tempo, além do combustível a ser utilizado.

Um dos requisitos de maior importância no projeto de fornalhas é o volume da câmara de combustão, pois toda a energia proveniente da combustão deve ser incorporada aos gases num volume suficiente para que se desenvolva a chama e se complete a combustão, antes que os gases quentes possam se exaurir (SERFATY, 2007).

Para a escolha do material na fabricação das grelhas, é importante considerar a tensão térmica da grelha, pois diferentemente da taxa de carregamento, se leva em consideração a energia térmica liberada pela queima do combustível sobre a grelha (MELO, 2010).

O dimensionamento da câmara de combustão e o tamanho da grelha de uma fornalha podem ser feitos com base nos valores de consumo de combustível e da taxa de liberação de calor (SERFATY, 2007).

Segundo Vlassov (2001) a tensão térmica cita valores entre 1.100 a 1.600  $\text{kWm}^{-2}$  para fornalhas com vazão forçada e 400  $\text{kW m}^{-2}$  para fornalhas com vazão natural. Valores acima destes recomendados podem provocar temperaturas excessivamente altas, levando à formação de escórias sobre a grelha, deformação e diminuição de sua vida útil.

O parâmetro de projeto para o dimensionamento de grelhas é que a taxa de combustão é a massa de combustível queimado por unidade de área de grelha, por unidade de tempo. (SERFATY, 2007).

Ainda segundo SERFATY (2007) a combustão completa é o processo que leva as substâncias combustíveis à sua forma mais oxidada e, a combustão incompleta é o processo no qual os produtos de combustão são constituídos, em

partes, por formas que representam oxidação parcial dessas substâncias.

### 2.5.2 Eficiência energética

Energia, meio ambiente e desenvolvimento econômico devem ser tratados da mesma maneira, pois entender a energia significa entender os recursos energéticos, suas potencialidades e limitações, para isto vários estudos têm buscado o aumento da eficiência das tecnologias de conversão de energia (HINRICHS et al., 2010).

Podemos definir a eficiência energética como a razão entre a energia disponível nos produtos da combustão e a energia fornecida à fornalha, (SILVA et al., 2005).

Na década de 1990 Saglietti (1991) realizou um trabalho para buscar comprovar a eficiência energética e pôde considerar que uma fornalha a lenha e seu balanço energético, com sistema de aquecimento indireto do ar de secagem apresentou eficiência energética com uma média de 28 %. E quanto maior o número de tubos abertos, maior foi o tempo de permanência do ar junto à fornalha, aumentando a troca de calor.

Valarelli (1991) testou com uma fornalha utilizando como combustível palha de café, um trocador de calor de duplo tubo com aletas e com grelha inclinada e obteve uma eficiência térmica de 54 %. Esta fornalha utilizou uma de 1,083 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, aumentando o ar ambiente de 23 °C a 92 °C, sendo consumidos 36 kg.h<sup>-1</sup> de combustível.

Osório (1982) estudou a secagem de café em secadores de fluxos concorrentes, utilizando temperaturas do ar de secagem de 80 °C, 100 °C e 120 °C. Concluiu-se que o secador é, energeticamente, mais eficiente quando se utilizam temperaturas mais altas entre 100 °C e 120 °C. Os respectivos valores médios foram de 4.869 e 4.759 kJ por kg de água evaporada, para café em coco com teor de água inicial de 24,7 ± 6,9 bu. e final de 10,7 ± 1,6% bu. Nenhuma das temperaturas, utilizadas neste tipo de secador, prejudicou a qualidade final da bebida.

Oliveira (1996) analisando a eficiência energética de uma fornalha de aquecimento indireto do ar de secagem, utilizando água e óleo de soja no trocador de calor. Usando a água no trocador de calor, com vazões de ar e de combustível iguais a 1,07 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e 14,4 kg.h<sup>-1</sup>, chegou à eficiência média de 30 %; usando o óleo de soja nas vazões de 1,09 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e 15,84 kg.h<sup>-1</sup>, respectivamente, chegou à eficiência média de 49 %.

Saglietti (1991) cita que produtos de consumo humano, como o café, cacau e feijão é recomendável o uso de trocadores de calor, com fogo indireto, evitando a contaminação dos produtos pelos gases de exaustão e fumaça; porém este autor cita que o uso de trocadores diminui a eficiência térmica e aumenta o custo de secagem.

### **2.5.3 Trocas térmicas numa fornalha**

Para Silva et al. (1991) uma fornalha pode sofrer perdas das seguintes formas:

- Combustão incompleta do Carbono e do Hidrogênio, que estão presentes no combustível,
- Produção de monóxido de carbono;
- Vaporização da água presente no combustível;
- Vaporização da água formada no processo de combustão;
- Transferência de calor para o meio externo.

Em algumas fornalhas que possuem um sistema de aquecimento do ar indireto, as perdas de calor para o meio exterior também consideram o calor contido nos gases da combustão e que são liberados pela chaminé (SILVA et al., 1991).

### **2.6. Combustíveis**

São substâncias ricas em Carbono e Hidrogênio que, sob condições apropriadas de temperatura e pressão e na presença de Oxigênio, participam de reações químicas onde ocorre liberação de energia na forma de calor (SAGLIETTI, 1991).

No ano de 1980, o governo brasileiro, através do Conselho Nacional de Petróleo, proibiu a utilização de combustíveis fósseis para a secagem de produtos agrícolas, então, a partir daí houve um aumento considerável na utilização da lenha como combustível e que permanece até os dias atuais, isto acarretou em uma escassez e elevação de preços deste produto (LOPES et al., 2001).

Vlassov (2001) afirma que para uma melhor queima de combustíveis sólidos finos, o melhor processo é a queima em suspensão. Deve ser inserido o combustível preparado na fornalha para que o sistema proceda à queima em suspensão, isto com uma alimentação lateral ou superior, dando condição para que toda a queima ocorra em suspensão, evitando o acúmulo e falta de oxigenação.

Esta queima deve ocorrer tomando o cuidado para que as partículas mais finas de combustível e os gases não sejam arrastados pelo ar puxado para dentro do sistema (VLASSOV, 2001).

Todo o processo de queima acontece na câmara de combustão em um tempo muito curto, isto faz com que o tempo de permanência do combustível na câmara de combustão seja muito pequeno (MELO, 2010).

Como os combustíveis sólidos se queimam a partir da superfície, deve-se aumentar a área de superfície do combustível em contato com o ar para se elevar a potência de uma fornalha (MELO, 2010).

A madeira além de uma fonte renovável é um importante produto para produção de energia térmica, e pode ainda fornecer alguns subprodutos como o cavaco de madeira ou de lenha. O cavaco é produzido por equipamentos chamados picadores, apresenta uma grande vantagem, pois toda a árvore pode ser aproveitada, inclusive galhos mais finos e ponteiros (GRUNKRAUT, 2012).

Afonso Júnior et al. (2006) afirmam que se compararmos a parcela de terra utilizada na produção de lenha para secagem no Brasil, com a produção agrícola, ela é muito pequena, por exemplo a área destinada à cultura do feijão é de 0,50 % e de 4,23 % para a cultura do café. Importante dizer que precisamos desenvolver a possibilidade de utilização de outras fontes alternativas de biomassa para secagem, como sabugo de milho, casca de arroz, restos culturais da renovação da lavoura de café e demais resíduos agrícolas.

A madeira deve ser cortada e deixada no local, quando estiver mais seca, ainda no campo, pode ser picada através de picadores móveis e realizar o transporte do cavaco assim que possível para que não corram o risco de intempéries e absorver umidade, o que afetará o seu poder calorífico (GRUNKRAUT, 2012).

O cavaco é constituído por pequenos pedaços de madeira oriundos da picagem mecânica, com um comprimento variável entre 5 e 50 mm, obtidos por estilhaçamento na direção da fibra nos picadores a disco ou em corte reto nos picadores a tambor contendo ainda partículas mais longas e uma razoável porcentagem de pedaços finos (GRUNKRAUT, 2012).

Para se determinar a umidade do cavaco é relativamente simples, já a determinação do poder calorífico é mais complexa, uma vez que deve ser feito em laboratório. No Brasil, os métodos de produção de cavaco são regidos por normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), apesar destas normas, existem características do cavaco cuja qualidade ainda não é exigida pela norma técnica brasileira, como a classificação granulométrica, ou seja, o tamanho do cavaco gerado pelo picador, o que já ocorre em países mais desenvolvidos (LIPPEL, 2014).

Ainda segundo o mesmo autor, a norma nacional não estabelece faixas de variação aceitáveis dos cavacos de madeira, como ocorre na Europa, e que podem influenciar no processo de queima na caldeira ou no queimador (LIPPEL, 2014).

Também não existe requisito para detecção de presença de metais pesados ou taxas de emissões de gases, que o mercado europeu já exige e que em algum momento será exigido aqui também, principalmente com relação a fatores relacionados a emissões de efeito estufa e hidrocarbonetos.

Segundo Nascimento (2007) com a utilização do cavaco é possível reduzir o custo da energia térmica em comparação com o uso da Lenha, pois o cavaco permite maior automação do processo gerando diminuição na mão de obra, e uniformidade de queima, o que impacta diretamente no custo final da secagem de grãos.

Sobre o tamanho dos cavacos ou a Granulometria, existe um ensaio que estabelece as dimensões de partículas e seus percentuais de ocorrência em um determinado conjunto. Utilizando este ensaio é possível determinar o tipo e o tamanho dos cavacos e prever a energia que será liberada na combustão, promovendo um fluxo contínuo do combustível no sistema de alimentação (KOLLMAN et al., 1975).

Pereira (2000) sugere que quanto menor o tamanho de uma partícula, maior é a superfície de contato da mesma. Isto significa que uma mesma quantidade de material, quanto menores forem seus tamanhos, maior é a quantidade de áreas disponíveis para reação e quanto menor for o cavaco, maior é a velocidade da queima e sua reação de combustão.

A granulometria ideal é definida em função das necessidades energéticas do sistema e das características do queimador, levando em consideração a velocidade ideal da reação de queima. Ceragioli (2013) complementa dizendo que se de um lado a diversidade de tamanhos do material favorece uma melhor acomodação no depósito do material, de outro lado a homogeneidade é mais importante no ponto de vista energético devido a algumas dificuldades que a heterogeneidade causaria.

Cavacos maiores do que o planejado para a alimentação podem dificultar o transporte do material pelo sistema, tanto no abastecimento como na carga, e podem causar entupimentos, assim como cavacos muito pequenos ou muito finos podem ocasionar variação de calor na câmara de combustão e formação de cinzas, por queimam mais rápido (GRUNKRAUT, 2012).

Lippel (2014) dimensionou alguns tamanhos de cavacos utilizados em secadores considerando por classes granulométricas e frações, conforme mostrados

na Tabela 2, posteriormente.

Tabela 2 -. Tabela Granulométrica de Cavacos

<i>Classe de Tamanho</i>	<i>Especificação</i>	<i>Fração Principal</i>
P16	Pequeno	3.15 mm<T<16 mm
P25	Médio	3,15 mm<T<25 mm
P45	Comum	3,15 mm<T<45 mm
P63	Grande	3,15 mm<T<63 mm
P100	Extra Grande	3,15 mm<T<100 mm

FONTE: Lippel (2014). (Adaptado).

### 2.6.1. Composição química

Segundo a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), a composição do combustível pode ser indicada por análise química elementar e imediata. Na análise química elementar dos combustíveis sólidos são determinados os teores de alguns elementos como Carbono, Hidrogênio, Oxigênio, Enxofre, Nitrogênio (CETEC, 1988).

A composição química é uma das propriedades mais importantes do carvão vegetal e tem grande influência no desempenho dos equipamentos que o utilizam como combustível (CETEC, 1988).

### 2.6.2 Pirólise

Pode-se caracterizar o termo Pirólise como o processo termoquímico para a transformação de biomassa e a decomposição térmica de materiais contendo carbono, na ausência de oxigênio. Sendo assim, madeira, resíduos agrícolas, ou outros tipos de materiais orgânicos se decompõem, dando origem a três fases diferentes: uma sólida, o carvão vegetal; outra gasosa e finalmente, outra líquida, comumente designada de fração pirolenhosa (extrato ou alcatrão) (BRIDGWATER, 2012).

## 2.7 Queimadores de Cavacos

Mostrado na fig.6, são equipamentos utilizados para a queima de biomassa, são constituídos por três componentes principais, sendo:

- a) Sistema de Alimentação – Pode ser automatizado, responsável pelo abastecimento de Biomassa de forma contínua e constante dentro da câmara de combustão;
- b) Câmara de Combustão – Deve ser em chapa de aço, para resistir a alta

temperatura, contém uma camada interna de material refratário que fica em contato com o fogo e outra camada de material isolante para reter as calorias;

c) Sistema de Exaustão de gases – para retirada dos gases gerados na câmara de combustão.



Figura 6 – Queimador de Cavacos. Fonte: Imtab. (2020)

## 2.8 Poder Calorífico (PCS) ou (PCI)

Os Combustíveis são substâncias ricas em Carbono e Hidrogênio que, em condições favoráveis de temperatura e pressão são capazes de, ao reagirem com o Oxigênio do ar, liberar energia na forma de luz e calor, a consequência disto são reações químicas com o Carbono (C), Hidrogênio (H) e Enxofre (S) (LOPES, 2002).

Os combustíveis são caracterizados pelas suas propriedades físico-químicas e são encontrados na forma natural ou artificial e podem também ser classificados como sólidos, líquidos ou gasosos (LOPES, 2002).

Segundo Andrade et al. (1985) o poder calorífico é dividido em superior (PCS) e inferior (PCI). Sanchez (2005) complementa que o poder calorífico é a quantidade de energia por unidade de massa que se desprende durante a combustão completa do combustível. Ainda afirma que o Poder Calorífico Superior (PCS), é quando a água proveniente da combustão é obtida na forma líquida e Poder Calorífico inferior (PCI), quando a água proveniente da combustão é obtida na forma de vapor. Já Lora et al (1997), diz que o Poder Calorífico Inferior (PCI), ao invés de Poder Calorífico Superior (PCS), quando não se considera o calor latente de condensação da umidade dos

produtos da combustão. Sendo que a diferença entre PCS e PCI é a energia de oxidação do Hidrogênio presente no mesmo.

Outros autores como Silva (1998) definem como sendo a quantidade de energia por unidade de massa (Volume/gases) liberada na oxidação de um determinado combustível.

O poder calorífico é a principal característica dos combustíveis. O Carbono e o Hidrogênio são os elementos que mais contribuem para o poder calorífico dos combustíveis. Já a água, encontrada nos combustíveis, diminui o poder calorífico dos mesmos, pelo fato de aumentar a energia necessária à pré-ignição e diminuir o calor liberado pela combustão (LOPES et al.,2001).

A determinação do Poder Calorífico Superior (PCS) pode ser feita por três métodos, o experimental, o analítico e o empírico (CETEC, 1988).

### 2.8.1 Método Experimental

Em combustíveis sólidos, pode-se utilizar calorímetro de Berthelot-Mahler, também chamado de Bomba Calorimétrica de Mahler (CETEC, 1988).

Para o seu funcionamento realiza-se uma combustão completa de uma amostra de combustível com o conhecimento de sua massa, em uma atmosfera com oxigênio abundante. Após o balanço de calor obtém-se o PCS, pois para chegar ao equilíbrio, após a combustão ocorre a condensação do vapor de água (CETEC, 1988).

### 2.8.2 Método Analítico

O método analítico é feito a partir da composição química e baseado na entalpia de reação de um corpo composto, que é igual ao somatório dos valores dos poderes caloríficos de cada um dos componentes. Este método é menos exato que o experimental, já que não leva em conta o calor de dissociação necessário para separar as moléculas dos componentes, no entanto, os valores obtidos são próximos ao método anterior (CETEC, 1988).

Para Silva (1988), o poder calorífico pode ser determinado pela equação:

$$\text{PCS} = 33.374 \cdot \text{Pc} + 141.744 \{ \text{P}^{\text{H}_2} - \text{P}^{\text{O}_2} \} + \text{Ps} \quad \text{Eq. 2}$$

8

Onde:

PCS: Poder Calorífico Superior em kJ.kg<sup>-1</sup>;

Pc: Fração de Carbono em Kg de C.Kg de Combustível  $^{-1}$

P<sup>H</sup><sub>2</sub>: Fração de Hidrogênio em kg de H<sub>2</sub>.Kg de combustível  $^{-1}$

Po<sub>2</sub>: Fração de Oxigênio em kg O<sub>2</sub>. Kg de combustível  $^{-1}$

Ps: Fração de Enxofre em kg de S. kg de combustível  $^{-1}$

Segundo Silva (1988) o Poder Calorífico Inferior (PCI) do combustível seco pode ser calculado por meio da equação a seguir, através da conhecida como equação de Dulong.

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 2450 \cdot (9 \cdot \text{P}^{\text{H}_2}) \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

PCS: Poder Calorífico Superior em kH.kg  $^{-1}$ , calculado anteriormente

P<sup>H</sup><sub>2</sub>: Fração de Hidrogênio em kg de H<sub>2</sub>.Kg de combustível  $^{-1}$

O Poder Calorífico Inferior é dado apenas pelo primeiro termo, ou seja, a energia liberada na forma de calor, para combustíveis que não possuem Hidrogênio na sua composição, o valor de PCS é igual ao PCI, porque não há formação de água e não há energia gasta na sua vaporização. Então, neste caso o PCS será sempre maior ou igual ao PCI (SILVA, 1988).

### 2.8.3 Método Empírico

Segundo Silva (1988) quando se dispõe apenas da análise química imediata, pode-se estimar o poder calorífico por meio da equação:

Para Lenha:

$$\text{PCI} = 4186,8.[4383 - 49,7.(W)] \quad \text{Eq.4}$$

Onde: W = teor de umidade, %

### 2.9 Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos:

Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) estima-se que 25 % dos grãos no mundo estejam contaminados, número considerado alto (FAO, 2008).

Os grãos podem ser contaminados nas mais diversas formas, como sementes contaminadas por fungos, através do solo, através de resíduos de herbicidas, ou ainda

no fator pós-colheita, na secagem, no armazenamento ou no processo pelo qual passou (BROOKER et al., 1992).

Para Harvey (1996) a contaminação dos grãos pode ocorrer desde a origem, isto é, no plantio como durante o transporte no processamento, que pode ser no uso de herbicidas derivados de petróleo, na tecnologia de alimentos e também durante os tratamentos térmicos severos a que estes grãos são submetidos, como a torrefação a secagem direta com madeira e a desidratação.

A contaminação de alimentos por substâncias tóxicas tem sido estudada e pesquisada nos últimos anos e diversas classes de compostos químicos de diferentes origens vêm sendo encontradas em alimentos e bebidas, dentre elas os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) (CAMARGO, 2002).

Os HPAs são oriundos da queima de combustíveis fósseis e madeira e também durante os processos que utilizam derivados de petróleo (RAVINDRA, 2008). Quanto ao seu estado físico, em condições normais de temperatura e pressão, assim como o ponto de fusão e ebulição variam conforme a quantidade de carbonos na cadeia. No estado gasoso contemplam de 1 a 4 carbonos, no líquido de 5 a 17 carbonos e no estado sólido mais de 17 carbonos (REDE OMNIA, 2021).

Quanto a sua densidade, é inferior a água, geralmente são insolúveis em compostos polares e a reatividade varia de acordo com o tipo de cadeia. As de baixa densidade são as cadeias acíclicas, já as de alta reatividade são os compostos cíclicos (cadeia fechada) com 3 a 5 carbonos na cadeia (REDE OMNIA, 2021).

Os hidrocarbonetos cíclicos são classificados de acordo com a insaturação da cadeia, são polígonos, e cada um dos vértices da figura geométrica representa um carbono. A estabilidade das cadeias carbônicas fechadas varia conforme a insaturação e tamanho da cadeia (REDE OMNIA, 2021).

Os HPAs com menor massa molar de até 4 anéis estão em sua maioria na fase gasosa, os de maior massa molar são encontrados na fase particulada, portando, os hidrocarbonetos são considerados semi voláteis em condições atmosféricas (CORRÊA, 2006).

Na combustão da matéria orgânica, o Carbono e o Hidrogênio, reagem com o Oxigênio resultando no dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e água, porém para que isto ocorra é necessário oxigênio suficiente senão o processo de combustão não se completa e parte do combustível dará origem a outros subprodutos como monóxido de carbono

(CO) e HPAs, em um processo chamado de pirólise (MEIRE et. al., 2007).

Para a formação destes compostos dependem alguns fatores como tipo da biomassa ou combustível utilizado, quantidade e qualidade de Oxigênio disponível, pressão e, principalmente, do calor, pois a concentração de HPAs aumenta linearmente na faixa de temperatura de 400 a 1000 °C (CONDE, 2004).

Os HPAs são formados a partir de compostos como os hidrocarbonetos/carboidratos, os peptídeos e o gás metano; além destes, também compostos insaturados e estruturas cíclicas podem colaborar para a sua formação (EVANGELISTA, 2000).

Os Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), considerados compostos com alta toxicidade e persistentes pertencem à mesma classe de poluentes orgânicos que grande parte dos HPAs, estes possuem como características principais a alta hidrofobicidade (uma propriedade exibida pelos sólidos de repelir água, isto é, resistir a serem molhados por tal líquido), baixa reatividade no meio ambiente e grande tendência de se acumular nos tecidos dos organismos vivos (SCHWARZEMBACH et al., 1991).

