

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GILMARA EMANUELA LEOBET DIAS

**ANÁLISE DA SECAGEM CONVECTIVA DE RESÍDUO PROVENIENTE
DA FABRICAÇÃO DE VINHO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CURITIBA

2018

GILMARA EMANUELA LEOBET DIAS

**ANÁLISE DA SECAGEM CONVECTIVA DE RESÍDUO PROVENIENTE
DA FABRICAÇÃO DE VINHO**

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil, Área de Concentração: Meio Ambiente – Saneamento e Recursos Hídricos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Curitiba.

Orientador: Prof. Dr. Flavio Bentes Freire
Coorientador: Prof. Dr. Fabio Bentes Freire

CURITIBA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

D541a Dias, Gilmara Emanuela Leobet
2018 Análise da secagem convectiva de resíduo proveniente da fabricação de vinho / Gilmara Emanuela Leobet Dias.-- 2018.
91 f.: il.; 30 cm.

Disponível também via World Wide Web.

Texto em português com resumo em inglês.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Área de Concentração: Meio Ambiente; Saneamento e Recursos Hídricos, Curitiba, 2018.
Bibliografia: p. 84-91.

1. Vinho e vinificação. 2. Secagem. 3. Calor - Convecção. 4. Borra de vinho. 5. Meio ambiente. 6. Saneamento. 7. Engenharia civil - Dissertações. I. Freire, Flavio Bentes, orient. II. Freire, Fabio Bentes, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, inst. IV. Título.

CDD: Ed. 22 -- 624

Biblioteca Ecoville da UTFPR, Câmpus Curitiba
Bibliotecária Lucia Ferreira Littiere - CRB 9/1271



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 139

A Dissertação de Mestrado intitulada ANÁLISE DA SECAGEM CONVECTIVA DE RESÍDUO PROVENIENTE DA FABRICAÇÃO DE VINHO, defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) **Gilmara Emanuela Leobet Dias**, no dia 02 de março de 2018, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Meio Ambiente, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA:

Prof(a). Dr(a). Flavio Bentes Freire - Presidente - UTFPR

Prof(a). Dr(a). Karina Querne de Carvalho Passig– UTFPR

Prof(a). Dr(a). Maria do Carmo Ferreira - UFSCar

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 02 de março de 2018.

Carimbo e Assinatura do(a) Coordenador(a) do Programa

A Deus, Senhor de todas as coisas, que nos fornece força e fé necessária para superarmos as dificuldades e alcançarmos nossos sonhos.

A meus pais, a quem devo agradecer por todo apoio, por guiar meus passos, pelas minhas conquistas e por tudo que fazem pelos seus filhos.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus pelo dom da vida, saúde, por sempre me guiar pelos caminhos corretos, por todas as oportunidades ao longo dessa caminhada, por me dar força e fé necessária para passar por todos os momentos de dificuldade.

Aos meus pais, que me proporcionaram toda educação e suporte necessário para realizar mais essa conquista. Por me darem a oportunidade e apoio para realizar mais esta conquista. Pela paciência nos momentos em que estive ausente, por estarem ao meu lado para superar os momentos mais difíceis.

Aos colegas de faculdade que sempre se mostraram dispostos a ajudar para superarmos as dificuldades encontradas ao longo do curso juntos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Flavio Bentes Freire, professor de longa data, que aceitou me conduzir nesta dissertação, obrigado por todas as sugestões, orientações e pela paciência para que essa conquista fosse possível.

Ao meu coordenador Prof. Dr. Fabio Bentes Freire pelos conhecimentos transmitidos nessa trajetória, pelo constante incentivo e pela oportunidade e confiança conferida para trabalhar nessa área.

Ao Prof. Dr. José Teixeira Freire, pelo apoio, incentivo, sugestões e esclarecimentos ao decorrer deste trabalho, com o intuito de obter o melhor resultado.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), com os quais tive a oportunidade de compartilhar de seus conhecimentos.

A Prof. Dr. Karina Querne de Carvalho Passig, por todo ensinamento, sugestões e incentivos para enriquecimento da pesquisa.