Os HPAs são considerados como um dos principais agentes cancerígenos, por se encontrarem facilmente distribuídos no meio ambiente, e o corpo humano interage estes compostos via inalação, via ingestão ou absorção cutânea (TROCHE, 2003). Apresentam uma classe importante destes compostos devido a sua alta toxicidade, potencial carcinogênico e mutagênico são considerados poluentes de controle prioritário (POLAKIEWICZ, 2008).

Os HPAs e seus derivados estão entre aqueles poluentes ambientais que apresentam atividade cancerígena, carcinogênica e mutagênica (IARC, 1983), podendo provocar tumores em animais e mutação em bactérias (EUROPEAN COMMISSION, 2002).

Os alimentos podem ser contaminados a partir de HPAs disseminados no meio ambiente, desde o ar atmosférico, o solo e ou a água, pode ocorrer ainda durante o processamento e o cozimento (WANG et al., 1999).

As principais etapas de processamento industrial de alimentos são a secagem, defumação, e as de cozimento que utilizam altas temperaturas, também se têm outras que envolvem ações de grelhar, assar e fritar (WANG et al., 1999).

Um dos contaminantes que pode ser encontrado nas sementes de soja e de

grande importância toxicológica para os humanos são os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos devido à poluição atmosférica, a água contaminada, a poluição do solo, a aplicação de fertilizantes e herbicidas e ao processo de secagem dos grãos, que passa pelas etapas de geração e calor utilizado, presença adequada de gases, dimensionamento adequado de fornalha, tempo e temperatura de contato, dentre outros, avaliados em sementes de soja, ainda pouco explorado, porém de extrema importância e necessidade (TEIXEIRA et al., 2007; CAMARGO et al., 2011; CAMARGO et al., 2012).

O contato humano com os HPAs pode ocorrer por diferentes formas, como inalação, contato com a pele ou por ingestão. A ação exercida pelos HPAs é ativada durante o seu processo metabólico, visando à formação de compostos hidrossolúveis para facilitar a sua excreção. O mecanismo de eliminação envolve a formação de epóxidos, seguidos de compostos polihidroxilados, os quais são mais solúveis em água, viabilizando a sua eliminação pela via urinária. Um destes intermediários pode reagir com a guanina do DNA e formar um aduto dando origem a processos de tumoração (LOPES et al., 1996).

Ainda não existem limites oficiais para os teores de HPAs em alimentos. Na falta destes limites, alguns países passaram a criar limites próprios. Para o monitoramento destes hidrocarbonetos países europeus como Alemanha, Áustria, República Tcheca, Suíça, Eslováquia, Itália e Polônia adotaram um limite tolerável de benzo(a)pireno de 1 µg/Kg em alimentos defumados (SIMKO, 2002).

São considerados classificados os dezesseis Hidrocarbonetos principais de acordo com a União Européia (UE) e pela United States Environmental Protection Agency (USEPA) como poluentes prioritários de acordo com a toxicidade e a frequência de exposição em seres humanos (DEBESTANI, 1999). Destes, sete são identificados pela International Agency for Research on Cancer – IARC como cancerígenos para animais e pela USEPA como potencialmente cancerígenos para seres humanos, sendo eles: pireno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, dibenzo(a, h)antraceno, indeno(1, 2, 3-cd)pireno, benzo(b)fluoranteno e benzo(k)fluoranteno (USEPA, 1998).

Nos Estados Unidos, a Associação de Alimentos em Conserva - Snack Food Association (SFA) adota que os aromas/aromatizantes dos condimentos utilizados na produção de alimentos industrializados não devam possuir teores de benzo(a)pireno

e benzo(a)antraceno superiores a 10 µg/Kg e 20 µg/Kg, respectivamente (SIMKO, 2002). Os Estados Unidos, através do FDA - Food and Drug Administration, não estabelece limites de HPAs para nenhum alimento. A legislação é apenas na redução desses contaminantes em questões ambientais (JAQUES et al., 2007).

No Brasil, têm-se dois órgãos responsáveis pela legislação e fiscalização brasileira, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), ambos ainda não estabeleceram limites para a maioria dos alimentos passíveis de contaminação por HPAs.

O que existe no país são algumas Portarias e Resoluções Normativas da ANVISA que determinam limite de B(a)P (benzo(a)antraceno) somente para alimentos que passaram por processo de defumação, além da água e gelo. Portanto, a Resolução RDC nº2/2007 estabeleceu limite de 0,03 µg/kg para B(a)P (benzo(a)antraceno) em alimentos adicionados de aroma de fumaça, e a Portaria nº518/2004, juntamente com a Resolução RDC nº274/2005, estabeleceram limite de 0,7 µg/L para água envasada e gelo (ANVISA, 2007).

A legislação existente para HPAs em alimentos no Brasil é bastante limitada, há alguns limites estabelecidos e somente o B(a)P é considerado, esquecendo-se que os HPAs são encontrados com mais de um composto, em processos como defumação, água e gelo. Os limites mais severos estão relacionados à proteção ambiental.

Para a Agência Internacional de Pesquisas sobre o Câncer (IARC) os HPAs são classificados de acordo com a evidência de carcinogenicidade em humanos e em animais experimentais. Na Tabela 10 é apresentada a classificação de alguns HPAs de acordo com a evidência de sua carcinogenicidade (IARC, 2006).

A Tabela 3 mostra os limites permitidos nos alimentos de Teores máximos de HPAs permitidos nos alimentos, segundo o regulamento (U.E) no 835/2011, da comissão de 19 de agosto de 2011.

Tabela 3 - Teores Máximos de HPAs Permitidos em Alimentos segundo o regulamento 835/11 da União Europeia

Alimentos	Teores Máximos ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	
	Benzo(a)pireno	Soma de Benzo(a)pireno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno e Criseno
Óleos e gorduras (com exceção da manteiga de cacau e do óleo de coco) destinados ao consumo humano, direto ou indireto	2,0 $\mu\text{g kg}^{-1}$	10,0
Grãos de cacau e derivados	5,0 $\mu\text{g kg}^{-1}$	35,0 $\mu\text{g kg}^{-1}$ e 30 $\mu\text{g kg}^{-1}$ a partir de 1/01/2015
Óleo de coco	2,0 $\mu\text{g kg}^{-1}$	20,0 $\mu\text{g kg}^{-1}$
Moluscos bivalves (defumados)	6,0 $\mu\text{g kg}^{-1}$	35,0 $\mu\text{g kg}^{-1}$
Alimentos transformados a base de cereais e alimentos para bebês e destinados a lactantes	1,0 $\mu\text{g kg}^{-1}$	1,0 $\mu\text{g kg}^{-1}$

Adaptado: Jornal Oficial da União Europeia datado de 20/08/2011 (CEC, 2011).

Mais de 100 HPAs já foram catalogados, destes apenas 16 conforme Tabela 4 foram classificados pela União Europeia (UE) e pela United States Environmental Protection Agency (USEPA) como poluentes prioritários.

Tabela 4 - Classificação de alguns HPAs de acordo com os grupos estabelecidos pela IARC, com relação à evidência carcinogenicidade.

Antraceno	Grupo 3
Benzo(a)antraceno	Grupo 2B
Benzo(b)fluoranteno	Grupo 2B
Benzo(j)fluoranteno	Grupo 2B
Benzo(k)fluoranteno	Grupo 2B
Benzo(g,h,i)fluoranteno	Grupo 3
Benzo(c)fenantreno	Grupo 2B
Benzo(a)pireno	Grupo 1
Benzo(e)pireno	Grupo 3
Criseno	Grupo 2B
Coroneno	Grupo 3
Dibenzo(a,c)antraceno	Grupo 3
Dibenzo(a,h)antraceno	Grupo 2A
Dibenzo(a,j)antraceno	Grupo 3
Fluoranteno	Grupo 3
Fluoreno	Grupo 3
Indeno 1,23-cd-pireno	Grupo 2B
Naftaleno	Grupo 3
Pireno	Grupo 3

Fonte: IARC (2006).

Para a escolha desses compostos foi utilizado alguns fatores que incluem toxicidade, informações disponíveis sobre esses hidrocarbonetos e frequência de exposição em seres humanos (DEBESTANI, 1999).

Desses compostos, segundo a tabela 5, sete são identificados pela International Agency for Research on Cancer – IARC como cancerígenos para animais e pela USEPA como potencialmente cancerígenos para seres humanos, sendo eles: pireno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, dibenzo(a, h)antraceno, indeno(1, 2, 3-cd)pireno, benzo(b)fluoranteno e benzo(k)fluoranteno (USEPA, 1998).

Tabela 5 - Estrutura química e efeitos tóxicos dos 16 hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) prioritários de acordo com a United States Environmental Protection Agency (USEPA).

Nomenclatura IUPAC	Estrutura	Efeito	Nomenclatura IUPAC	Estrutura	Efeito
Naftaleno		Tóxico	Acenaftileno		Mutagênico
Acenaftileno		Mutagênico	Fluoreno		Mutagênico
Antraceno		Mutagênico	Fenantreno		Tóxico e Mutagênico
Fluoranteno		Carcinogênico e Mutagênico	Pireno		Carcinogênico e Mutagênico
Criseno		Carcinogênico e Mutagênico	Benzo (a) Antraceno		Carcinogênico e Mutagênico
Benzo (b) Fluoranteno		Carcinogênico e Mutagênico	Benzo (k) Fluoranteno		Carcinogênico e Mutagênico
Benzo (a) Pireno		Carcinogênico e Mutagênico	Dibenzo (a,h) Antraceno		Carcinogênico e Mutagênico
Benzo (g,h,i) Perileno		Carcinogênico	Indeno (1,2,3-c,d) Pireno		Carcinogênico

Fonte: SIMS et al. (1988).

Os compostos que dão origem aos HPAs, geralmente, são metano, outros hidrocarbonetos, carboidratos, ligninas (presente nas madeiras) e peptídeos, porém compostos insaturados e estruturas cíclicas podem contribuir para sua formação (EVANGELISTA, 2000).

Pelo potencial carcinogênico apresentado há o interesse e a necessidade de pesquisas para conhecer os reais potenciais destes produtos, o que se reporta a importância do desenvolvimento deste trabalho e dos possíveis resultados a serem encontrados. Esta pesquisa busca também verificar quando e como se dá, dentro do processo de secagem artificial de grãos, neste caso, grãos de milho (*Zea mays*) em fôrnilha alimentada com o combustível de cavaco de lenha a produção do HPAs.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste trabalho foram divididos em duas etapas sendo a coleta dos grãos de milho, sua descrição, secagem e o secador; assim como a posterior análise dos grãos de milho em laboratório especializado.

Para o trabalho foram utilizados grãos de milho, um secador de grãos, um queimador de cavacos e um laboratório de análises laboratoriais de grãos em Campinas, Estado de São Paulo.

A análise dos dados é quali-quantitativa.

#### 3.1 Localização

Os grãos de milho da segunda safra 2020 foram recebidos na Cooperativa, advindos de seus cooperados, colhidos com colhedeira mecânica em vários dias contados a partir do dia 08 de agosto de 2020 nas proximidades da Cooperativa COPACOL, possui uma de suas filiais, a de Melissa, localizada na região sul, no Município de Cascavel - PR, com coordenadas paralelo de  $-24^{\circ}80'17''$  S e  $-53^{\circ}39'74''$  W e altitude média de 782 m ao nível do mar, temperatura média anual da cidade é de  $18.2^{\circ}\text{C}$ , com índice de pluviosidade de 1822 mm onde foi realizado a coleta das amostras de grãos de milho (GOOGLE MAPS, 2021), Figura 7.

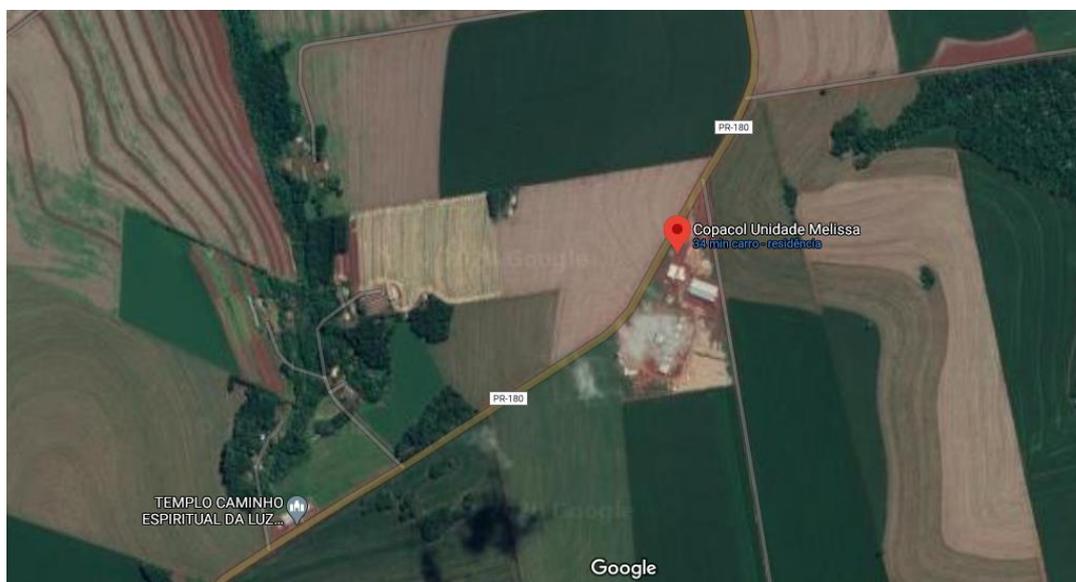


Figura 7 - Localização. Fonte: Google Maps (2020).

A construção deste trabalho se desenvolveu com a contribuição da Cooperativa Agroindustrial Consolata - COPACOL, que é uma das principais cooperativas brasileiras e está instalada na região Oeste do Paraná. Foi fundada em 23 de outubro de 1963 pelo Padre Luís Luise e mais 32 agricultores migrantes dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Na época, a Cooperativa surgiu com o objetivo de distribuir energia elétrica aos seus cooperados, seis anos depois, em 1969, foi desmembrada deste setor para atender especificamente a agricultura, que se destacava na produção de feijão, arroz, milho e café (COPACOL, 2021 p. 1).

A estrutura contempla um conjunto de três silos metálicos com capacidade de armazenagem de 3.000 t cada um, possui também um conjunto de dois secadores de grãos com capacidade de secagem nominal de  $150 \text{ t.h}^{-1}$ , e um fluxo de recepção de  $240 \text{ t.h}^{-1}$ , através de máquinas de limpeza, transportadores horizontais (redlers), transportadores verticais (Elevadores de grãos) além de duas moegas de 90 t cada uma, Fig. 8 (COPACOL, 2021). A Cooperativa tem como um dos principais cereais, o milho, produzido no Brasil. Segundo a CONAB (2018) destaca-se a importância deste cereal no agronegócio brasileiro.



Figura 8 - Unidade da COPACOL - Colônia Melissa - Cascavel - Pr.  
Fonte: O autor (2020).

### 3.2 Materiais e Equipamentos Utilizados para Realização do Experimento

De maneira geral utilizou-se para a produção deste processo balança comercial, homogeneizador, secador de grãos e queimador para cavaco.

### 3.2.1 Medidor de Umidade de Grãos

Para a identificação e organização do processo foram coletados os dados da umidade inicial e final dos Grãos de Milho, obtida através do aparelho medidor marca DICKEY JOHN, modelo GAC-2100, aferido pelo INMETRO (2020), disponível no setor de classificação da Cooperativa, Figura 9 a e b.



Figura 9 a - Medidor de Umidade de Grãos, b - Dados da Umidade.  
Fonte: O autor (2020).

Para a determinação do grau de umidade das amostras antes da secagem foram retiradas em um único ponto na saída do silo Pulmão, em porções de 1 kg de grãos em sacos plásticos, com intervalos de uma hora entre elas, durante 8 horas do dia durante 5 (cinco) dias alternados.

### 3.2.2 Balança para Pesagem das Amostras

Para pesagem das amostras utilizou-se uma balança comercial conforme a Figura 10 marca MARTE perfazendo um total de 39 amostras de 1,0 kg, distribuídos de acordo com as coletas que foram 08 amostras no primeiro dia, 08 amostras no segundo dia, 07 amostras no terceiro dia, 08 amostras no quarto dia e finalizando 08 amostras no quinto dia.



Figura 10 - Balança para Pesagem de Amostras. Fonte: O autor (2020).

### 3.2.3 Homogeneizador de Amostras

Ao final de cada dia, as amostras retiradas durante o dia, foram homogeneizadas em um homogeneizador de amostras, modelo quarteador, marca MEDITEC Figura 11 a e b, com divisor multicanais, sendo que o material derramado no seu interior passa por canaletas e é dividido em duas porções, que são colhidas em duas bandejas, repetindo este processo até que se obtenha a homogeneização do produto, e armazenados configurando uma única amostra para o dia de 4,0 kg de peso.



Figura 11 a e b - Homogeneizador de Amostras Tipo Quarteador. Fonte: O autor (2020).

Ao final do dia as coletas foram homogeneizadas em um homogeneizador de grãos, modelo quarteador, marca MEDITEC e transformadas em uma amostra de 4 kg da coleta antes da secagem e outra de 4 kg da coleta após a secagem.

### **3.2.4 Amostras de grãos**

A escolha pelos grãos de milho se deu pela importância comercial do produto na alimentação humana, assim como a preocupação em evidenciar poluentes que podem ocasionar problemas de saúde como moléculas cancerosas.

Os grãos foram colhidos com colhedora automatizada, apresentando teor de umidade, nas datas intercaladas compreendidas entre 08 de agosto e 28 de agosto de 2020, sendo dia 08 de agosto, 11 de agosto, 12 de agosto, 27 de agosto e 28 de agosto de 2021. Tendo início a partir das 09h30 horas da manhã até às 19h00. As datas de coleta destas amostras de grãos se deram em virtude das condições climáticas, com clima chuvoso na região escolhida, não permitindo que a colheita se desse em dias sequenciais e sim em dias alternados.

Estes grãos foram previamente limpos em máquina de pré-limpeza, rotativa, marca COMIL, com capacidade de 240 t.h<sup>-1</sup>, equipada com sistema de peneiras e ar até atingirem 1 % de impurezas e ou materiais estranhos.

Quanto às amostras foram retiradas em intervalos de tempo de 1 hora, sendo que esta operação se deu em apenas uma passagem dos grãos pelo secador. Cabe ressaltar que as amostras foram coletadas antes e depois de terminada a secagem do dia como pode ser observado nas Figuras 12 e 13. Os grãos referentes a cada amostra retirada na secagem foram homogeneizados, preparados em sacos de 4,0 kg com identificação, e foram armazenados sob refrigeração (0 °C). Permaneceram até o final dos cinco dias de coleta, quando foram encaminhados ao laboratório de análises técnicas.



Figura 12 - Retirada das Amostras de Grãos de Milho. Fonte: O autor (2020).

As amostras foram armazenadas em refrigerador com uma temperatura de 0 °C até o último dia de coleta, que foi de 05 dias.

Whitaker et al. (2011) em seu estudo para determinação de micotoxinas em grãos relatam que para cada amostra, os riscos de erros também podem ser definidos pelo tamanho da amostra e a preparação da sub amostra, enfatizam ainda que o tamanho da amostra também interfere, e que quanto maior a amostra, menor será a variação.

Leite (2021) em seu trabalho sobre a organização de amostras cita que o objetivo de preparar com eficiência as amostras é para obter porção representativa do lote de grãos, com o intuito de indicar sua natureza, qualidade e tipo, assim as amostras devem ter características similares, em todos os aspectos, às médias do lote do qual foi retirada, pois geralmente em relação à quantidade de grãos a ser analisada são pequenas.

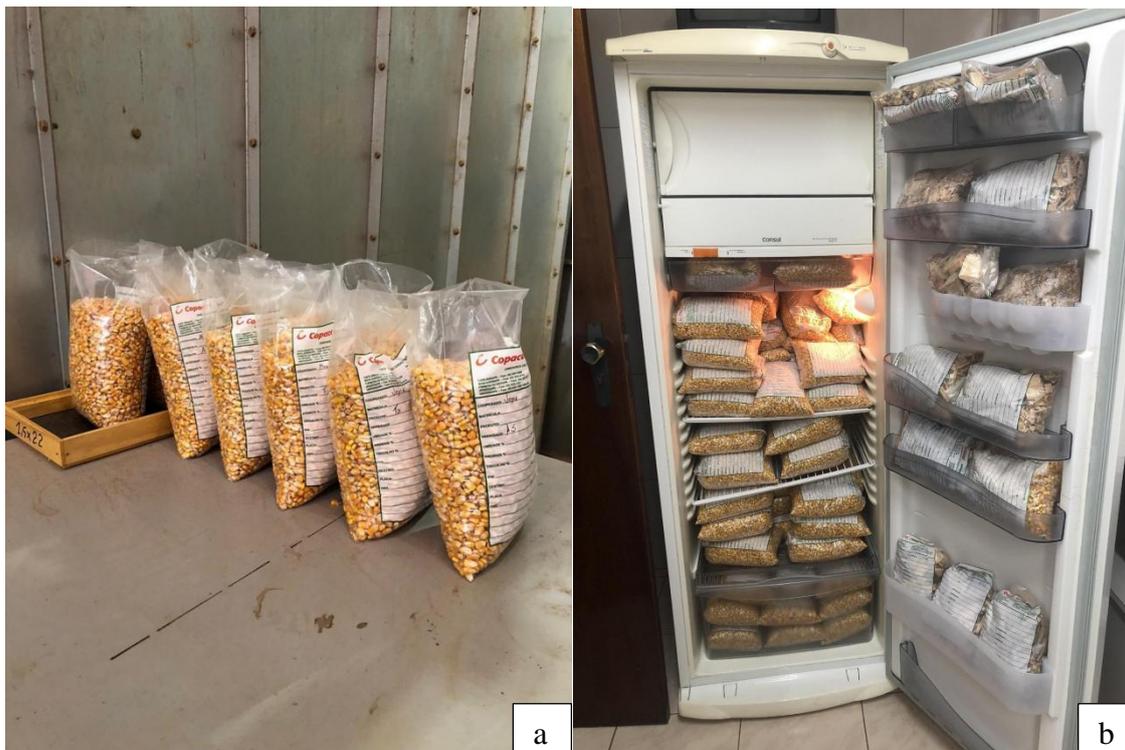


Figura 13 a - Sacos de Amostras de Milho, b - Amostras Armazenadas em Geladeira.  
Fonte: O autor (2020).

Após a secagem foram retiradas amostras em um único ponto na saída do secador e seguindo a mesma metodologia de antes da secagem, ou seja, uma amostra em cada hora, durante o período de secagem do dia, durante 5(cinco) dias alternados.

### 3.2.5 Secador de grãos

Um dos equipamentos mais importantes que compõem este trabalho na busca pelos resultados é o secador de grãos. Equipamento cuja função é a secagem dos grãos, a retirada da umidade.

O secador utilizado é o que está instalado na COPACOL, Unidade Melissa, descrita anteriormente onde foram coletadas as amostras de grãos antes e depois de secos, é do modelo KEPLER WEBER ADS 150, ano 2018, de colunas, com capacidade nominal de  $150 \text{ t.h}^{-1}$ , Figura 14 a e b. As secagens foram de forma contínua.

O objetivo de utilizar secadores de grãos é reduzir o seu teor de umidade dos grãos, já que quando colhidos apresentam teor de umidade inadequada para os diversos fins que se destinam, inclusive comercial.



Figura 14 a - Secador de Grãos da Cooperativa, b - Instruções de Uso do Secador.  
Fonte: O autor (2020).

Este secador possui um sistema de secagem automático, com recirculação do ar de resfriamento, o secador é controlado por um quadro de comando, possui descarga mecânica por bandejas basculantes, possui os ventiladores na posição superior.

A carga do secador se dá por um único ponto através do funil de carga, neste funil têm-se sensores de níveis máximos e mínimos de cereais. Este sensor tem a função de controlar o nível de produto dentro do secador, ou seja, quando faltar produto o sensor avisa o quadro de comando que atua para carregar novamente.

A torre de secagem é onde passam os grãos durante todo o processo de secagem. É formada por uma série de painéis modulares, que possuem em seu interior colunas perpendiculares ao escoamento de grãos, garantindo a vazão do ar de secagem Figura 15.

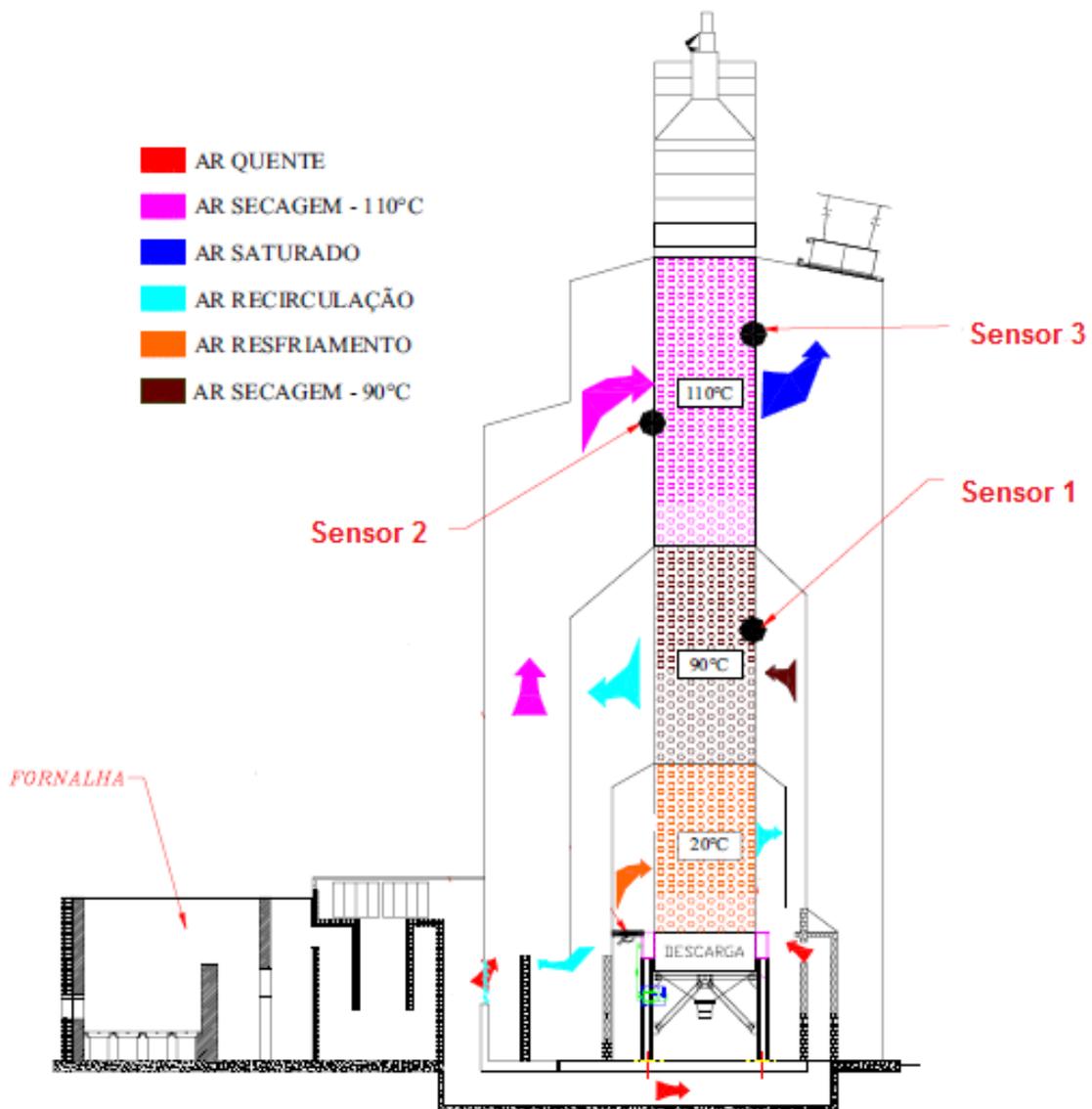


Figura 15 - Secador de Grãos - Pontos dos Sensores de Temperatura.  
Fonte: Adaptado de Kepler Weber (2010).

A Temperatura do ar de secagem foi monitorada por três termômetros TERMOPAR tipo K, instalados dentro do secador, marca NBRtec, modelo NBRsec dispostos na entrada do ar de secagem, outro no interior da massa de grãos e o terceiro na exaustão do secador, ou seja, na saída do ar de secagem.

As colunas são divididas de forma a alternar a entrada e saída do ar, forçando o ar a passar pelo grão. As colunas são direcionadoras e possibilitam a formação de uma coluna única de produto.

A descarga é realizada através de bandejas basculantes, acionadas por um excêntrico acoplado a um motorreductor. O fluxo de descarga é controlado por um inversor de frequência, e também pela regulagem da amplitude e abertura de saída de produto, possibilitando um ajuste fino de acordo com o tipo de secagem.

A vazão de ar é do tipo fluxo misto, com uma combinação de fluxos concorrentes e contracorrentes de grãos e ar de secagem. No fluxo concorrente os grãos e o ar têm a mesma direção, enquanto no fluxo contracorrente a direção é contrária.

### **3.2.5.1 Processo de secagem de grãos**

O processo de secagem de grãos é simples, porém exige qualidade, acompanhamento e resultados eficientes para que os grãos mantenham sua integridade nutritiva e o mínimo de alterações e ou contaminantes e poluentes.

Os grãos de milho, após serem descarregados na moega, são transportados por elevadores de grãos até um equipamento que faz a pré-limpeza nos grãos, ou seja, esta máquina, através de peneiras e um sistema de ar retiram a poeira, as palhas, e outras partículas advindas com o processo de colheita. Após a pré-limpeza, os grãos são acondicionados em um silo pulmão, onde aguardam a secagem e ocorre um equilíbrio da umidade contida nos grãos, o que melhora o desempenho e a regulagem do secador de grãos.

O carregamento do secador se dá pela parte superior através de elevadores que despejam os grãos até o enchimento do secador, depois de cheio o sistema de calor é ligado.

Ventiladores instalados na parte superior do secador “puxam” o ar do queimador, provocando uma pressão negativa no interior do secador, então o ar ambiente passa pelo queimador de cavacos e é aquecido a uma temperatura que pode chegar a 450 °C, o ar superaquecido segue para um sistema onde se mistura ao ar ambiente, abaixando a temperatura do ar que normalmente retorna e passa a ser menos de 100 °C para não ocasionar danos aos grãos, e passando por uma espécie de “quebra chamas” que evita que as fagulhas sejam arrastadas pelo ar de secagem para o interior do secador e possam provocar incêndios.

Dentro do secador, mais precisamente dentro da torre de secagem, os grãos vão caindo por gravidade e o ar de secagem atravessa a massa de grãos, assim, o ar cede calor à massa de grãos e em troca recebe água em forma de vapor. Por fim o ar saturado segue até sair pelos exaustores e o grão chega à área de descarga do secador. Neste secador a velocidade com que o grão desce é regulada pela bandeja de descarga que possui um inversor de frequência que abre e fecha com maior ou menor velocidade, determinando assim a velocidade de secagem.

Durante as operações de secagem, foi realizado o acompanhamento da umidade da massa de grãos com auxílio do determinador de umidade DICKEY JHON, modelo GAC 2100, previamente calibrado e inspecionado pelo INMETRO.

Dados referentes à temperatura do ar de entrada, temperatura da massa de grãos, temperatura de saída do ar, umidade relativa do ambiente e temperatura do ambiente foram coletadas a cada uma hora e descritos anteriormente dia a dia de coleta. Cabe considerar que a umidade e temperatura do ar ambiente foram monitoradas com aparelho termo-higrômetro.

A temperatura do ar de entrada, a temperatura da massa de grãos e a temperatura na saída do secador foram monitoradas com sensores termopares tipo K localizados no interior do secador, dispostos conforme a Figura 15, mostrada anteriormente.

A secagem é a etapa de maior gasto energético no beneficiamento, seja pelo gasto com energia elétrica seja pela queima do combustível, logo sob o ponto de vista financeiro é o maior custo dentro da unidade.

O processo de secagem pode se dar de duas formas, indireta e direta, a indireta é quando o ar passa por ductos onde são aquecidos e posteriormente pelos grãos, já na forma direta é quando o ar de secagem entra em contato direto com as fuligens da queima, e pode-se contaminar o produto seco com Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos, objeto de verificação deste estudo. O ar de secagem pode ser aquecido com diversos tipos de combustíveis, sendo a lenha o mais comum e mais recentemente, o cavaco de lenha, o qual foi utilizado no queimador e analisado neste estudo.

### **3.2.6 Queimador de cavaco**

O fornecimento de calor foi feito através de um queimador de cavacos da marca IMTAB de fogo direto (8,6 Gcal) Modelo HÉRCULES FIP 80, ano 2019, com capacidade de produção de  $8.600.000 \text{ kcal.h}^{-1}$ , Figura 16.



Figura 16 - Queimador de Grãos da Cooperativa. Fonte: O autor (2020).

O sistema instalado conta com um termostato colocado que permite que o cavaco seja alimentado na fornalha cada vez que a temperatura do secador abaixe, com isto se manteve uma média de 90 °C no ar de secagem, Figura 17.



Figura 17 - Controlador de Temperatura e Alimentação do Queimador de Cavacos. Fonte: O autor (2020).

Foi verificada a umidade relativa do ar ambiente, através de um termo-higrômetro digital disposto a 1,5 metros de altura e distante a 5,0 metros da entrada do queimador a cavaco.

O ar do processo foi aquecido através da queima de cavaco de lenha de eucalipto (*Eucalyptus sp.*).

Esta fornalha possui regulagens para entrada do ar primário e ar secundário, ou seja, tem um sistema de controle automatizado. Devido a esta automação do sistema de alimentação da fornalha obteve-se uma secagem constante durante os dias da coleta das amostras, permite também uma alimentação constante no queimador, evitando aqueles horários que o funcionário responsável pela alimentação da fornalha se ausentaria para outros serviços e ou atividades, mantendo uma temperatura mais homogênea e configurando um rendimento melhor e qualidade na secagem.

A regulagem do ar primário está localizada ao lado direito e esquerdo do queimador, feita em função do tipo de combustível utilizado, no caso o cavaco de Eucalipto. No início, manteve-se quase fechado e foi se ajustando conforme a câmara de queima foi ficando aquecida, buscando obter uma chama clara isenta de fumaça. O combustível denominado cavaco de lenha pode variar sua granulometria e umidade. Neste caso, quanto maior foi a umidade do combustível e maior a granulometria mais aberta esteve a entrada de ar primário.

O ar secundário foi regulado por um braço existente no ventilador de ar. A regulagem do ar secundário foi devido à quantidade de chama necessária no processo. Observou-se que quando a chama era mais alongada, a alavanca estava mais fechada, e quando a chama estava menos alongada, as alavancas encontravam-se mais abertas.

Este equipamento possui também um dispositivo de grelhas móveis que evitam o acúmulo de cavacos que poderiam prejudicar a queima por falta de Oxigênio.

### **3.2.6.1 Combustível**

Um dos pontos relevantes de teste deste experimento foi que há poucos queimadores a cavaco de lenha instalados nos secadores e muitos a lenha propriamente dita.

Assim, buscou-se verificar se a queima de cavaco se apresenta mais, igualmente e ou menos eficiente que a lenha, cortada em pedaços maiores. Vale lembrar que esta tecnologia de queima para secagem de grãos é a mais conhecida, e que a queima a cavaco ainda é novidade para muitas empresas e profissionais, entretanto há poucas comprovações em trabalhos científicos.

Para que o corte do cavaco seja eficiente os componentes do picador devem ser adequados e devem estar bem regulados/alinhados em suas devidas proporções

de acordo com o manual de instruções quanto a granulometria, a malha da peneira, o tipo de picador, a potência da máquina e a velocidade do mesmo.

Cabe ressaltar que quando se transforma a lenha em cavaco, este pode sair com dimensões desproporcionais ou pedaços maiores, que podem trazer problemas no sistema de transporte, ou seja, nas correias transportadoras, para isto o sistema dispõe de peneiras para cavacos antes da alimentação do sistema.

O picador utilizado deve estar de acordo com a necessidade de cavaco do equipamento, com relação principalmente a granulometria, mas também considerando a malha da peneira, tipo do picador, potência da máquina e velocidade do equipamento (CORTEZ et al., 2008).

Neste caso, para a produção do cavaco de lenha, o fornecedor utilizou um picador cujo equipamento é constituído de uma peneira/grelha de em torno de 9,0 centímetros por onde passam os pedaços denominados cavacos, Figura 18 a e b.



Figura 18 a - Grelha de Picador de Cavaco de Lenha, b -- Dimensões da Grelha do Picador.  
Fonte: O autor (2020).

Neste estudo, no estoque da Cooperativa mediram-se os alguns fragmentos do cavaco e chegou-se a uma média de 5,0 cm conforme a Figura 19 a e b.



Figura 19 a e b - Tamanhos dos cavacos de lenha. Fonte: O autor (2020).

Os cavacos chegam à unidade de grãos e são depositados numa espécie de moega de onde são transportados mecanicamente, através de um conjunto de esteiras, que os levam a um depósito elevado que controla o fluxo de saída e entrada de cavaco conforme a temperatura que se exige no queimador para que a queima seja eficiente.

A granulometria do cavaco foi obtida através da medição dos mesmos em peneiras específicas colocadas no transporte até o queimador.

O montante de cavaco, Fig. 20 consumido teve seu volume medido com trena métrica no início do dia e ao fim do dia mediu-se novamente e assim por volume conseguiu-se chegar ao consumo de combustível.



Figura 20 - Montante Medido de Cavaco de Lenha. Fonte: O autor (2020).

Quanto à umidade do cavaco, os dados foram informados pelo funcionário que estava no horário de trabalho que afirmou que a cada carga de cavaco que chega à umidade é conferida através do equipamento de medição, conforme Figura 21.



Figura 21- Medidor da Umidade do Cavaco. Fonte: Marrari (2021).

Para a quantificação do cavaco utilizado durante o processo de secagem, foi inicialmente medido o volume, e ao final de cada dia de secagem a sobra foi novamente medida, e por diferença obteve-se a quantidade de cavaco ( $m^3$ ) consumida na operação de secagem. Em média, o consumo foi de 11,30  $m^3$  de cavaco para secagem de 1.000 sacas de milho.

No início foi verificado a granulometria do combustível em relação à fornalha, neste caso o combustível em análise foi o cavaco de lenha de Eucalipto (*Eucalyptus Sp.*).

### 3.3 Análise laboratorial

A escolha deste laboratório se deu em função de que é referência na Análise de Hidrocarbonetos no Brasil.

O referido Laboratório utiliza-se da metodologia AOAC International Association of official Agricultural Chemists – Official Methods of Analysis, 20Th edition Maryland-USA 2016, o qual para este caso avaliou Hidrocarbonetos.

As amostras coletadas antes da secagem serviram como parâmetro para comparar a presença ou não de Hidrocarbonetos em função da secagem com a queima do combustível de cavaco.

Após o preparo das amostras Figura 22 a e b, coletadas antes e depois do processo de secagem, as mesmas foram embaladas, etiquetadas com as devidas informações, encaminhadas ao laboratório, CQA - Centro de Qualidade Analítica Ltda, situado em Campinas - São Paulo, via rodoviária, na data de 15 de novembro de 2020.

O laboratório possui os registros e licenças de funcionamento com as devidas autorizações para realizar análises físico-químicas. O laboratório buscou analisar a presença e ou ausência de Hidrocarbonetos nos grãos de milho, coletados antes e depois do processo de secagem das amostras, objetivo principal deste trabalho.

O laboratório em questão utiliza-se da norma AOAC INTERNATIONAL - Association of Official Agricultural Chemists - Official Methods of Analysis, 20th edition, Maryland/USA 2016, e utiliza como parâmetros na busca por Hidrocarbonetos a Norma AOAC Method 2007.01 – Residues in Foods by Acetonitrile Extration and Partitioning with Magnesium Sulfate. Neste estudo foi avaliado especificamente os limites das amostras, sendo:

- não aplicável;

- \*\*<LD: Menor que o Limite de Detecção de  $0,6 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;
- \*\*\*<LQ: Menor que o Limite de Quantificação  $1,0 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;

A validação do método analítico deve garantir, através de estudos experimentais, que o método desenvolvido atenda às exigências das aplicações pretendidas, assegurando a confiabilidade dos resultados (ANVISA, 2003). O método foi validado conforme preceitos brasileiros, da Resolução RE nº 899 (ANVISA, 2003) e do documento DOQ-CGCRE-008 (INMETRO, 2006).



Figura 22 a e b - Amostras dos grãos de milho acondicionadas e etiquetadas para envio ao Laboratório. Fonte: O autor (2020).

Os resultados foram enviados através de laudo de Ensaio Laboratoriais, via e-mail, no dia 15 de dezembro de 2020, contendo as informações sobre os resultados da pesquisa da presença e ou ausência de Hidrocarbonetos.

Junqueira (2006) cita que entre as características de desempenho dos sistemas analíticos mais importantes estão àquelas relacionadas aos limites da capacidade de detectar e quantificar o que está sendo analisado. Complementa afirmando que o Limite de Detecção de um método pode ser definido como a menor quantidade ou concentração em uma amostra capaz de ser detectada, mas não quantificada (ICH, 2005; NATA, 2013). O Limite de Quantificação pode-se dizer que

geralmente é individual, considerado a menor quantidade ou concentração que pode ser determinada quantitativamente com precisão, geralmente individual (ICH, 2005).

### **3.4 Análise de dados**

Este trabalho considerou o combustível a cavaco de lenha, foi avaliada a existência, antes e após a secagem, e se estivessem presentes os principais Hidrocarbonetos citados pela USEPA, sendo: Acenafteno, Acenaftileno, Antraceno, Benzo(a)antraceno, Benzo(a)pireno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(g,h,i), Benzo(k)fluoranteno, Criseno, Dibenzo(a,h)antraceno, Fenantreno, Fluoranteno, Indeno (1,2,3-c,d) pireno, Naftaleno, PAH's Totais e Pireno.

Buscou-se verificar se a queima com cavaco de lenha que alimenta a fornalha, em condições controladas de temperatura, umidade e pressão produz ou não Hidrocarbonetos que são carcinogênicos à saúde, e se apresentados no processo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados encontrados são descritos posteriormente e se referem a algumas características que envolvem os grãos de milho, ao processo de secagem com combustível de cavaco de lenha de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) e a eficiência do processo de secagem em relação a queima eficiente e com consequência a não produção de Hidrocarbonetos. Para melhor visualização dos resultados, optou-se por separá-los nos seguintes itens, conforme fluxograma apresentado na Figura 23.