A Marcos Paulo Felizardo pela gentileza, pelos ensinamentos, conhecimentos repassados e auxílio em vários momentos durante toda a pesquisa.

A Rúbia Camila Ronqui Bottini pelo auxílio nas análises de FTIR no Laboratório Multiusuário de Análises Químicas (LAMAQ) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Curitiba.

A Felipe Perretto pelo auxílio nas análises de ATG e ATD no Laboratório de Caracterização do NPT (Núcleo de Pesquisa Tecnológica) do Departamento

Acadêmico de Construção Civil (DACOC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Curitiba.

A Izadora Consalter Pereira, pela amizade, pelos ensinamentos nas mais diversas áreas, pelas sugestões e ajudas neste trabalho.

Aos colegas de mestrado, em especial do laboratório de Saneamento, pela força, ajuda, alegria e amizade nessa caminhada que percorremos juntos, Mateus Xavier de Lima, André Gustavo Patel, Marcela Marcondes Santana, Thiago Castanho Pereira, Juliene Paiva Flores, Atila Ribas, Aldria Belini, Mateus Pauli, Lucas Cabral, Leonardo Kozak Michelin, Augusto Schmidt.

Ao pessoal do Centro de Secagem da UFSCar, por toda ajuda, acolhimento, pelos ensinamentos de química e pelas sugestões e contribuições neste trabalho.

Por fim a todos com quem tive a oportunidade de conhecer ao longo desta formação e contribuíram com conhecimentos necessários para concluir mais esta etapa.

RESUMO

DIAS, Gilmara E. L. **Análise da Secagem Convectiva de Resíduo Proveniente da Fabricação de Vinho**. 2018. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

A borra é um resíduo proveniente do processo de fabricação do vinho que, sem o correto tratamento, acaba poluindo o ambiente. Assim, diante desta problemática, este trabalho tem como objetivo estudar a secagem da borra vinícola. O propósito principal diz respeito ao estudo de métodos de secagem do resíduo visando a redução do volume de água e, estabilidade e qualidade dos compostos orgânicos presentes para um aproveitamento posterior. Primeiramente, o resíduo foi caracterizado físico-quimicamente por pH, turbidez, condutividade, Demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio, fósforo, sólidos totais e grupos funcionais. Após a caracterização, foi realizado o planejamento fatorial e ensaios preliminares para definir os métodos e equipamentos de secagem. Procederam-se os experimentos de secagem em estufa sem circulação de ar; secagem em estufa com circulação de ar, secagem por aquecimento infravermelho e secagem por convecção forçada usando túnel de vento a fim de conhecer o comportamento térmico do resíduo através da umidade em base seca e do fluxo de massa de água. Também foram realizados experimentos de Análise Termogravimétrica (ATG), Análise Térmica Diferencial (ATD), Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC). Os métodos de secagem foram analisados comparativamente quanto ao fluxo mássico do resíduo e taxa de secagem para diferentes temperaturas. A partir do planejamento fatorial e dos ensaios preliminares verificou-se o quanto a temperatura e interação entre temperatura e altura de camada exercem influência significativa no resíduo a ser seco. Através da curva de nível e da superfície de resposta observou-se que a secagem apresenta melhores resultados para temperaturas menores que 85 °C. Assim, os métodos de secagem estudados foram para temperaturas próximas de 85 °C. Dentre estes métodos, a secagem em estufa com convecção natural apresentou comportamento semelhante quando comparada a secagem via aquecimento por infravermelho (IR), sendo o IR levemente mais rápido. Na temperatura de 60°C, ambos obtiveram tempo de secagem de 300 min. Ao comparar a estufa de convecção forçada (EC) com o ensaio em túnel de vento (TV), as cinéticas de secagem foram semelhantes com tempo de 112 min para 60 °C. Assim, comparando-se os métodos, o processo de evaporação foi mais eficaz por meio do escoamento forçado (CF) em relação à secagem por convecção natural (CN). Nos ensaios realizados a 60 °C percebe-se que a secagem por CF obteve um tempo de secagem bem menor (110 min) em comparação a CN (325 min), em relação ao fluxo mássico de água a CF apresentou valores bem mais elevados (0,46 g/s/m²) quando comparada a CN (0,21 g/s/m²), comportamento que repetiu-se para as outras temperaturas estudadas. Desta maneira, conclui-se que os processos de secagem adotados foram adequados para secagem da borra vinícola, principalmente por meio de CF. Conclui-se também, através das análises térmicas e da comparação do resíduo com água pura, que há influência dos compostos fenólicos presentes no resíduo durante os processos de secagem e, conseqüentemente, na temperatura.