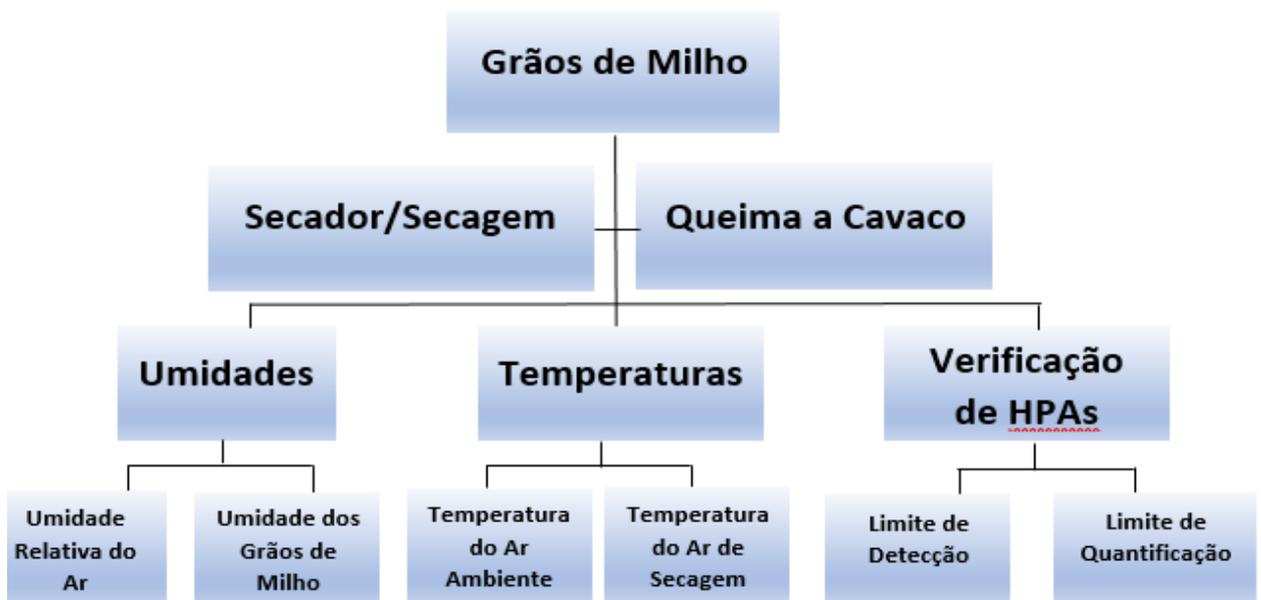


Figura 23 - Fluxograma dos Itens Avaliados.  
Fonte: O autor (2020).

De posse dos dados de temperatura do ar ambiente, umidade do ar ambiente, vazão do ar ambiente, vazão do ar de secagem, temperatura do ar de secagem do secador e umidades dos grãos de acordo com os dias de coleta, obteve-se os seguintes resultados.

### 4.1 Primeiro dia

Os dados foram compilados em gráficos para melhor visualização das informações. Primeiro dia de coleta na data de 08 de agosto de 2020. A Figura 24 mostra a temperatura e a umidade do ar.

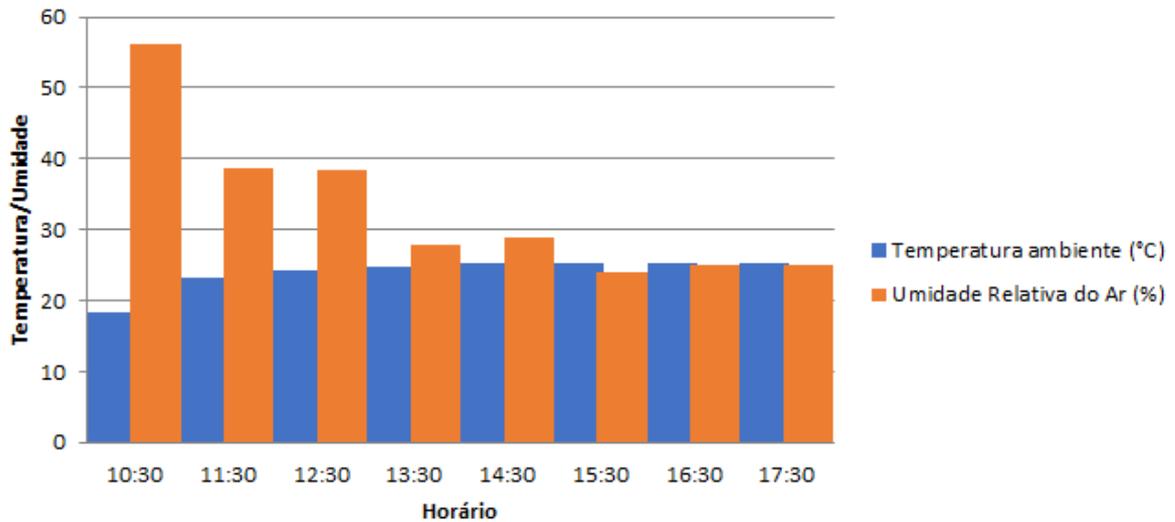


Figura 24 - Dados Ambientais do Primeiro dia de Coletas de Amostras.

As temperaturas variaram entre a menor de 18,4 °C no horário de 10h30 e a maior correspondente a 25,4 °C a partir das 15h30.

Já os percentuais de umidade relativa do ar tiveram boas variações, indo de 56,1 % as 10h30 a 24 % às 15h30.

A Figura 25 da coleta deste dia mostra uma secagem iniciada às 10h30 se estendendo até às 17h30. Nos demais intervalos de horários não houve recebimento de milho na cooperativa.

Em relação às temperaturas foram avaliadas em três pontos específicos dentro do secador de grãos e o gráfico mostra certo equilíbrio nos dados.

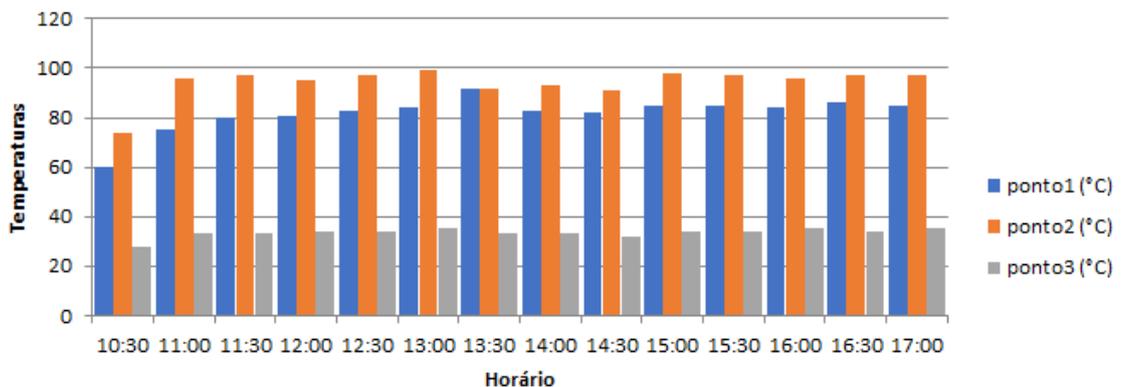


Figura 25 - Temperaturas do Secador do Primeiro dia de Coletas de Amostras.

Quanto às temperaturas dentro do secador foram avaliadas em três pontos diferentes, três medidores, e se apresentaram como descritas posteriormente.

No ponto 1 localizado no interior da massa de grãos, a menor temperatura de 60 °C no horário de 10h30, logo que se iniciou a secagem e a maior de 92 °C no horário de 13h30, praticamente coincidindo com a maior temperatura ambiente do dia. No ponto 2, localizado na entrada do ar de secagem, a menor foi de 74 °C, também no início da secagem às 10h30, e a maior temperatura de 97°C atingida em quatro momentos: nas 11h30, 12h30, 15h30 e às 16h30. No ponto 3, localizado no ar de exaustão do secador, a menor foi de 28 °C, no início da secagem às 10h30 e a maior foi alcançada em três momentos, às 12h30, às 15h30 e às 16h30 e foi de 34 °C.

A secagem ocorreu com uma temperatura ambiente menor no início e aumentando gradativamente até atingir a sua máxima no meio da tarde, inversamente proporcional a umidade relativa do ar.

Quanto aos teores de Umidades dos grãos foram verificados os seguintes dados para o primeiro dia de coleta, Figura 26.

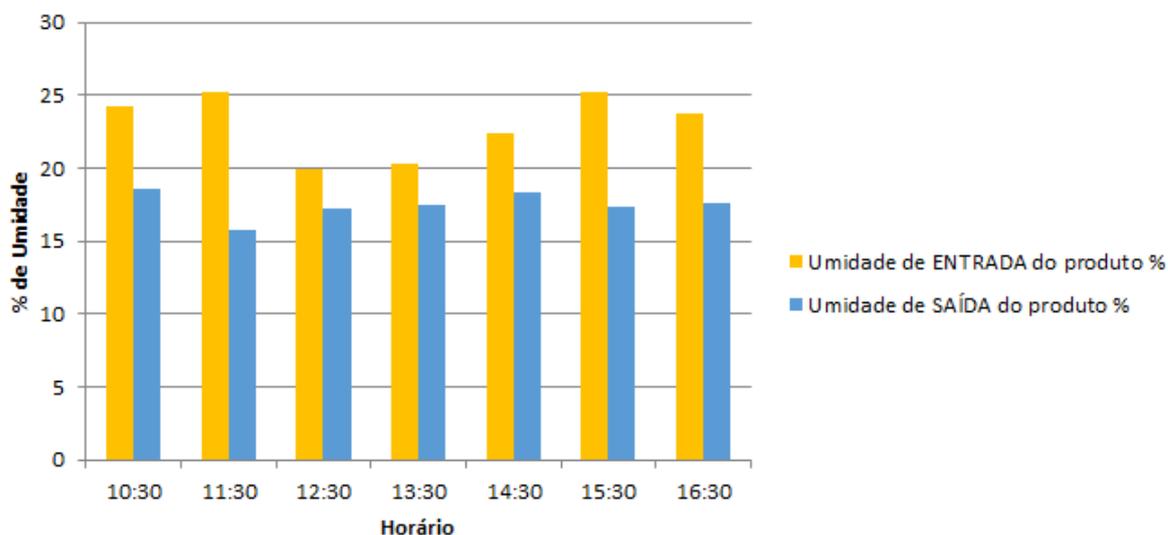


Figura 26 - Umidades dos Grãos de Milho no Primeiro Dia.

Encontrou-se a menor umidade sendo de 20,0 % às 12h30 e a maior foi de 25,2 % encontrada em dois horários do dia, sendo as 11h30 e às 15h30, as demais se mantiveram no intervalo. Obteve-se também a média de umidade de entrada que ficou em 23 % para os grãos coletados neste primeiro dia, a umidade de saída manteve-se constante a uma média de 17,3 %. Segundo Silva (2004) a umidade em base úmida, ou teor de água, é a relação percentual entre a quantidade de água presente no produto e a quantidade de produto.

## 4.2 Segundo dia

No segundo dia, 11 de agosto, as coletas começaram às 11h30h da manhã e se estenderam até as 18h30. Os dados ambientais de temperatura e umidade são apresentados a seguir, Figura 27.

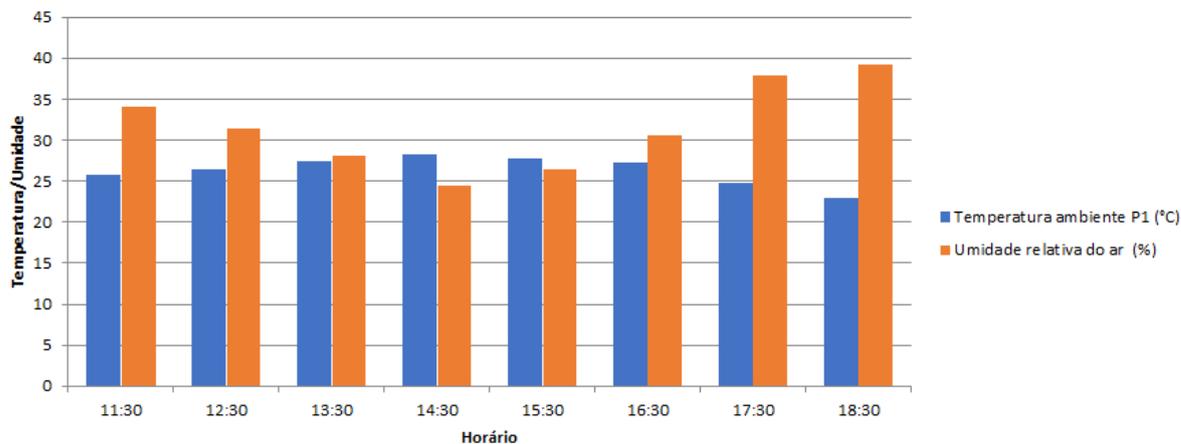


Figura 27 - Dados Ambientais do Segundo dia de Coletas de Amostras.

O gráfico mostra que durante todo o dia as temperaturas se mantiveram mais homogêneas, sendo que a mínima foi de 23 °C às 18h30, e a máxima alcançou 28,3 °C às 14h30. Com relação a umidade relativa do ar tivemos a mais alta de 39,2 % no horário de 18h30, e a mais baixa de 24,5 % às 14h30, ou seja, um clima bastante seco e favorável à secagem de grãos.

A temperatura de secagem Figura 28, a umidade relativa do ar, o teor de umidade inicial e final do produto, são alguns dos itens que estão associados à redução da qualidade dos grãos (BROOKER et al., 1992).

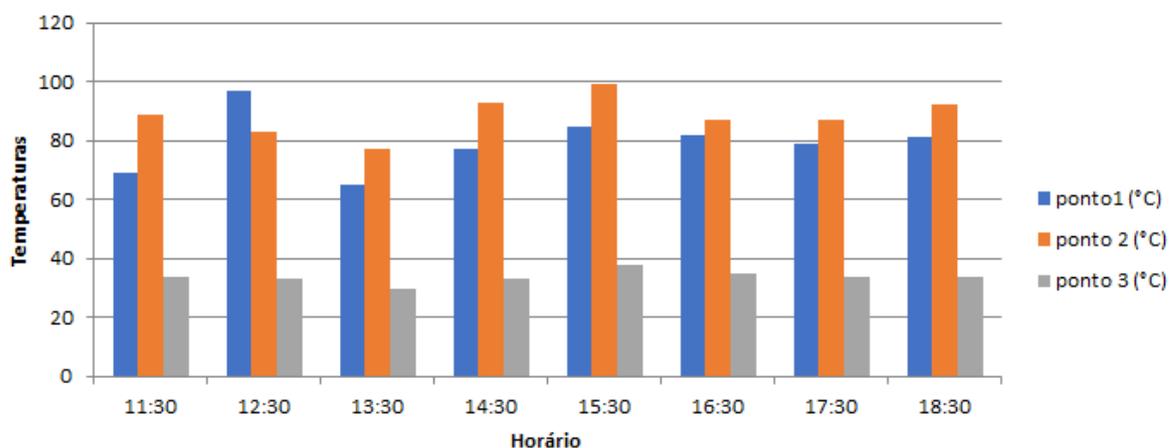


Figura 28 - Temperaturas do Secador do Segundo Dia de Coletas de Amostras.

Para esta situação obteve-se no ponto 1, a temperatura mais baixa foi de 65 °C no horário de 13h30, e a maior de 97 °C no horário de 12h30. No ponto 2, a menor

foi de 77 °C, às 13h30, e a maior temperatura de 99 °C atingida às 15h30. No ponto 3, a menor foi de 30 °C, às 13h30 e a maior foi alcançada às 15h30 e foi de 38 °C.

Destaca-se que no início da manhã e ao final da tarde onde houve as maiores umidades, então se obteve a umidade mais baixa de 19,8 % às 13h00 e a máxima de 25,2 % em três momentos do dia, às 11h30, 15h30 e 17h00, já a umidade de saída esteve constante com pouca variação e saindo a uma média de 17,30 %.

A Figura 28 mostra as temperaturas do secador mostra também que em nenhum momento a temperatura considerada crítica de 100 °C foi ultrapassada. Segundo Silva et al. (2000) a temperatura máxima do ar que o café pode suportar, em um secador convencional de fluxo cruzado, é de 70 °C, já para milho o ideal está entre 80 e 100 °C, dependendo da umidade de colheita do Grão. Temperaturas mais elevadas são prejudiciais ao produto, uma vez que muitos grãos que não fluem adequadamente dentro do secador ficam super secos.

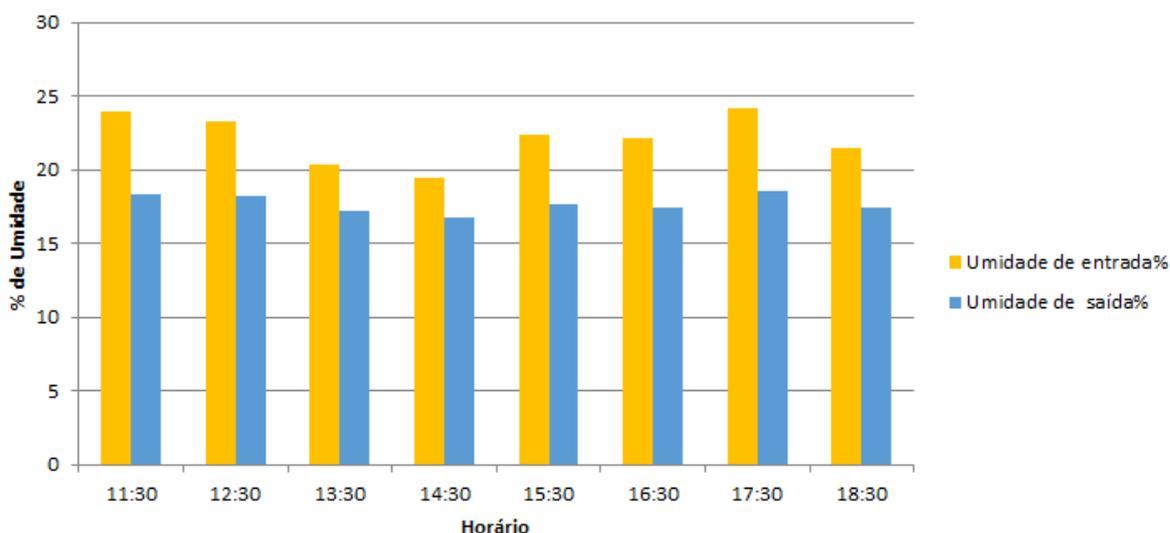


Figura 29 - Umidades dos Grãos de Milho no Segundo dia de Coletas de Amostras.

As umidades de entrada tiveram uma média de 22,25 % e as umidades de saída à média ficou em 17,7 %, Figura 29. A umidade de entrada mais baixa 19,5 % foi registrada as 14h30, a umidade mais alta de 24,2 % foi registrada as 17h30, a umidade de saída mais alta foi de 18,6 % as 17h30, a mais baixa foi 16,8 % as 14h30.

### 4.3 Terceiro dia

O terceiro dia de coleta de amostras deu-se no dia 12 de agosto de 2020. A secagem transcorreu com um nível elevado de umidade relativa do ar, o que provoca um maior consumo de combustível.

As coletas das amostras começaram às 10h30h da manhã e se estenderam até as 16h30, quando finalizou o milho a ser seco. Verificam-se no gráfico, umidades muito elevadas, Figura 30.

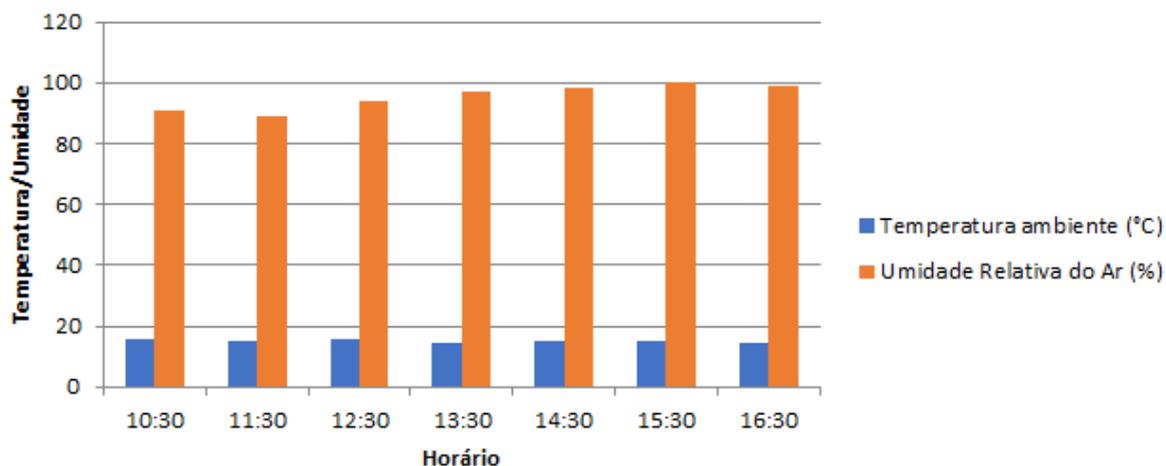


Figura 30 - Dados Ambientais do Terceiro dia de Coletas de Amostras.

O gráfico mostra as temperaturas mais baixas, sendo que a mínima foi de 14,6 °C às 13h30, e a máxima alcançou 15,90 °C às 12h30, pouca variação. Com relação à umidade relativa do ar tivemos a mais alta chegando a 100% às 15h30, e a mais baixa de 89 % às 11h30, ou seja, um clima bastante adverso à secagem de grãos.

Em consequência da umidade relativa do ar alta e baixa temperatura ambiente, as temperaturas Figura 31 do secador de grãos estiveram pouco mais altas.

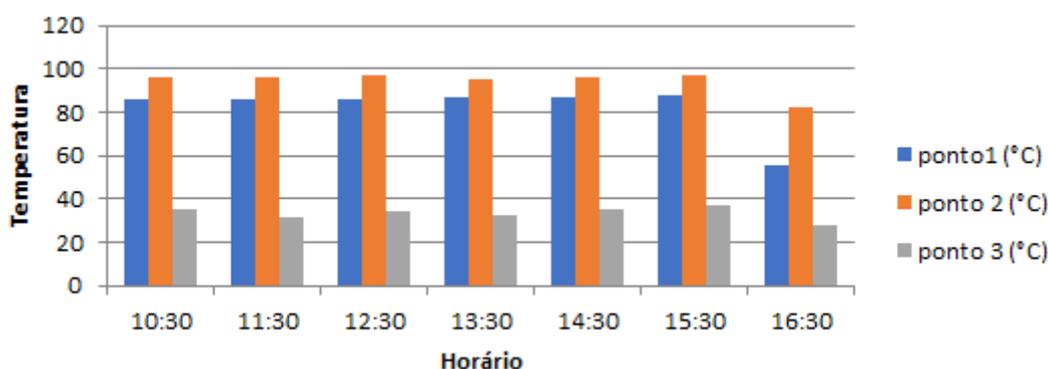


Figura 31 - Temperaturas do Secador no Terceiro Dia de Coletas de Amostras.

O gráfico das temperaturas do secador indica que no ponto 1 a menor temperatura foi de 56°C, às 16h30, já no final da secagem e a maior temperatura foi de 88 °C às 15h30. No ponto 2 a temperatura mais baixa foi de 82 °C, às 16h30, quando já estava finalizando a secagem, e temperatura mais alta foi de 97 °C atingida em dois momentos às 12h30 e às 15h30. No ponto 3, localizado na saída de ar do

secador, a menor temperatura foi de 28 °C, às 16h30 e a maior temperatura foi de 37 °C às 15h30.

A umidade de entrada dos grãos de milho é mais alta em decorrência da umidade relativa do ar alta e temperatura ambiente baixa conforme Figura 32.

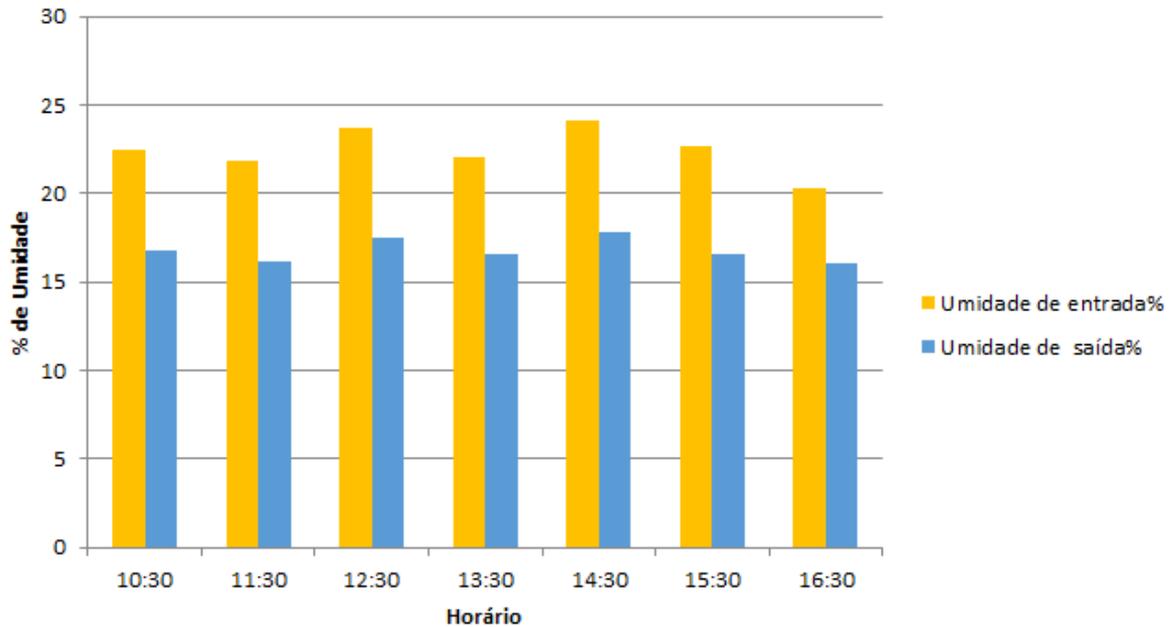


Figura 32 - Umidades dos Grãos de Milho no Terceiro dia de Coletas de Amostras.

Neste dia, a umidade mais alta foi de 24,1 % às 14h30, e a mais baixa foi de 20,3 % às 16h30 e a umidade de saída ficou na média de 17,7 %.

#### 4.4 Quarto dia

O quarto dia de coleta de amostras deu-se no dia 27 de agosto de 2020, quando as condições climáticas permitiram a retomada da colheita, iniciou-se às 09h30 e foi até as 16h30, Figura 33.

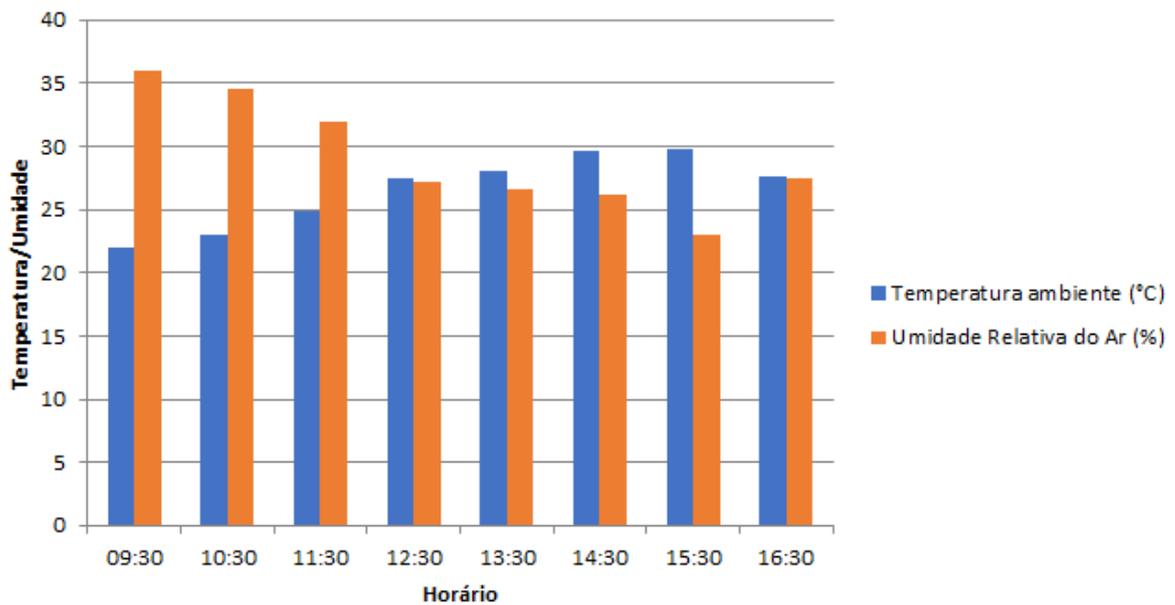


Figura 33 - Dados Ambientais do Quarto dia de Coletas de Amostras.

A Figura 34 expõe que a temperatura mínima do ar foi de 22 °C logo no início da secagem às 09h30, e a máxima atingiu 29,80 °C às 15h30, um clima um pouco atípico para a região. Sobre a umidade relativa do ar teve-se a mais alta de 34,60 % às 10h30, e a mais baixa de 23 % às 15h30, um clima adequado à secagem.

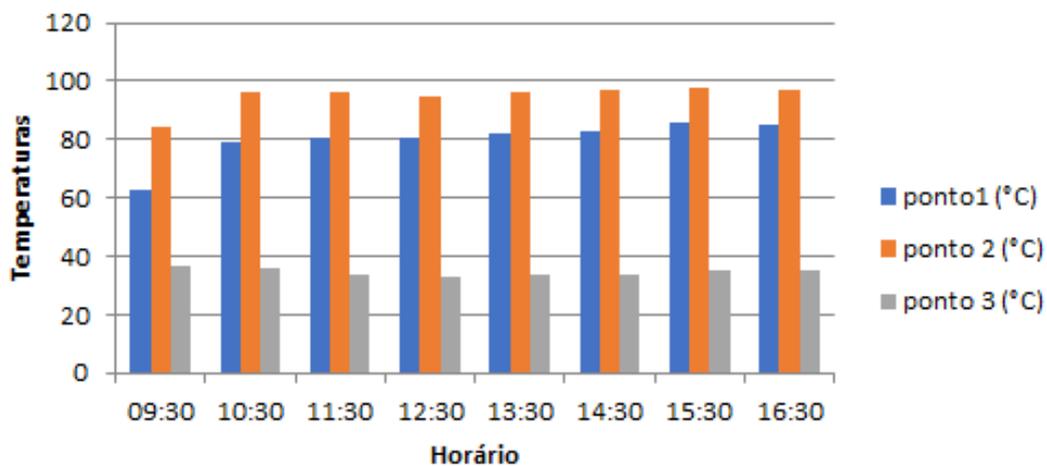


Figura 34 - Temperaturas do Secador no Quarto Dia de Coletas de Amostras.

A Figura 35 das temperaturas internas do secador indica que no ponto 1 a menor temperatura foi de 63 °C, às 09h30, logo no começo da secagem e a maior temperatura foi de 86 °C às 15h30. No ponto 2 a temperatura mais baixa foi de 84 °C, às 09h30, e a temperatura mais alta foi de 98 °C atingida às 15h30. No ponto 3, localizado na saída de ar do secador, a menor temperatura foi de 33 °C, às 12h30 e a maior temperatura foi de 37 °C às 09h30.

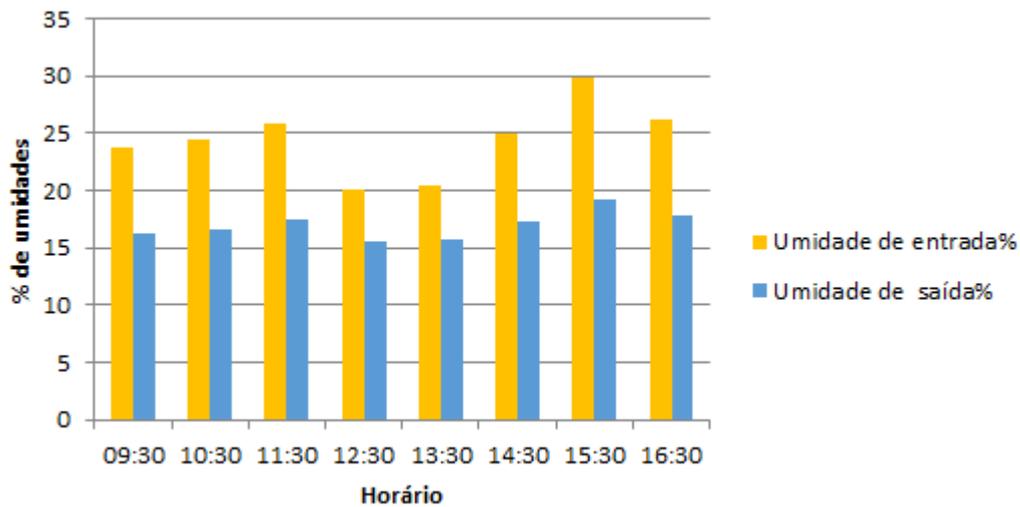


Figura 35 - Umidades dos Grãos de Milho no Quarto dia de Coletas de Amostras.

A umidade de entrada dos grãos de milho neste dia teve a mais baixa que foi de 20,1 % às 12h30, e a mais alta foi de 29,8 % às 15h30, uma umidade considerada muito alta para colheita, podendo causar danos aos grãos de milho, pois para Silva (1997) o efeito dos danos mecânicos verificados e a qualidade dos grãos de milho foram mais prejudiciais quando colhidos com maior teor de umidade, já na umidade de saída tivemos uma média de 17 %.

#### 4.5 Quinto dia

O quinto e último dia de coleta de amostras de milho foi realizado no dia 28 de agosto de 2020, com a colheita já finalizando, iniciando-se a secagem das 13h30 até o horário das 21h30, sendo que no horário de 15h30 não houve secagem devido à falta de produto. Os gráficos mostram os dados coletados, Figura 36.

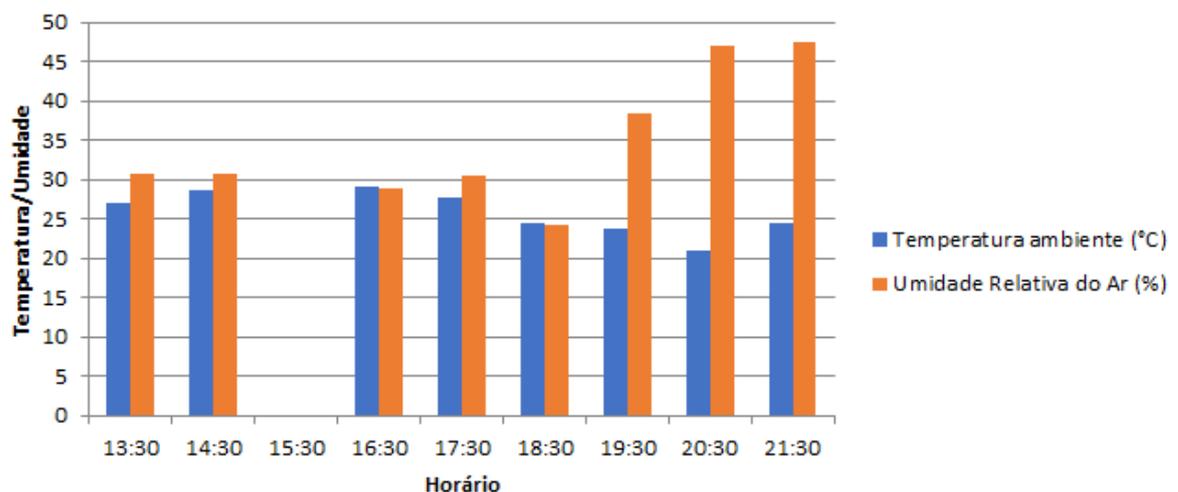


Figura 36 - Dados Ambientais do Quinto dia de Coletas de Amostras.

A Figura 37 mostra que a temperatura do ar mínima foi de 21 °C às 20h30, e a máxima atingiu 29,20 °C às 16h30, um clima quente e seco. Sobre a umidade relativa do ar teve-se a mais alta de 47,50 % às 21h30, e a mais baixa de 24,3 % às 18h30.

Quanto às temperaturas internas do secador tem-se:

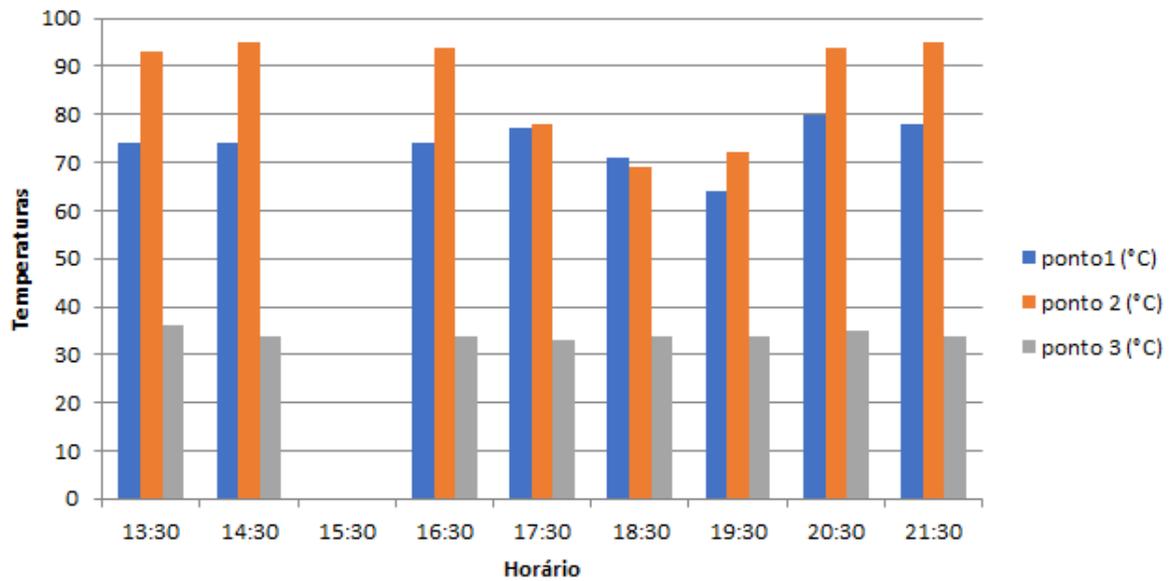


Figura 37 - Temperaturas do Secador no Quinto dia de Coletas de Amostras.

Visualiza-se o ponto 1 com a temperatura mínima de 64 °C, às 19h30, e a temperatura máxima de 80 °C às 20h30. No ponto 2 a temperatura mais baixa foi de 69 °C, às 18h30, e a temperatura mais alta foi de 95 °C atingida em dois momentos às 14h30 e às 21h30. No ponto 3, a menor temperatura foi de 33 °C, às 17h30 e a maior temperatura foi de 36 °C às 13h30, observa-se neste último ponto uma pequena variação de temperaturas, Figura 38.

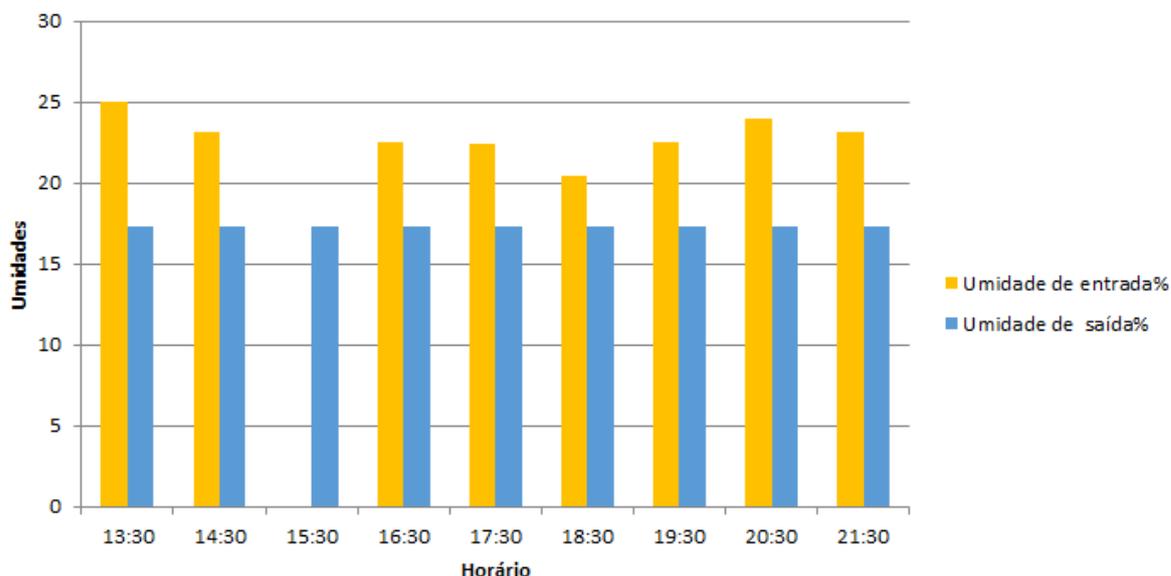


Figura 38 - Umidades dos Grãos de Milho no Quinto Dia de Coletas de Amostras.

A umidade mais baixa de entrada dos grãos de milho neste dia foi de 20,4 % às 18h30, e a mais alta foi de 24 % às 20h30. As umidades médias de entrada do quinto dia foram 22,8 % e as de saída não variaram, ficando em 17,3 % ao final do processo.

#### 4.6 Umidade do grão

Segundo o manual do Secador da Kepler Weber (2010) traz como ideal de colheita para os percentuais de umidade parâmetros entre 18 % e 20 % de umidade, e seja seco até chegar a 14 %, entretanto há diversos fatores como clima, colheita, maquinários, equipamentos, região que promovem muitas variações destes percentuais.

#### 4.7 Temperatura do Ar Ambiente e Umidade Relativa do Ar Ambiente

Após a apresentação dos dados de coleta considerou-se que os grãos de milho passaram por uma amplitude térmica e climática variada, visto que a estação do inverno é geralmente seca e fria, ainda assim houve dias com umidades relativas bastante altas e variações.

Após análise ANOVA dos dados com o intuito de verificar se houve ou não variações dentro das médias encontradas, Tabela 6.

**Tabela 6** - Temperatura e umidade do ar ambiente nos dias de coleta

Data de coleta	Temperatura (°C)	Umidade (%)
08/08	24,00a	32,41b
11/08	26,35 <sup>a</sup>	31,49b
12/08	15,11b	95,44 <sup>a</sup>
27/08	26,52 <sup>a</sup>	29,12b
28/08	25,79 <sup>a</sup>	34,76b
Média	23,77	43,34
CV (%)	9,68	16,71
DMS	3,36	10,58

Em relação a temperatura do ar ambiente observou-se que o valor do dia 12 de agosto de 15,11 °C foi o menor dentre as médias (seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna) que ficaram em 23,77 °C e não diferiram entre si quando a análise se deu por horário e pelo Teste de Tukey a 5 % de significância.

Já para a análise da Umidade do ar ambiente verificou-se que ficou em torno de 43,34 % em média e também quando analisada nos horários de coleta, e a umidade do dia 12 de agosto diferiu mais que o dobro das demais estando em 95,44 % quando analisadas pelo Teste Tukey a 5 % de significância.