Palavras-chave: Vinificação, Borra de Vinho, Secagem, Convecção Forçada, Convecção Natural.

ABSTRACT

DIAS, Gilmara E. L. ***Analysis of Convective Drying of Residues from Winemaking***. 2018. 91 f. Dissertation (Master in Civil Engineering) – Postgraduate Program in Civil Engineering, Federal Technological University of Paraná, Curitiba, 2018.

Wine lees is a residue from the winemaking process that, without proper treatment, ends up polluting the environment. Thus, in view of this problem, this work has the objective of studying the drying of the lees from the wine industry. The main purpose is the thermal study of the waste aiming at the reduction of water volume and stability and quality of the organic compounds present for later use. First, the wine was physicochemically characterized by pH, turbidity, conductivity, chemical oxygen demand (COD), nitrogen, phosphorus, total solids and functional groups. After characterization, the factorial planning and preliminary tests were carried out to define drying methods and equipments. Drying experiments were carried out in oven drying with and without air circulation, drying by infrared heating and drying by forced convection using a wind tunnel in order to know the thermal behavior of the residue through the humidity on a dry basis and the mass flow of water. Experiments of Thermogravimetric Analysis (TGA), Differential Thermal Analysis (DTA), Differential Exploratory Calorimetry (DSC) were also carried out. The drying methods were analyzed comparatively for the mass flow of the residue and drying rate for different temperatures. From the factorial planning and the preliminary tests, it was verified how much the temperature and interaction between the temperature and the layer height exert a significant influence in the residue to be dried. Through the level curve and the response surfaces it was observed that the drying results have better results for temperatures lower than 85 °C. Thus, the drying methods studied were for temperatures close to 85 °C. Among these methods, oven drying with natural convection presented similar behavior when compared to infrared (IR) drying, with IR being slightly faster. At 60 °C, both had a drying time of 300 min. When comparing the forced convection oven (EC) with the wind tunnel test (TV), the drying kinetics were similar in time from 112 min to 60 °C. Thus, by comparing the methods, the evaporation process was more efficient by means of the forced flow (CF) in the drying process by natural convection (CN). In the tests carried out at 60 °C, it can be seen that CF drying had a much shorter drying time (110 min) compared to CN (325 min). In relation to the water flow, CF showed much higher values (0.46 g/s/m²) when compared to CN (0.21 g/s/m²). This behavior was repeated for the other temperatures studied. In this way, it was concluded that the drying processes adopted were suitable for drying the wine sludge, mainly by means of CF. It is also concluded, through the thermal analysis and the comparison of the residue with pure water, that there is an influence of the phenolic compounds present in the residue during the drying processes and, consequently, in the temperature.