Durante o período de retirada de amostras que se deu em agosto, as temperaturas não foram fatores determinantes, pois em apenas um dia teve-se temperaturas mais baixas. Em anos mais frios os grãos chegam com umidades mais elevadas para secagem o que poderia restringir o processo de secagem, alguns dias chuvosos, por vezes atrasaram ou adiaram a colheita, não permitindo que se fizessem as coletas de amostras em dias subsequentes e nos mesmos horários.

O processo de secagem de grãos é aplicado para reduzir o teor de umidade em base úmida dos produtos agrícolas, então, fatores climáticos como temperatura ambiente e umidade relativa do ar tem influência direta no rendimento da secagem. Para Silva (2004), grãos e sementes são produtos higroscópicos, e como tais, recebem ou enviam vapor de água do ar que os cerca.

Toledo (1977) complementa dizendo que no processo de secagem é preciso considerar a temperatura do ar, ainda mais se tratando de sementes, pois temperaturas altas podem reduzir a germinação e o vigor das sementes.

Para Botelho et al. (2018) o clima é determinante na quantidade de material a ser seco. Chuvas no pré-colheita causam atrasos na colheita e dificultam a perda natural de umidade dos grãos, ainda segundo os autores, a secagem de milho 2ª safra

depende de características climáticas na região, período de semeadura da cultura e clima.

De acordo com Elias (2003) para uma secagem e armazenagem eficiente se faz necessário uma sequência de operações, tais como limpeza, secagem, transporte e classificação.

Elias (2002) afirma que se deve controlar a temperatura do ar de secagem, dentro de limites, para evitar danos aos grãos, limites estes que citados no Manual do equipamento estão entre 80 °C e 100 °C (KEPLER WEBER, 2010).

A secagem é a etapa de maior gasto energético no beneficiamento, seja pelo gasto com energia elétrica seja pela queima do combustível, logo sob o ponto de vista financeiro é o maior custo dentro da unidade. Para Lima (2014) o custo com combustíveis (lenha + eletricidade), na etapa de secagem de grãos de milho, pode representar até 10,35 % do valor de venda do produto beneficiado. Afirma ainda que grãos de milho secados com temperatura do ar de 80 °C apresentaram menor custo energético.

Brooker (1974) afirma que quanto maior for a temperatura ambiente e maior a vazão de ar do secador, e menor for a umidade relativa do ar de secagem, menor será o tempo necessário para secagem do produto, e para cada tipo de cereal, o tempo de secagem será maior quanto mais alta for a umidade inicial e mais baixa for a umidade final do produto desejada. De Grandi (1999) chegou à mesma conclusão quando testou um secador vertical de camada fixa com diferentes intervalos.

O equipamento apresentou bom rendimento de secagem, sem interrupções devido a falhas mecânicas.

#### **4.8 Vazão**

As vazões foram medidas em apenas dois dias do experimento, visto que no terceiro dia houve problema com o equipamento de medição. Assim, alguns dados de vazão foram coletados e se mostraram da seguinte maneira.

As vazões do ar ambiente e do secador foram medidas com um anemômetro digital portátil e foram retiradas e medidas em apenas dois dias de coleta de dados, sendo nos dois primeiros dias em 08 de agosto e 11 de agosto de 2020, e se apresentaram da seguinte maneira, Figura 39.

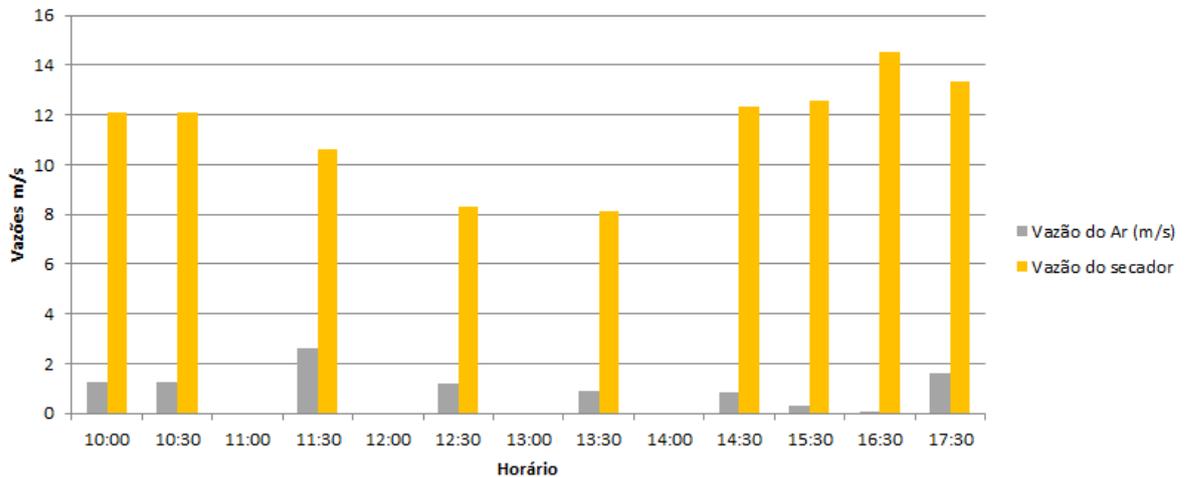


Figura 39 - Dados das Vazões do ar e do Secador do Primeiro dia de Coletas de Amostras.

Na vazão do ar ambiente observou-se grande variação, tendo seu ponto máximo às 11h30 sendo de  $2,63 \text{ m.s}^{-1}$ , e a menor medida às 16h30 sendo de  $0,09 \text{ m.s}^{-1}$ , já a vazão do ar de secagem medida no interior do secador teve seu máximo de  $14,51 \text{ m.s}^{-1}$  no primeiro dia às 16h30 e mínimo de  $8,15 \text{ m.s}^{-1}$  às 13h30.

No segundo dia medido mediu-se como máxima vazão do ar ambiente  $1,69 \text{ m.s}^{-1}$  às 11h30 e a mínima de  $0,11 \text{ m.s}^{-1}$  às 15h30. Para a vazão do ar de secagem encontrou-se como máxima  $17,53 \text{ m.s}^{-1}$  às 17h30 e a mínima de  $10,04 \text{ m.s}^{-1}$  às 13h30. No segundo dia teve-se uma vazão do ar ambiente mais constante, propiciando um melhor controle na secagem, Figura 40.

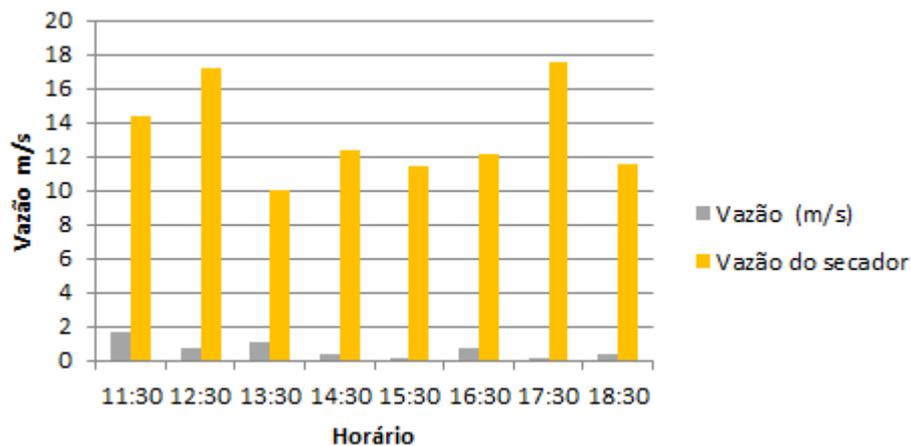


Figura 40 - Dados das Vazões do Ar e do Secador do Segundo dia de Coletas de Amostras.

O que faz o grão perder água é a passagem do ar por ele, então, além da temperatura, a vazão do ar de secagem é fator importante no sistema.

Quanto maior a umidade do grão, maior a influência do ar de secagem. A altura das camadas de grãos é outra medida importante, pois quanto menor a camada, mais rápido e mais uniforme ocorrerá à secagem (CASSINI, 2004).

#### **4.9 Combustível Cavaco de Lenha**

Neste estudo o cavaco utilizado na Unidade de Beneficiamento foi o cavaco de lenha com em torno de 5 cm.

Neste estudo, o cavaco encontrava-se em boas condições físicas, com poucas impurezas e com pedaços uniformes.

O cavaco de madeira, em sua extração, transporte ou transformação pode sofrer contaminações com materiais estranhos como pedras, paus ou outros tipos de resíduos, por isso utiliza-se uma peneira antes do abastecimento do sistema com tamanho de até 9,0 cm para selecionar o material. Nogueira et al. (2000) cita que a maior reatividade da madeira em cavacos, se comparada à madeira em toras, aumenta a eficiência em fornalhas ou queimadores para geração de energia térmica, tornando-se mais eficientes, se trabalhados com granulometrias variando entre 5, 0 a 10,0 cm.

Diniz (2014) afirma que quanto menores forem as dimensões dos cavacos, maior será a superfície da madeira exposta, o que favorece o sistema. Verificou-se que as partículas menores entram em combustão mais rapidamente, diminuindo o tempo de queima.

Quanto à umidade do cavaco neste processo se manteve em uma média de 40 %. Cabe citar que o tempo de armazenamento deste material é recente na unidade.

O cavaco proveniente de tora apresenta umidade alta quando recém-picado. A umidade pode variar de 29,5 % a 67,3 % da base verde ao pátio. No decorrer de 30 dias a umidade pode decrescer para 25,5 % a 62,1 % e ao longo de 120 dias de 9,5 % a 47,6 % de teor de umidade base úmida (BRAND et al., 2004).

Kocurek (1992) relata que a influência da umidade é direta no momento da conversão de toras de madeira em cavacos, pois a madeira com umidade mais baixa é acompanhada por um maior consumo de energia e um desgaste prematuro das facas nos picadores.

Realizando a análise de gastos do cavaco neste estudo, verificou-se que para uma necessidade de 8.600.000 kcal, chegou-se a um gasto de 56,50 kg.h<sup>-1</sup> de cavaco.

Radin (2015) analisando os custos de cavaco de lenha concluiu que um secador KW 100 com necessidade de  $7.240.000 \text{ Kcal.h}^{-1}$  gastou  $56,92 \text{ kg.h}^{-1}$  de cavaco.

Para o manual da Kepler Weber (2010) o mesmo secador gastaria  $25,86 \text{ kg.h}^{-1}$  se o combustível fosse lenha em toras. Se considerarmos os valores comerciais atuais praticados na região, tem-se  $\text{R}\$150,00.\text{ton}^{-1}$  de cavaco e  $\text{R}\$120,00.\text{ton}^{-1}$  de lenha, então teríamos um valor de  $\text{R}\$ 8,50.\text{h}^{-1}$  para o cavaco e  $\text{R}\$ 3,10.\text{h}^{-1}$  para lenha.

Para a quantificação do cavaco utilizado durante o processo de secagem, foi inicialmente medido o volume, e ao final de cada dia de secagem a sobra foi novamente medida, e por diferença obteve-se a quantidade de cavaco ( $\text{m}^3$ ) consumida na operação de secagem. Em média, o consumo foi de  $11,30 \text{ m}^3$  de cavaco para secagem de 1.000 sacas de milho.

Apesar do valor do cavaco ser superior, tem-se que considerar outros fatores como qualidade de secagem, automação do sistema e diminuição do passivo de funcionários, e conseqüentemente menor risco de acidentes de trabalho.

Considerando outra unidade da cooperativa com o mesmo maquinário, porém com fornalha a lenha utiliza 06 funcionários por turno a mais que o sistema a cavaco.

Para Radin (2015) em seu estudo sobre o Poder Calorífico Inferior - PCI da Lenha de eucalipto e do cavaco da lenha do eucalipto, chegou aos números de  $3.200 \text{ Kcal.kg}^{-1}$  para a lenha e  $4.100 \text{ Kcal.kg}^{-1}$  para o cavaco, isto ainda segundo ele se deve a maior área específica do cavaco, o que facilitaria a queima do mesmo.

Neste caso, no queimador a temperatura de  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  foi considerada a ideal para o rendimento da secagem. Uma vez que a umidade de saída dos grãos de milho ficou entre 16,8 e 17,7 %, considerando que os grãos passaram apenas uma vez pelo secador e necessitando um complemento de secagem para armazenagem segura, como a seca-aeração no silo.

#### **4.10 Hidrocarbonetos**

Os dados encontrados foram devolvidos pelo laboratório em forma de laudos técnicos de resultados das análises diárias de entradas e saídas de amostras dos grãos, Figura 41.

ENSAIO	UNIDADE	LIMITE DE DETECÇÃO	LIMITE DE QUANTIFICAÇÃO	DIA	DIA								
				08/ago	08/ago	11/ago	11/ago	12/ago	12/ago	27/ago	27/ago	28/ago	28/ago
				ENTRADA	SAÍDA	ENTRADA	SAIDA	ENTRADA	SAIDA	ENTRADA	SAIDA	ENTRADA	SAIDA
cenafteno	µg/kg	0,6	1	**<LD	**<LD								
Acenaftileno	µg/kg	0,6	1	**<LD	**<LD								
Antraceno	µg/kg	0,6	1	**<LD	**<LD								
Benzo(a)antraceno	µg/kg	0,6	1	**<LD	**<LD								
Benzo(a)fluoranteno	µg/kg	0,6	1	**<LD	**<LD	**<LD	***<LQ	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD
Benzo(a)pireno	µg/kg	0,6	1	**<LD	**<LD	**<LD	***<LQ	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD
Benzo(b)fluoranteno	µg/kg	0,6	1	**<LD	**<LD								
Benzo(g,h,i)perileno	µg/kg	0,6	1	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	***<LQ	**<LD
Benzo(k)fluoranteno	µg/kg	0,6	1	**<LD	**<LD								
Criseno	µg/kg	0,6	1	**<LD	**<LD								
Dibenzo(a,h)antraceno	µg/kg	0,6	1	**<LD	**<LD								
Fenantreno	µg/kg	0,6	1	**<LD	**<LD								
Fluoranteno	µg/kg	0,6	1	**<LD	**<LD								
Fluoreno	µg/kg	0,6	1	**<LD	**<LD								
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	µg/kg	0,6	1	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	***<LQ	**<LD
Naftaleno	µg/kg	0,6	1	**<LD	**<LD								
PAH's Totais	µg/kg	0,6	1	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	**<LD	***<LQ	***<LQ
Pireno	µg/kg	0,6	1	**<LD	**<LD								

Figura 41 – Dados das coletas de milho. Fonte o autor (2021).

Analisando os resultados da tabela de maneira geral verificou-se que todas as amostras de entrada de grãos se apresentaram abaixo e ou dentro do Limite de Detecção e do Limite de Quantificação de Hidrocarbonetos, assim como as amostras de saída também estiveram dentro do mesmo Limite estabelecidos pela norma.

Os resultados foram enviados através de laudo de Ensaio Laboratoriais, via e-mail, no dia 15 de dezembro de 2020, contendo as informações sobre os resultados da pesquisa da presença e ou ausência de Hidrocarbonetos.

No total, o laboratório realizou 180 ensaios laboratoriais, 90 (noventa) anteriores à secagem e outros 90 (noventa) posteriores à secagem. Todas as amostras apresentaram microgramas de Hidrocarbonetos, porém em 93,7 % estes valores abaixo do Limite de Detecção e outros 6,3 % se mantiveram dentro do Limite de Quantificação.

A tabela dos HPAs revelou que o limite de detecção de  $0,6 \mu\text{g.kg}^{-1}$  não foi alcançado nos quatro primeiros dias nas amostras de entrada, ou seja, antes da secagem para nenhum dos 16 Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) prioritários de acordo com a United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1998). No quinto e último dia, entretanto, um fator interessante foi a detecção para o limite de quantificação que ultrapassa o valor de  $0,6 \mu\text{g.kg}^{-1}$  e vai até  $1,0 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , logo na amostra antes da secagem para Benzo(g,h,i)perileno, Indeno(1,2,3-c,d)pireno e PAH's Totais que seria a soma de todos os principais HPAs.

O gráfico de amostras anteriores à secagem apresentou três Hidrocarbonetos que ultrapassaram o limite de  $0,6 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , os demais se mantiveram no parâmetro, Figura 42.

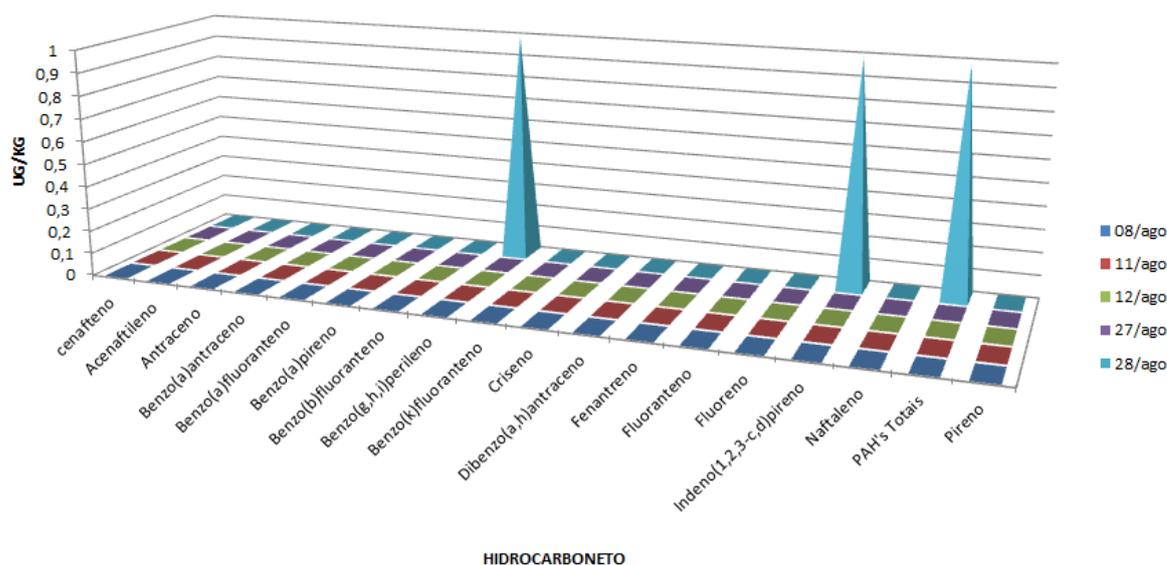


Figura 42 - Ocorrência de HPAs em amostras anteriores à secagem.

Na data de 28 de agosto, último dia de coleta de dados, verificou-se a presença de Benzo(g,h,i)perileno, de Indeno(1,2,3-c,d)pireno e de PAH's Totais, mesmo que dentro dos parâmetros utilizados pela análise, levantando alguns fatores que merecem novas avaliações e estudos.

Esta variação no resultado anterior ao processo de secagem pode ter vindo de vários fatores, como poluição de beira de estrada, queima de vegetação, ou solos já contaminados. Vo Dinh (1998) cita que durante muito tempo, a queima da vegetação foi empregada para o preparo e o cultivo do solo, na expansão de fronteiras agrícolas, não só no Brasil, mas em outros países em desenvolvimento.

Da queima quando incompleta tem-se a emissão de várias famílias de substâncias químicas, incluindo Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos. Cabe ressaltar que a quantificação deste parâmetro de avaliação necessita de um novo estudo e de uma nova avaliação laboratorial para quantificar os dados, sugerindo pesquisas posteriores.

Os Hidrocarbonetos Benzo(g,h,i)perileno e Indeno(1,2,3-c,d)pireno são considerados carcinogênicos de acordo com a USEPA, PHA'S são os mais comuns, e sugere a nomenclatura de totais. São encontrados em diversos locais como fumaça de cigarro, escapamento de automóveis e poluentes de beira de estrada.

Paraíba et al. (2011) investigou Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) em lodo de esgoto e em solo com aplicação de lodo como fertilizante agrícola.

Os resultados evidenciaram que os HPAs encontrados em lodos de esgoto podem apresentar risco de contaminação de solos.

Na década de 1990 ao pesquisar óleos de milho produzidos e comercializados no Brasil, Toledo (1998) alertava para o fato da contaminação por benzo(a)pireno (B(a)P), potente carcinógeno que tem sido utilizado por pesquisadores como indicador da presença de HPAs em alimentos. Cita também que esta contaminação pode-se dar pela poluição do ar e a partir de solos contaminados (TOLEDO; CAMARGO, 1998).

Wong et al. (2018) em experimento com camundongos, no sul de Taiwan e na cidade de Kaoshiung que é uma cidade industrial com usina de aço, carvão e combustão e com a presença deste Hidrocarboneto, analisando o sistema respiratório de animais contaminados com o poluente ambiental Indeno(1,2,3-c,d)pireno avaliou que este composto pode representar um risco para o aumento de asma, uma doença do sistema respiratório. Cita também que HPA associado a materiais particulados ambientais são um grupo de produtos químicos que podem levar à degradação celular.

A Figura 43 mostra variações de três Hidrocarbonetos, sendo: o Benzo(a)fluoranteno, o Benzo(a)pireno e PAH's Totais, sendo que o Benzo(a)pireno é considerado Carcinogênico e Mutagênico, os demais exigem pesquisas.