Keywords: *Winemaking, Wine Lees, Drying, Forced Convection, Natural Convection.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da Produção de Uva	19
Figura 2 - Produção Mundial de Vinho	20
Figura 3 - Principais Produtores Mundiais de Vinho.....	21
Figura 4 - Produção de Vinho no Brasil de 1995 até 2014.....	22
Figura 5 - Fluxograma de Obtenção do Vinho Branco e Tinto e sua Geração de Efluentes e Resíduos	24
Figura 6 - Diagrama Esquemático de Possíveis usos para Bagaço.....	32
Figura 7 - Diagrama Esquemático da Produção do Tartarato de Cálcio	35
Figura 8 - Diagrama do Processo de Secagem.....	38
Figura 9 - Exemplo de Curvas de Secagem.....	39
Figura 10 - Esquema de Secagem por Convecção.....	40
Figura 11 - Fluxograma das Etapas Experimentais.....	44
Figura 12 – Etapas experimentais (a) Resíduo com concentração inicial de 7,60%; (b) Resíduo com concentração inicial de 13,93%; (c) Altura da camada de 0,5 e 1,0 cm.....	50
Figura 13 - Esquema de Unidade de Secagem por Túnel de Vento	53
Figura 14 - Diagrama do Sistema para Análise Termogravimétrica Experimental	54
Figura 15 - Grupos Funcionais obtidos no FTIR.....	60
Figura 16 - Gráfico de Pareto	63
Figura 17 – Resultados da (a) Superfície de Resposta e (b) Curva de Nível para Concentração de Sólidos na Amostra	64
Figura 18 - Análise Termogravimétrica da Borra de Vinho.....	65
Figura 19 - Análise Térmica Diferencial da Borra de Vinho.....	66
Figura 20 - Fluxo Mássico de Água Máximo em Função da Temperatura	67
Figura 21 - Calor Diferencial por Varredura em Função da Temperatura	68
Figura 22 - Umidade em Base Seca em Função do Tempo de Secagem do Resíduo.....	70
Figura 23 - Fluxo de Massa em Função do Tempo de Secagem do Resíduo	70
Figura 24 - Fluxo de Massa de uma Fina Camada de Água em Função do Tempo .	71
Figura 25 - Umidade em Base Seca em função do Tempo para Secagem em Estufa sem Circulação e por Aquecimento Infravermelho.....	72

Figura 26 – Fluxo de Massa de Água para Estufa sem Circulação e para Aquecimento por Infravermelho	72
Figura 27 - Umidade em Base Seca em Função do Tempo de Secagem para Estufa com Circulação de Ar	74
Figura 28 - Fluxo de Massa de Água em Função do Tempo de Secagem em Estufa com Circulação de Ar	75
Figura 29 – Ensaio de (a) Umidade em Base Seca e (b) Fluxo de Massa de Água em Função do Tempo de Secagem para Ensaio de Túnel de Vento	76
Figura 30 - Umidade em Base Seca em Função do Tempo de Secagem para Ensaio em Túnel de Vento e Estufa com Circulação de Ar	76
Figura 31 - Fluxo de Massa de Água em Função do Tempo de Secagem para Ensaio de Túnel de Vento e Estufa com Circulação de Ar	77
Figura 32 - Umidade em Base Seca em Função do Tempo de Secagem para Diferentes Métodos de Secagem	78
Figura 33 - Fluxo de Massa de Água do Resíduo em Função do Tempo de Secagem para os Diferentes Métodos Analisados	79
Figura 34 - Comparação do Fluxo Mássico Máximo de Água para os Diferentes Métodos de Secagem	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resíduos Produzidos Durante o Processo de Fabricação do Vinho	29
Quadro 2 - Possíveis Usos para o Bagaço Obtido Durante o Processo de uma Vinícola	32
Quadro 3 - Comparação entre os Tipos de Tratamento de Efluente Vinícola	37
Quadro 4 - Tipos de Secadores	42
Quadro 5 – Estudos de Diferentes Métodos de Secagem	43
Quadro 6 - Parâmetros Físico-químicos e Métodos de Análise	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de Uvas para Processamento e Consumo <i>in natura</i> no Brasil.	22
Tabela 2 – Intervalo de Variação dos Parâmetros do Efluente Vinícola de acordo com a Época de Produção	30
Tabela 3 - Características Médias das Borrás de Vinho Tinto.....	34
Tabela 4 - Parâmetros e Níveis Analisados nos Ensaios de Secagem em Estufa	48
Tabela 5 - Combinação dos Parâmetros para Realização dos Ensaios.....	49
Tabela 6 - Parâmetros Analisados e Variáveis Codificadas Adotadas.....	49
Tabela 7 - Caracterização Físico-Química da Borra	57
Tabela 8 - Grupos Funcionais e suas Bandas de Absorção	60
Tabela 9 - Fatores Experimentais e Fator Resposta	62
Tabela 10 - Efeitos das Variáveis no Fator Resposta	62
Tabela 11 - Resultados da Análise Termogravimétrica	65
Tabela 12 - Resultado da Análise Térmica Diferencial.....	66

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ATD	Análise Térmica Diferencial
ATG	Análise Termogravimétrica
CEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente do Paraná
CF	Convecção Forçada
CN	Convecção Natural
DACOC	Departamento Acadêmico de Construção Civil
DEQ	Departamento de Engenharia Química
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
EC	Estufa com Circulação de Ar
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EV	Efluente Vinícola
FTIR	Espectrometria no Infravermelho com Transformada de Fourier
IR	Aquecimento por Infravermelho
LAS	Licenciamento Ambiental Simplificado
NPT	Núcleo de Pesquisa Tecnológica
OIV	<i>International Organization of Vine and Wine</i>
pH	Potencial Hidrogeniônico
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
TV	Ensaio em Túnel de Vento
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

Xbs	Umidade em Base Seca
m"	Fluxo Mássico (g/s/m ²)
T	Temperatura de secagem (°C)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivo Geral	18
1.1.2	Objetivos Específicos	18
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	A INDÚSTRIA VINÍCOLA	19
2.1.1	A Indústria Vinícola no Brasil	21
2.2	PROCESSOS DE FABRICAÇÃO E RESÍDUOS GERADOS	23
2.2.1	Processo de Produção do Vinho	23
2.2.2	Resíduos Gerados na Atividade Vinícola e seus Impactos Ambientais	28
2.3	FORMAS USUAIS DE TRATAMENTO DOS RESÍDUOS	36
2.4	FUNDAMENTOS DE SECAGEM DE RESÍDUOS	37
2.5	TRABALHOS ENVOLVENDO SECAGEM	42
3	MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1	COLETA DO RESÍDUO VINÍCOLA	45
3.2	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO RESÍDUO	45
3.3	ENSAIOS PRELIMINARES	47
3.3.1	Planejamento Fatorial Completo	47
3.3.2	Ensaio em Estufa de Renovação Aberta	50
3.4	ENSAIOS DE SECAGEM CONVECTIVA	51
3.4.1	Ensaio em Estufa sem Circulação de Ar	51
3.4.2	Ensaio em Estufa com Circulação de Ar	52
3.4.3	Ensaio usando Aquecimento por Radiação Infravermelha	52
3.4.4	Ensaio em Túnel de Vento	53
3.5	ANÁLISE TÉRMICA	54

3.5.1	Análise Termogravimétrica (ATG)	54
3.5.2	Análise Térmica Diferencial (ATD)	55
3.5.3	Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA.....	57
4.1.1	Ensaio de Caracterização realizado na UTFPR	57
4.1.2	Ensaio de Caracterização realizados na UFSCar	61
4.2	ENSAIO DE SECAGEM EM ESTUFA	62
4.3	ANÁLISES TÉRMICAS	65
4.3.1	Análise Termogravimétrica (ATG)	65
4.3.2	Análise Térmica Diferencial (ATD)	66
4.3.3	Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	67
4.4	ENSAIOS DE SECAGEM CONVECTIVA	69
4.4.1	Ensaio usando Aquecimento por Radiação Infravermelha.....	69
4.4.2	Ensaio em Estufa com Circulação de Ar	74
4.4.3	Ensaio em Túnel de Vento	75
4.4.4	Comparação de Resultados dos Ensaio de Secagem Convectiva	78
5	CONCLUSÕES	81
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	83
	REFERÊNCIAS.....	84

1 INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, anualmente, são geradas milhões de toneladas de resíduos provenientes de atividades agroindustriais. Estes resíduos possuem características físico-químicas bem variadas, geralmente com alto teor de matéria orgânica biodegradável e sua disposição cria sérios problemas ambientais.

Uma pequena parcela é convertida em fertilizantes ou ração animal, entretanto, a maior parte ainda é descartada sem correto tratamento e destinação, o que proporciona poluição e danos ao ambiente, tais como contaminação de águas de superfícies e subterrâneas (MAKRIS *et al.*, 2007).

Segundo Melo (2010), a uva é a segunda cultura frutífera mais abundante do planeta. Estima-se que anualmente sejam produzidas aproximadamente 61 milhões de toneladas, sendo 80% destas destinadas à produção de vinho.