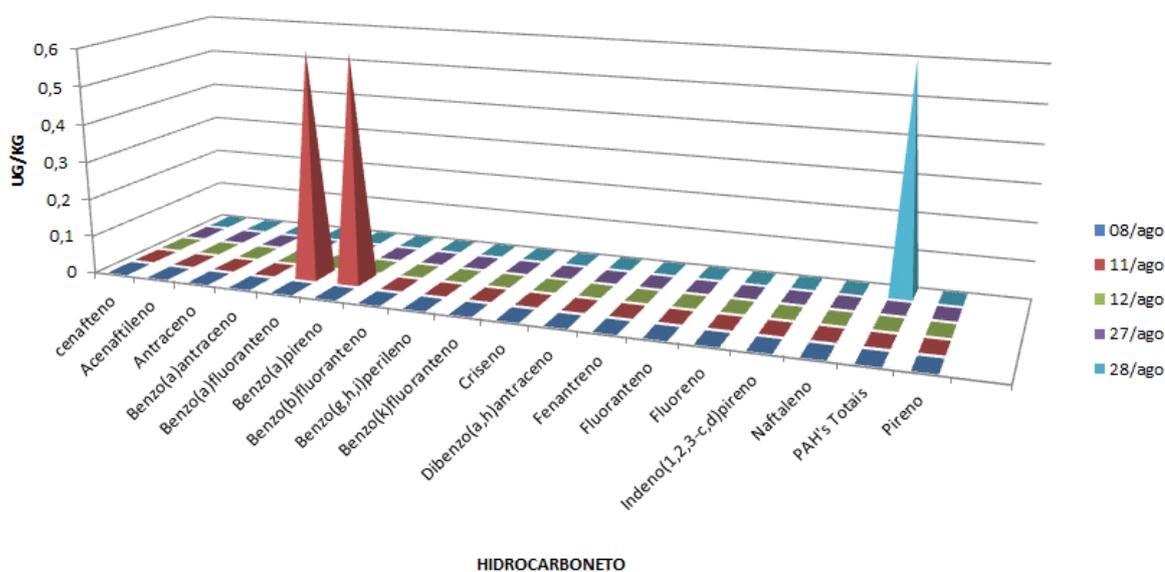


Figura 43 - Ocorrência de HPAs em amostras posteriores à secagem.

Com relação às amostras coletadas após a secagem houve uma alteração no dia 11 de agosto para benzo(a)fluoranteno e benzo(a)pireno que saíram do Limite de

Detecção para o Limite de Quantificação. Já no quinto e último dia 28 de agosto o Limite de Quantificação que tinha sido atingido para HPAS totais na amostra antes da secagem, assim permaneceu, já os outros dois Hidrocarbonetos são diferentes em sua cadeia carbônica, portanto também para os efeitos produzidos.

A Figura 44 mostra todos os Hidrocarbonetos encontrados.

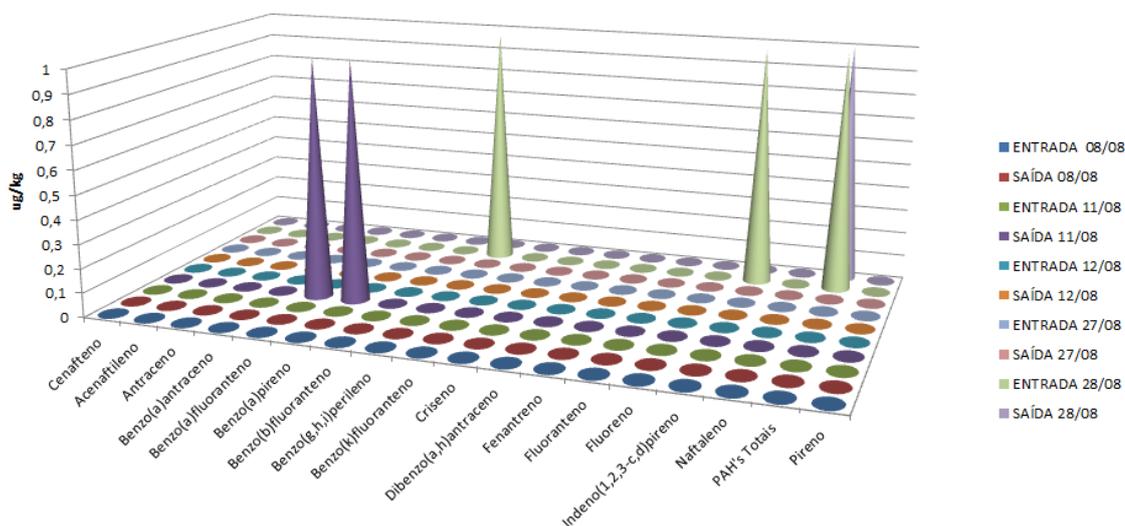


Figura 44 - Ocorrência de HPA's em amostras de milho antes e após a secagem.

A Figura 44 de entrada e saída de grãos mostram que foram encontradas variações nos tipos de Hidrocarbonetos e também nos limites, variando do limite de detecção de  $0,6 \mu\text{g.kg}^{-1}$  e para o limite de quantificação de  $1,0 \mu\text{g.kg}^{-1}$ . Este fato se deve a fatores como a contaminação durante o processo de secagem, ao tipo e umidade de combustível, a temperatura, a contaminação dos grãos antes de entrarem na Unidade de beneficiamento. Resultados ainda bem abaixo aos limites estabelecidos pela União Europeia e muito abaixo de outros trabalhos realizados considerando a lenha em toras como material combustível. No Brasil, Estado do Rio Grande do Sul, Lima (2014) cita que ao verificar amostras de milho seco em secador com fornalha a lenha com fogo direto, em diferentes temperaturas de secagem, encontrou valores muito superiores aos permitidos em alimentos, cerca de 100 vezes a mais, segundo a norma da União Europeia.

A maior média de umidade de entrada no processo de secagem dos grãos se apresentou no quarto dia, o que poderia gerar dentro do processo o aparecimento de

Hidrocarbonetos acima do limite, entretanto permaneceram dentro do limite de  $0,6 \mu\text{g.kg}^{-1}$ .

Já na menor média de entrada de umidade de grãos, ou seja, mais secos ocorreu o contrário, detectou-se a mudança do parâmetro de  $0,6 \mu\text{g.kg}^{-1}$  para  $1,0 \mu\text{g.kg}^{-1}$ .

Pode-se afirmar também que o clima não foi fator influenciador na produção ou não de HPA, pois no terceiro dia com as menores temperaturas ambientes e maiores umidades relativas do ar, o que exigiu uma carga maior de combustível para manter a temperatura, os resultados apresentaram-se inferiores ao limite de detecção da norma.

De maneira geral pode-se inferir que os grãos podem chegar à unidade de beneficiamento contaminados com diferentes Hidrocarbonetos e diferentes quantidades devido ao ar, ao solo, a água, e devido também ao processo de cultivo e manejo da lavoura desde o plantio até a colheita. Considerações estas que exigem um novo trabalho, uma nova pesquisa mais aprofundada.

A temperatura de secagem se manteve constante durante os cinco dias, em torno de  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ , o que culminou em não variações, oscilações e este equilíbrio contribuiu para o não aumento de Hidrocarbonetos. Conforme citado anteriormente Lima (2014) afirma que o maior percentual de Hidrocarbonetos em grãos ocorreu em temperaturas menores que  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ , comparando com as temperaturas utilizadas neste processo, consideradas maiores, houve poucos Hidrocarbonetos. Lima (2014) analisando secagem a temperaturas de  $40$ ,  $60$  e  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , afirma que grãos de milho submetidos ao processo de secagem em fornalha direta com uso da lenha como combustível são contaminados com HPAs.

Para ser eficiente, durante a secagem é necessário reduzir o teor de água do produto, aumentar o seu potencial de armazenagem e preservar suas características físicas e químicas, mantendo seu alto valor comercial (ATHIÉ et al., 1998).

Bakker-Arkema (2001) constatou que o processo de secagem é não linear e difícil de ser controlado em escala comercial, porém, outros autores como Martinazzo et al. (2007) dizem que para uma secagem econômica, rápida e segura deve-se monitorar e controlar os fenômenos físicos que ocorrem no processo. Estes fatores contribuem para o alcance de uma queima completa dentro do queimador, a qual se buscou comprovar neste estudo.

Rodrigues (2010) reafirma que os controles da temperatura, umidade relativa e fluxo do ar de secagem aumenta a eficiência termodinâmica da secagem, ocasionando o menor percentual de danos aos grãos.

Cabe ressaltar dois fatores relevantes, a temperatura e o combustível, Lima (2014) utilizou lenha em toras e neste caso a fornalha utilizou cavaco de lenha. Sendo assim, comprova-se que temperaturas maiores até os limites já testados e diversos estudos não estão diretamente relacionadas à produção de Hidrocarbonetos, e sim, o combustível e a eficiência do processo são mais relevantes.

A automação da alimentação de combustível com cavaco e a regulação das entradas de ar corretas do sistema, propiciam a manutenção da temperatura da queima e este processo em consonância reduz a produção de fumaça, e com consequência menor ou nenhum percentual de produção de Hidrocarbonetos.

Necessário salientar que ao final deste processo os grãos saem do secador com uma umidade aproximadamente de 17 %, entretanto para que os grãos de milho sejam armazenados com a umidade ideal que se aproxima de 14 %, é necessário um complemento de secagem, que pode ser o método de seca-aeração.

Neste estudo comprovou-se a presença de Hidrocarbonetos em todas as amostras testadas. O laboratório apresentou o Laudo com um montante de 90 (noventa) ensaios anterior e outros 90 (noventa) posterior a secagem, ressaltando os quatro diferentes Hidrocarbonetos, sendo: Benzo(g,h,i)perileno, Indeno(1,2,3-c,d)pireno e de PAH's Totais nos grãos de entrada e Benzo(a)fluoranteno, Benzo(a)pireno e PAH's Totais nos grãos após a secagem artificial.

Garcia (2015) avaliando amostras de soja (*Glycine max*) vendidas em estabelecimentos comerciais verificou que algumas apresentaram contaminação por HPA's e diferentes concentrações, sendo que grãos cultivados no Estado de São Paulo apresentaram a maior contaminação sendo de 202,46  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ , no Paraná 38,78  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ , e no Rio Grande do Sul 35,22  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ .

Comparando as regiões avaliadas, observa-se que São Paulo por ser industrializada se apresenta com mais poluentes que possivelmente contenham HPA's contaminando os grãos, já neste estudo onde a região é essencialmente agrícola, encontrou-se valores insignificantes comparativamente.

Segundo a Norma utilizada pelo laboratório os percentuais em  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  são considerados dentro dos parâmetros permitidos, e poucos em relação aos malefícios

ambientais e a saúde que podem ser ocasionados, entretanto nesta pesquisa comprovou-se a presença e ou ausência, e não foram mensuradas as quantidades dentro destes parâmetros comparativos, o que sugere uma posterior pesquisa.

A ocorrência no segundo dia da amostra onde apareceram os Hidrocarbonetos Benzo(a)fluoranteno, Benzo(a)pireno pode ser atribuída ao processo de queima incompleta decorrente de uma má regulação do sistema. Apesar de o sistema ser em grande parte automatizado, outra parte da regulação exige mão de obra qualificada e observatória para que o controle contínuo do sistema seja eficiente, ou seja, para que a máquina seja operada de forma eficiente, ocorrendo a queima completa que não produz hidrocarbonetos.

O operador necessita ter conhecimento técnico da mesma. Estas regulações variam de acordo com as condições climáticas como a qualidade e o tipo do combustível e com a umidade do produto, porém estes fatores nem sempre são considerados relevantes.

Os Hidrocarbonetos são lançados para o ambiente por processos de combustão incompleta de matéria orgânica, produtos de petróleo, efluentes Industriais e esgotos sanitários POLAKIEWICZ (2008). Os grãos podem ser contaminados nas mais diversas formas, como sementes contaminadas por fungos, através do solo, através de resíduos de herbicidas, ou ainda no fator pós-colheita, na secagem, no armazenamento ou no processo pelo qual passou (BROOKER et al., 1992). Harvey (1996) complementa afirmando que a contaminação dos grãos pode ocorrer durante os tratamentos térmicos severos a que estes grãos são submetidos, como a secagem direta com madeira e a desidratação. Neste estudo a secagem foi direta, entretanto com cavaco de lenha.

Em função do aparecimento de Hidrocarbonetos na entrada e diminuição na saída das amostras, pode ser devido a molécula química de determinados Hidrocarbonetos que podem ter reagido no processo e terem sido absorvidos. Lopes e Andrade (1996) citam que os HPAs são quimicamente inertes, porém, quando reagem, participam de reações de substituição eletrofílica e de adição. No caso das reações de adição, os compostos formados tendem a sofrer reações de eliminação, o que explica a redução de Hidrocarbonetos vistos nesta análise.

Na lavoura, durante o cultivo, pode ocorrer à deposição de HPAs, contaminando as frutas, vegetais e cereais ou até mesmo em pastagens, isto ocorre

na origem e também podem ocorrer no processamento, seja durante o processamento e limpeza dos produtos, ou no uso de água contaminada, substâncias derivadas de petróleo que são utilizadas no processamento de alimentos, e também processos industriais como defumação, tratamentos térmicos severos como a torrefação, a secagem direta com madeira e a desidratação (HARVEY, 1996).

Quanto aos PHA's totais encontrados no último dia de coleta, na entrada e saída dos grãos atribuiu-se a soma de todos os demais Hidrocarbonetos presentes, que isoladamente não atingiram o Limite de Detecção, porém quando somados se apresentam no Limite de Quantificação das amostras, segundo o tipo de análise laboratorial realizada.

Cabe ressaltar também que no Brasil não há legislação sobre o tema, o que também sugere mais pesquisas e avaliações para que futuramente sejam estabelecidos parâmetros seguros de comparação em relação aos possíveis malefícios, assim como de conhecimento dos diferentes tipos de Hidrocarbonetos contidos nos grãos que viram alimentos e são consumidos mundialmente.

Segundo Biagi (1998) o comércio internacional de grãos é definido pelas qualidades de grãos como umidade, porcentagem de inteiros, cor, presença de matérias estranhas e imperfeições. Já Sartori (2001) propõe incorporarem-se a estes fatores, outros não menos importantes como os teores de proteína e óleo, dureza, massa específica, histórico do produto e posteriormente análises químicas como HPA. Neste trabalho verificou-se a condição da queima a cavaco e se esta queima produz ou não Hidrocarbonetos. Todos os demais itens citados merecem estudos futuros, individualizados e aprofundados, devido à relevância da saúde dos humanos e da manutenção do meio ambiente.

## 5. CONCLUSÕES

As análises utilizadas comercialmente para classificação dos cereais estão mudando, com a possibilidade de logo serem solicitados laudos de isenção de HPAs nos produtos, por isso é preciso uma maior atenção à contaminação destes, fazendo controle da sua qualidade para a utilização na indústria e reduzir sua transferência aos alimentos processados.

Outra questão a ser melhorada é a legislação Brasileira, ainda restrita a poucos alimentos e a apenas alguns limites estabelecidos. Países da América do Norte e Europa, já iniciaram estudos destes contaminantes buscando resultados que alertem os consumidores sobre os riscos. Embora algumas literaturas tenham sido dedicadas à análise dos HPAs, são necessários mais trabalhos e informações com dados disponíveis sobre a ocorrência dos mesmos.

No processo de beneficiamento dos grãos, a etapa da secagem com cavaco produziu Hidrocarbonetos, mesmo que em índices abaixo dos limites utilizados por normas internacionais.

Segundo os autores citados, grãos de milho submetidos ao processo de secagem com uso da lenha como combustível são contaminados com índices maiores de HPAs, já neste trabalho avaliou-se o cavaco como combustível e verificou-se que o índice de contaminação foi menor.

O sistema com queimador a cavaco para secagem de grãos é uma tecnologia relativamente nova, com poucos anos no mercado, entretanto tem se mostrado eficiente na secagem e melhor que a lenha, mesmo a lenha automatizada, se mostrando uma queima eficiente. Cabe ressaltar a importância de medir as cinzas ao final do processo para mensurar o percentual exato de queima, e mais estudos avaliativos com o intuito de se chegar à queima completa, sua eficiência econômica, ambiental e indiretamente à saúde em relação à produção ou não de poluentes tóxicos.

Ao final da secagem a média de umidade dos grãos foi de 17 %, o que não é recomendado para armazenagem que é 14 %, sugere-se um complemento como seca aeração.

As temperaturas dos grãos durante a secagem não devem ultrapassar 100 °C, sob risco de incêndio no secador e de perda de qualidade nos próprios grãos.

Uma consideração importante é de que o cavaco não deve ser armazenado em céu aberto em função de tornar-se mais úmido, o que não ocorre com a lenha.

Sugere-se a necessidade de buscar novas tecnologias para tratar de melhorar a secagem, como fogo indireto, por exemplo. Outra necessidade é a criação de legislações e parâmetros de avaliações de Hidrocarbonetos.

Apesar do potencial do país para a produção de biomassa, ainda é preciso que os produtores adotem novas tecnologias de controle de qualidade e padrões internacionais de regulamentação para que o setor cresça e atinja seu pleno potencial.

Comprovou-se nesta pesquisa que não só a secagem incompleta pode produzir Hidrocarbonetos, mas os grãos podem sair da lavoura e ou chegar na unidade contaminados, assim se faz necessário mais estudos, observações práticas e análises técnicas de todas as etapas da cadeia produtiva do milho para obtenção de dados reais, técnicos e científicos, e não somente sobre os Hidrocarbonetos como também outros poluentes e contaminantes.

Dentre as hipóteses avaliadas verificou-se que a queima a cavaco de lenha foi completa, e não produziu Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) no grão seco, então a automação da alimentação do combustível no queimador melhora a eficiência e a qualidade da secagem e o controle de Oxigênio que ocorre dentro da câmara de combustão do queimador, proporciona uma queima completa, melhorando a eficiência do secador; e a eficiência e economia do sistema.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFONSO, A. D. L. **Curso de Operação e Manutenção de Máquinas e Equipamentos. Cascavel:** Centro Nacional de treinamento em Armazenagem, 2011. p 01 a 13.
- AFONSO JÚNIOR P.C., FILHO D.O. e COSTA D.R. **Viabilidade econômica de produção de lenha de eucalipto para secagem de produtos agrícolas.** Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v.26, nº.1, jan, 2006.
- ANDRADE, E.B., SASSERON, J.L., OLIVEIRA FILHO, D. **Princípios sobre combustíveis, combustão e fornalhas.** Viçosa, MG: UFV, 1985. 40 p.
- ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 2, de 15 de janeiro de 2007. **Regulamento Técnico sobre Aditivos Aromatizantes.** Disponível em: [http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/9a67750047457f218ac0de3fbc4c6735/RDC2\\_2007.pdf?MOD=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/9a67750047457f218ac0de3fbc4c6735/RDC2_2007.pdf?MOD=AJPERES). Acesso em: 17 de junho de 2020
- ATHIÉ, I.; CASTRO, M.F.P.M. de.; GOMES, R.A.R.; VALENTINI, S.R.T. **Conservação de Grãos.** Campinas, Fundação Cargill, 1998. p. 15, 16, 115, 123, 125, 171, 172, 191.
- BAKKER-ARKEMA, F. W., LEREW, L.E. BROOK, R. C., BROOKER, D. B. **Energy and Capacity Performance Evaluation of Grain Dryers.** St. Joseph. ASAE, 1978. 13p.
- BAUDET, L.; VILLELA, F. A. **Armazenamento Garantindo o Futuro.** SEED NEWS Pelotas: Editora Becker e Peske Ltda, p.28-32, 2000.
- BIAGI, J. D. **Implicações na Granulometria de Ingredientes na qualidade de peletes e na economia da produção de rações.** SIMPÓSIO SOBRE GRANULOMETRIA DE INGREDIENTES E RAÇÕES PARA AVES E SUÍNOS, 1998, Concórdia, SC. Anais, Porto Alegre, RS, 1998. p. 57.
- BRAGANTINI, C.; VIEIRA, E. H. N. **Secagem, armazenamento e beneficiamento.** Embrapa Arroz e Feijão, 2004.
- BRAND, M. A. et al. **Avaliação do processo produtivo de uma indústria de manufatura de painéis por meio do balanço de material e do rendimento da matéria-prima.** Revista Árvore. v.28, n.4, p.553-562, 2004.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Resolução no 175, de 08 de julho de 2003. Aprova **Regulamento Técnico de Avaliação de Matérias Macroscópicas e Microscópicas prejudiciais à saúde humana em alimentos embalados.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 de julho de 2003.
- BRIDGWATER, A.V. **Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading.** *Biomass and Bioenergy*, v.38, p.68-94, 2012
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W., **Drying and storage of grains and oilseeds.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450p

BRUM, A. L.; LUFT, A. **Aspectos da cadeia produtiva do milho e as relações comerciais nos estados do Rio Grande do Sul e Mato Grosso (1994/95-2005/06)**. Revista Extensão Rural, Santa Maria, v. 15, n. 16, p. 117-143, 2008.

CAMARGO, M. C. R.; TOLEDO, M. C. F. **Avaliação da Contaminação de Diferentes Grupos de Alimentos por Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos**. Braz. J. Food Technol., Campinas, v. 5, p. 19-26, 2002.

CARDOSO SOBRINHO, J. **Simulação e avaliação de sistemas de secagem de café**. Viçosa: UFV, 2001. 112p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2001.

CARUSO, M. S. F. ALABURDA, J. **Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos - Benzo(a)pireno: uma revisão**. Rev. Inst. Adolfo Lutz. v.67, n.1 São Paulo, 2008.

CARVALHO JR., J. A. de; LACAVAL, P. T. **Emissões em processos de combustão**. São Paulo: Editora UNESP, 2003.

CASSINI, A. S. **Análise das características de secagem da proteína texturizada de soja**. Porto Alegre: UFRGS, 2004. 136p

CERAGIOLI, N. S. **Qualidade de cavacos produzidos em sistemas florestais de curta rotação de eucalipto para fins energéticos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.