Em 2016 a produção mundial de vinho foi de 26,7 bilhões de litros, sendo a Itália o maior produtor, com 5,09 bilhões de litros produzidos, seguida da França com 4,35 bilhões de litros produzidos. O Brasil possui produção de 0,16 bilhões de litros (OIV, 2017), sendo o estado do Rio Grande do Sul o maior produtor.

Independente da vinícola, o processo de fabricação do vinho gera resíduos provenientes da própria uva, tais como engaço, sementes e bagaço; sólidos inorgânicos, como bentonite, produtos da filtração; emissões gasosas tais como dióxido de carbono, compostos orgânicos voláteis, dentre outros; e os diversos efluentes que são gerados ao longo da cadeia produtiva (ORTIGARA, 2009).

Os resíduos da indústria vinícola consistem principalmente de subprodutos sólidos e representam, em média, quase 30% do volume das uvas utilizadas para produção de vinho (MAKRIS *et al.*, 2007).

Esses resíduos são gerados sazonalmente em quantidades expressivas o que dificulta e eleva o custo da gestão ambiental da atividade. Quando não tratados e destinados corretamente, esses resíduos podem ser fontes poluidoras da água e do solo. Assim, a necessidade de destinação final adequada e, conseqüentemente, a redução do seu impacto no ambiente, cria oportunidade para ser realizado o reaproveitamento do resíduo da indústria do vinho (SHÄFFER, 2015).

A “borra”, também chamada grúspula em algumas regiões, é um resíduo vinícola obtido após a fermentação, composto por substâncias tartáricas, leveduras,

compostos inorgânicos e compostos fenólicos. Segundo Dimou *et al.* (2016), somente na Europa, anualmente, são geradas de 0,41 a 1,26 milhões de toneladas de borra provenientes da fabricação do vinho. Este subproduto pode ter elevado valor agregado, assim, seu reaproveitamento tem gerado interesse econômico e ambiental (PERUZZO, 2014).

No Estado do Paraná, o Conselho Estadual de Meio Ambiente (CEMA), determina conforme Resolução n° 070/09 para vinícolas com produção de até 2000 kg/dia de uva processada a apresentação do licenciamento ambiental simplificado (LAS) no qual deve constar o tratamento e disposição dos resíduos e efluentes gerados pela vinícola. No entanto, há ainda falta de estudos de viabilidade adequados sobre a exploração de tal resíduo e, como resultado, sua utilização ainda é mínima (MAKRIS *et al.*, 2007). Em algumas vinícolas da região de Curitiba, constatou-se que a borra é comercializada para uma empresa terceirizada ou, simplesmente descartada no sistema de esgoto sanitário.

Dentre as formas de tratamento disponíveis para tornar viável o aproveitamento do resíduo, o tratamento térmico através da secagem é uma alternativa para diminuir o volume do resíduo, facilitar e reduzir o custo com transporte e favorecer extrações de substâncias de interesse (GOULA *et al.*, 2016). Drosou *et al.* (2015) relataram que a extração de substâncias celulares do bagaço de uva seca possuía maior rendimento em comparação com o bagaço úmido.

De acordo com Milczarek *et al.* (2011), o alto teor de umidade do bagaço de uva torna custoso o transporte em sua forma úmida original e deve ser reduzido para cerca de 5-8% (base úmida) para extração.

A secagem é definida como sendo a remoção de uma substância volátil de um produto sólido, ou seja, a operação na qual a atividade de água de um determinado produto é diminuída pela remoção de água, por sua vaporização. O objetivo da secagem é preservar a atividade enzimática original, reduzir e/ou evitar a contaminação por microrganismos, além de prolongar a vida útil do produto (BIAZUS *et al.*, 2006).