CO Ania, B Cabal, C Pevida, A Arenillas, JB Parra, F Rubiera, JJ Pis. **Effects Of Activated Carbon Properties on The Adsorption Of Naphthalene From Aqueous Solutions**. Instituto Nacional del Carbón, CSIC. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/36023373.pdf>. Acesso em: 01 de fev. de 2021.

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. Commission Regulation (EC) nº 835/2011, 19 August 2011. **Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs**. Official Journal of European Union, 20.08.2011. Disponível em: <<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:215:0004:0008:PT:PDF>>. Acesso em: 17 out. 2019.

Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária**. Companhia Nacional de Abastecimento – v.6 – Brasília: Conab, 2020- v. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>

CONDE de FJ, AYALA JH, AFONSO AM, GONZALEZ V. **Optimization of a sampling method to determine polycyclic aromatic hydrocarbons in smoke from incomplete biomass combustion**. Anal Chim Acta. 2004; 524:287-94.

COPACOL. Disponível em: <https://www.copacol.com.br/copacol/historia>. Acesso em: 21 de jan. 2021.

CORADI, P. C.; LACERDA FILHO, A. F. de; CHAVES, J. B. P.; MELO, E. C. **Quantification of physical losses products in a plant of feed.** Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v. 23, p. 105-118, 2015

COSTA, C.C. da; GUILHOTO, J. J. M, IMORI, D., **Importância dos setores agroindustriais na geração de renda e emprego para a economia brasileira,** Revista de Economia e Sociologia Rural, vol. 51, Nº 4, Brasília, 2013.

COSTA, M. F. **Qualidade e riscos de contaminações de produtos armazenados.** Cuiabá, p.1-48, 2012.

CORRÊA, M. S.; ARBILLA, G.; **Atmos. Environ.** 2006, p.40,.

CORTEZ, L. A. B; LORA, E. E. S e GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia.** Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008.

D'ARCE, M. A. B. **Pós Colheita e Armazenamento de Grãos.** Departamento. Agroindústria, Alimentos e Nutrição ESALQ/USP. p.1-17, 2008.

DEBASTANI, R.; IAVANOVI, I. N. **A compilation of physical spectroscopic and photophysical properties of polycyclic aromatic hydrocarbons. Photochemistry and Photobiology,** v. 70, p. 1-10, 1999.

DINIZ, I. S. **Estudo da Influência da Umidade no Consumo Específico do Cavaco de Madeira Para Geração de Vapor Saturado em Caldeira de Biomassa.** Monografia apresentada ao Programa de Especialização em Engenharia de Produção da Gerência de Pesquisa e Pós-Graduação, do Campus Ponta Grossa, da UTFPR. PONTA GROSSA. 2014.

ELIAS, M.C. **Fatores que influenciam a aeração e o manejo da conservação de grãos.** In: LORINI, I. et al. (Ed). Armazenagem de grãos. Campinas: IBG, 2002. p.311-359

ELIAS, M.C.; OLIVEIRA, M. **Aspectos Tecnológicos e Legais na Formação de auditores técnicos do sistema nacional de certificação de unidades armazenadoras.** Pelotas: Ed. Santa Cruz, 2009. 430p.

EMBRAPA MILHO E SORGO, **Sistemas de Produção,** 9º Edição, Brasília, Nov/2015.

EMBRAPA MILHO E SORGO, 2009. **Sistemas de produção** 2 versão eletrônica – 5a edição. Disponível em: [http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_5\\_ed/referencias.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_5_ed/referencias.htm),. Acesso em: Junho, 2020.

EPA, **United States Environmental Protection Agency.** The SW-846 Compendium. disponível em: <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-compendium>, acesso em 01/07/2020

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos.** 2.ed. São Paulo: Atheneu, 2001. 652 p.

EUROPEAN COMMISSION. **Health and Consumer Protection Directorate-General. Polycyclic aromatic hydrocarbons - Occurrence in foods, dietary exposure and health effects.** SCF/CS/CNTM/PAH/29 ADD1 Final. Brussels, 2002.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations Better information sharing could reduce post-harvest food losses. **New database launched 2006.** Rome: FAO. Disponível em: <[www.fao.org/es](http://www.fao.org/es)>. Acesso em: 20/12/2020.

FERRARI, R. C. **Utilização de modelo matemático de otimização para identificação de locais para instalação de unidades armazenadoras de soja no estado do Mato Grosso.** 2006. 187 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba

FORTES, M.; FERREIRA, W. R. **Second law analysis of drying: - modeling and simulation of fluidized bed grain drying.** 14 International Drying Symposium (IDS), São Paulo, Brazil, 2004. CD-ROM, 8p.

FREDERICO, S., **Agricultura científica globalizada e fronteira agrícola moderna no Brasil,** Revista Franco Brasileira de Geografia, Nº 17, Confins, 2013.

FREITAS, Fábio de Oliveira. 2001. **Estudo genético-evolutivo de amostras modernas e arqueológicas de milho (Zea mays L.) e feijão (Phaseolus vulgaris, L.),** Piracicaba : ESALQ, (tese de doutorado)

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC. **Teoria simplificada da combustão.** Belo Horizonte, MG, 1988. 30p. (Série de publicações técnicas. SPT-017).

GOOGLE MAPS. **Coordenadas geográficas.** Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/24%C2%B048'10.0%22S+53%C2%B023'55.3%22W/@-24.8027639,-53.4337012,13z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d-24.8027639!4d-53.3986823>. Acesso em: 27 de jan. de 2021.

GUILHOTO, J. J. M., AZZONI, C. R., SILVEIRA, F. G., ICHIHARA, S. M., DINIZ, B. P. C. e MOREIRA, G. R. C. **PIB da Agricultura Familiar: Brasil – Estados.** NEAD Estudos. Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). Brasília, 2007.

GRUNKRAUT, M. **Cavacos:** Coopermiti, 2012. Disponível em: <http://www.coopermiti.com.br/educacao/cavaco.pdf>. Acesso em: 09/nov/2019.

HACKENHAAR, N. M.; HACKENHAAR, C.; ABREU, Y. V. de; **Robótica na Agricultura,** Interações, Vol. 16, Nº 1, Campo Grande, 2015.

HARVEY; G. R. **Mechanisms of carcinogenesis of polycyclic aromatic hydrocarbons.** The Journal of the International Society for Polycyclic Aromatic Compounds, v.9, p. 1-23, 1996.

HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin. **Energia e meio ambiente.** Tradução de Lineu Belico dos Reis, Flávio Maron Vichi, Leonardo Freire Mello. São Paulo: Cengage

Learning, 2010.

IARC, International Agency for Research on Cancer. **Monographs on the evaluation of carcinogenic risk of chemicals to humans: Polynuclear Aromatic Compounds.** 32, IARC, Lyon, 1983.

IARC, International Agency for Research on Cancer. **Monographs on the evaluation of carcinogenic risk of chemicals to humans.** Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. 2006b. [Acesso em 17/06/20]. Disponível em: [http://monographs.iarc.fr/ENG/Meetings/92\\_pahs.pdf](http://monographs.iarc.fr/ENG/Meetings/92_pahs.pdf).

ICH: **Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology**, in Q2(R1). ICH Harmonised Tripartite Guideline: London, 2005.

INCROPERA, F.P., DEWITT, D. **Fundamentos de transferência de calor e de massa.** 3.ed. Rio de Janeiro : Guanabara KOOGAN,1993. 455p.

JQUES, R. J. S.; BENTO, F. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; CAMARGO, F. A. D. **Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos.** Ciência Rural, v.34, n. 4, p.1192-1201, 2007

KOCUREK, M. **Mill Control and Control Systems: Quality Testing, Environmental, Corrosion, Electrical Systems.** 2nd ed. ed. [S.I.]: Tappi Pr, 1992.

KOLLMANN, F.P.T.; KUENZI, E.W.; STAMM, A.J. **Principles of wood science and technology II: wood based materials.** 2. ed. v. 2. Berlin: Springer-Verlag, 1975.  
KOLLING, E. M.; TROGELLO, E.; MODOLO, A. J. **Inconvenientes técnico-operacionais de uma unidade beneficiadora e armazenadora de produtos agrícolas.** Engenharia na agricultura, v.20, n.1, p. 52-59, 2012.

LACERDA FILHO, A.F. de. **Avaliação de uma unidade de beneficiamento de sementes de milho (Zea Mays, L.).** Botucatu: UNESP, 1998. 198p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, 1998.

LEITE, M. A. Amostragem dos Grãos. **Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira.** Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos. Disponível em: [https://wp.ufpel.edu.br/nutricaoanimal/files/2011/04/Amostragem\\_gr%C3%A3os.pdf](https://wp.ufpel.edu.br/nutricaoanimal/files/2011/04/Amostragem_gr%C3%A3os.pdf). Acesso em: 29 de jan. 2021.

LIMA, R. F., **Qualidade de Grãos de Milho Submetidos a Secagem com Lenha em Diferentes Temperaturas e Períodos de Armazenamento,** Porto Alegre, UFRGS, Tese (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

LIPPEL. **Cavacos de madeira.** Disponível em: <http://www.lippel.com.br/br/sustentabilidade/cavacos-de-madeira#.V0He8VQr11J>. 2014. Acesso em: 09/nov/2019.

LOPES, R.P.; AFONSO, A.D.L.; SILVA, J.S. **Energia no pré-processamento de produtos agrícolas.** Viçosa: Aprenda Fácil, 2000 p.191-219.

LOPES, R.P. **Desenvolvimento de um sistema gerador de calor com opção para aquecimento direto e indireto de ar.** Viçosa, MG; UFV, Impr. Univ, 2002, 220p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2002.

LORA, E.S.; HAPP, J.F.; CORTEZ, L.A.B.; **Caracterização e disponibilidade da biomassa.** Manaus: EDUA/EFEI. 1997. P 5-38.

LOPES, R.P.; SOBRINHO, J.C.; SILVA, J.S.; SILVA, J.N. da. **Fontes de energia para secagem de café.** Viçosa; Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais/UFV. 2001. (Boletim técnico 3).

LOPES WA, ANDRADE JB. Fontes, formação, reatividade e quantificação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) na atmosfera. **Química Nova.** 19(5):497-516, 1996.

MARTINS, R. R.; FRANCO, J. B. R.; OLIVEIRA, P. A. V. **Tecnologia de secagem de grãos.** Passo Fundo: Embrapa Trigo/ EMATER/RS, 1999. 90 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 8).

MEIRE, RO; AZEREDO, A; TORRES, MJP. **Aspectos ecotoxicológicos de HPAs.** Oecologia Bras.v.11, n.2, p. 188-201, 2007.

MELO, F.A.O., **Desenvolvimento e construção de fornalha para biomassa com sistema de aquecimento direto e indireto do ar,** Acta Scientiarum. Technology, 2010, Maringá, v. 32, n. 2, p. 129-136.

MELO, I.S. & AZEVEDO, J.L. **Microbiologia Ambiental.** Embrapa, 1999. P.307-334.

MIRANDA, L.C.; SILVA, W.R.; CAVARIANI, C.; **Secagem de sementes de soja em silos com distribuição radial do fluxo de ar.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.34, n.11, 1999.

MÜLLER, M. D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba.** 2005, 108 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

NASCIMENTO, M. D. **Otimização do uso de lenha e cavaco de madeira para produção de energia em agroindústria** Seropédica. 90p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista., Botucatu, SP, 2007.

NETO; W. A. da S.; ARRUDA, P. N.; BASTOS, A. C., **O Déficit na Capacidade Estática de Armazenagem de Grãos no Estado de Goiás.** Gestão & Regionalidade, vol. 32, núm. 96, 2016, pp. 151-169 Universidade Municipal de São Caetano do Sul São Caetano do Sul, Brasil.

NOGUEIRA, L. U. H; LORA, E. E. S. e TROSSERO, M. A. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações.** Brasília: Aneel, 2000.

OLIVEIRA FILHO, D. **Aquecimento de ar.** Viçosa, CENTREINAR, 1986.

OLIVEIRA, V. **Operações Práticas de Secagem**. Anais. 5º Simpósio Paranaense de Pós-Colheita e 4º Simpósio Internacional de Grãos Armazenados. 28 a 30 de maio de 2008, em Cascavel.

OSÓRIO, A.G.S. **Projeto e construção de um secador intermitente de fluxo concorrente e sua avaliação na secagem de café**. Viçosa, MG: UFV, 1982. 57p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1982.

PARÁIBA, C. QUEIROZ, S, C. N. SOUZA, D. R. C. de. SAITO, M. L. **Risk Simulation of Soil Contamination by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Sewage Sludge used as Fertilizers**. Sociedade Brasileira de Química. J. Braz. Chem. Soc., Vol. 22. No. 6. 1156-1163, 2011. Printed in Brazil - ©2011. São Paulo.

PARK, K. J. et al. **Conceitos de Processo e Equipamentos de Secagem**. Campinas: UNICAMP, março 2007. Disponível em: <http://www.feagri.unicamp.br/ctea/projpesq.Html>. Acesso em: 23/06/2019.

PAZ, A. P. S., NASCIMENTO, E. C. P., MARCONDES, H. C., SILVA, M. C. F., HAMOY, M., MELLO, V. J., **Presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em produtos alimentícios e a sua relação com o método de cocção e a natureza do alimento**, Brazilian Journal of Food Technology., Campinas, v. 20, 2017.

PERA, H. **Geradores de vapor: um compêndio sobre conversão de energia com vistas à preservação da ecologia**. São Paulo: Fama, 1990.

PEREIRA, J. C. D. et al. **Documentos 38: características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa, 2000.

POLAKIEWICZ, L. **Estudo de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos nos Estuários de Santos e São Vicente-SP Utilizando Diatomito Como Material Adsorvente**. IPEN. Autarquia Associada à Universidade de São Paulo. Universidade de São Paulo, 2008.

PIMENTEL, M. A. G.; FONSECA, M. J. O. **Secagem e Armazenamento**. Embrapa Milho e Sorgo, 2011.

PRATES, M. O. **Controle da temperatura e velocidade do ar de secagem em um secador de plantas medicinais**. Viçosa, MG. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2009

PUZZI, D. **Abastecimento e Armazenagem de Grãos**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 603p.

RADIN, G. MAIA, C. H. **Custo Energético de Lenha e Cavaco de Madeira para Secagem de Grãos em Agroindústria**. Universidade Rio Verde. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Ambiental - Universidade de Rio Verde. 2015. Disponível em: <http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/CUSTO%20ENERGETICO%20LEM%20E%20>

[CLE%20PARA%20SECAGEM%20DE%20GRAOS%20EM%20AGROINDUSTRIA.pdf](#). Acesso em: 03 de jan. 2021.

RAVINDRA, K.; SOKHI, R.; GRIEKEN, V. R.; **Atmos. Environ.** 2008, P42.

REDE OMNIA. **Manual da Química**. Definição de Hidrocarbonetos. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-organica/hidrocarbonetos.htm>. Acesso em: 01 de fev. de 2021.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M.; RODRIGUES, S. **Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (Phaseolus vulgaris L.)**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v. 1(2): 17-26, 2008.

RIBEIRO I. e VICARI C. C., **Análise de Viabilidade Econômica para Secagem de Milho com Gás Liquefeito de Petróleo**, disponível em: <http://www.unioeste.br/campi/cascavel/ccsa/VSeminarario/IVSeminarario/Artigos/07.pdf>, Anais do IV Seminário do CCSA, 2005, consultado em 01/04/2020.

SAGLIETTI, J.R.C. **Rendimento térmico de fornalha a lenha de fluxos cruzados**. Botucatu: UNESP, 1991. 102p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, 1991

SÁNCHEZ, C.G. **Tecnologia da combustão** (Capítulo II). Disponível em: <ftp://ftp.fem.unicamp.br/pub/IM351/Comb-Cap2.pdf>. Acesso em: 20/05/2020.

SARTORI, J. A. **Qualidade dos Grãos de Milho após Processo de Secagem**, 2001. 54f, Dissertação Mestrado em Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas, 2001.

SCHWARZENBACH, R. P.; GSCHWEND, P. M.; IMBODEN, D. M.; **Environmental Organic Chemistry**, Wiley-Interscience: USA, 1995.

SCHUH, G.; GOTTARDI, R.; FERRARI FILHO, E.; ANTUNES, L. E. G.; DIONELLO, R. G. **Efeitos de dois métodos de secagem sobre a qualidade físico-química de grãos de milho safrinha - RS, armazenados por 6 meses**. Semina: Ciências Agrárias, v.32, n.1, p. 235-244. 2011.

SERFATY, R. **Combustão e queimadores**. CENPES. 2007.

SERRATOS, H. J. A. **El origen y la diversidad del maíz en el continente Americano**. Greenpeace. México, DF. 2009

SILVA, A.A.L. **Desenvolvimento de um índice para avaliação de danos mecânicos em grãos de milho**. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.5, n.3, p.244-253, 1997.

SILVA, J.S., GOMES, R.A.R., HARA, T. et al. **Estudo de uma fornalha para secagem de grãos com aquecimento direto**. Engenharia na Agricultura. Série Armazenamento. Viçosa, MG, v.1,n.2, 1991. 15p.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; GUIMARÃES, A. C. **Estudos dos métodos de Secagem**. Juiz de Fora: Instituto Maria, 1995. p. 105-143.

SILVA, J.N.; SOBRINHO, C. **Análise Energética da Secagem de Café em Secadores Horizontal e Vertical de Fluxos Cruzados**. Simpósio de Pesquisa dos cafés do Brasil. Viçosa, 1998. P. 717-723

SILVA, L. C. **Secagem de Grãos**, Artigo Publicado na Revista: Grãos Brasil: Da Semente ao Consumo, Ano III, nº XIV, maio de 2004, p. 10 -14.

SILVA, J. de S., AFONSO, A. D. L., DONZELLES, S. M. L. **Secagem e secadores**. Viçosa, MG. 1 ed. Aprenda Fácil, 2000. 502 p.

SIMKO, P. (2002). **The balance sheet as an earnings management constraint**. The Accounting Review, 77, 1-27.

SIMS, R.C., SIMS, J.L. SORENSEN, D.L., HASTING, L. **Waste/soil treatability studies for four complex industrial wastes: methodologies and results**. USEPA, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, v. 1, p 154, 1988.

TEIXEIRA, M. M.; MARTYN, P. J.; TETUO HARA, T.; CUNHA, J. P. R. **Propriedades Físicas E Aerodinâmicas Aplicadas Ao Projeto De Máquinas De Limpeza Para Grãos De Milho**. Engenharia na Agricultura. Viçosa, p.52-57, 2003.

TOLEDO, M.C.F., CAMARGO, M.S.F.O, **Benzo(a)pireno em Óleos de Milho Produzidos e Comercializados no Brasil**, Ciência e Tecnologia de Alimentos, vol. 18, nº 1, Campinas, 1998.

TROCHE, Karla Souza. **Estudo da Atividade carcinogênica dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos através de descritores quânticos**. 2003. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física Gleb Wataghin, Campinas, SP.

USDA. **Foreign Agricultural Service**. Production, supply and distribution online. Washington, 2016. Disponível em: . Acesso em: 20 out. 2019.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Semivolatiles organic compounds by gas chromatography/ mass spectrometry (GC/MS) – Method 8270D**, 1998. Disponível em: <http://www.epa.gov>. Acessado em 17 de junho de 2020

VALARELLI, I.D. **Desenvolvimento e teste de uma fornalha à resíduos agrícolas, de fogo indireto para secadores de produtos agrícolas**. Botucatu: UNESP, 1991. 123p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, 1991.

VAN WYLEN, G.J., SONNTAG, R.E. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. São Paulo: Edgar Blücher, 1993. 318p.

VLASSOV, D. **Combustíveis, combustão e câmaras de combustão**. Curitiba: UFPR, 2001.

WANG G, LEE AS, LEWIS M, KAMATH B, ARCHER RK. **Accelerated solvent extraction and gas chromatography/mass spectrometry for determination of**

**polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked food samples.** J Agric Food Chem. 1999; 47:1062-66

WONG, T. H., LEE, C. L., SU, .H H., LEE, C. L., WU, C. C., WANG, C. C., SHEU, C. C., LAI, R. S., LEUNG, S. Y., LIN, C. C., WEI, Y. F., WANG, C. J., LIN, Y. C., CHEN, H. L., HUANG, M. S., YEN, J. H., HUANG, S. K., SUEN, J. L. **A prominent air pollutant, Indeno[1,2,3-cd]pyrene, enhances allergic lung infammation via aryl hydrocarbon receptor.** Scientific ReportS.Revista Nature. 2018. Disponível em: file:///C:/Users/User/Downloads/s41598-018-23542-9.pdf. Acesso em: 10 de fev. de 2021.

VEJA-GALVEZ, A.; AH-HEN, K.; CHACANA, M.; VERGARA, J.; MARTINEZ-MONZÓ, J.; GARCÍA-SEGOVIA, P.; LEMUS-MONDACA, R.; SCALA, K. D. **Effect of temperature and air velocity on drying kinetics , antioxidante capacity, total phenolic contente, colour, texture and microstructure of apple (granny smith) slices.** Food Chemistry. Elsevier, v. 132, n 1, p. 51-59, 2012.

VO DINH, T.; FETZER, J.; CAMPIGLIA, A. D. **Monitoring and characterization of polyaromatic compounds in the environment.** Talanta, v. 47, p. 943-969, 1998.

WEBER, E. A. Secadores. In: Weber, E. A., **Excelência em beneficiamento e Armazenagem de Grãos**, Livraria e editora Salles. Canoas - RS, 2005, p. 155-310.

WEBER, E. A. **Armazenagem agrícola**, 1998. 2º ed., Porto Alegre: Kepler Weber, 400p