Diante deste cenário, neste trabalho foi avaliado o tratamento térmico do resíduo gerado por uma vinícola de pequeno porte através do processo de evaporação de água.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é avaliar diferentes métodos de secagem do resíduo de indústria de vinho.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para cumprir com o objetivo do trabalho foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar física e quimicamente o resíduo em termos de pH, turbidez, condutividade elétrica, demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio, fósforo, sólidos totais (ST) e grupos funcionais por meio de Espectrometria no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR);
- Verificar a influência das variáveis: temperatura, tempo de ensaio, altura da camada e concentração inicial via Planejamento Fatorial 2^4 e ensaios da secagem preliminar em estufa de convecção natural;
- Determinar as variáveis e os métodos de secagem apropriados a partir da secagem preliminar e do planejamento fatorial;
- Realizar a Análise Térmica do resíduo em estudo através de análise termogravimétrica (ATG), análise térmica diferencial (ATD) e calorimetria exploratória diferencial (DSC);
- Comparar os métodos de secagem em estufa sem circulação de ar e ensaio usando aquecimento por radiação infravermelha;
- Comparar os métodos de secagem em estufa com circulação de ar e ensaio em túnel de vento; e
- Comparar os métodos de secagem estufa com circulação de ar e ensaio usando aquecimento por radiação infravermelha.

2 REVISÃO DA LITERATURA

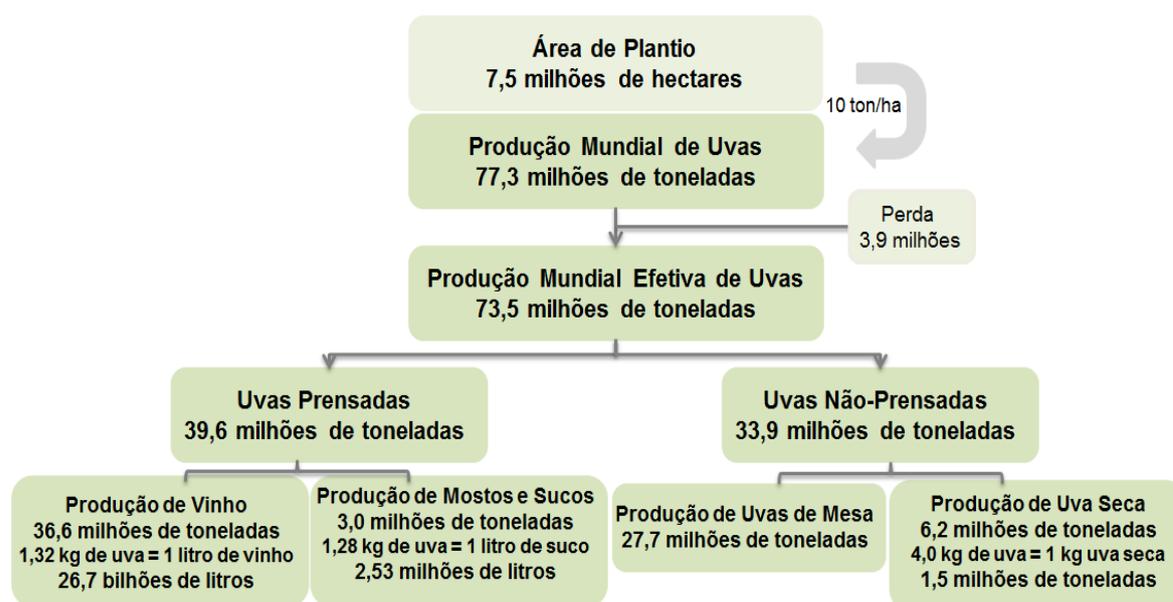
Neste capítulo é apresentada uma revisão dos problemas relacionados aos resíduos gerados na indústria vinícola, formas usuais de tratamentos, com ênfase no processo de secagem de resíduos.

2.1 A INDÚSTRIA VINÍCOLA

De acordo com o regulamento vitivinícola do MERCOSUL (Resolução GMC nº45/96), vinho é a bebida que resulta exclusivamente da fermentação alcoólica completa ou parcial da uva fresca, esmagada ou não, ou do mosto simples ou virgem, com um conteúdo de álcool adquirido mínimo de 7%.

De acordo com *International Organization of Vine and Wine - OIV (2017)*, em 2016, foram produzidas mundialmente 77,3 milhões de toneladas de uvas. O Brasil é o 16º maior produtor de uva no mundo, com uma média de 1,1 milhões de toneladas entre 2002 e 2016. Cerca de 49,80% das uvas produzidas no mundo são destinadas a produção de vinho, e aproximadamente 46,12% destinadas a uvas não prensadas como a uva de mesa e a uva seca (Figura 1).

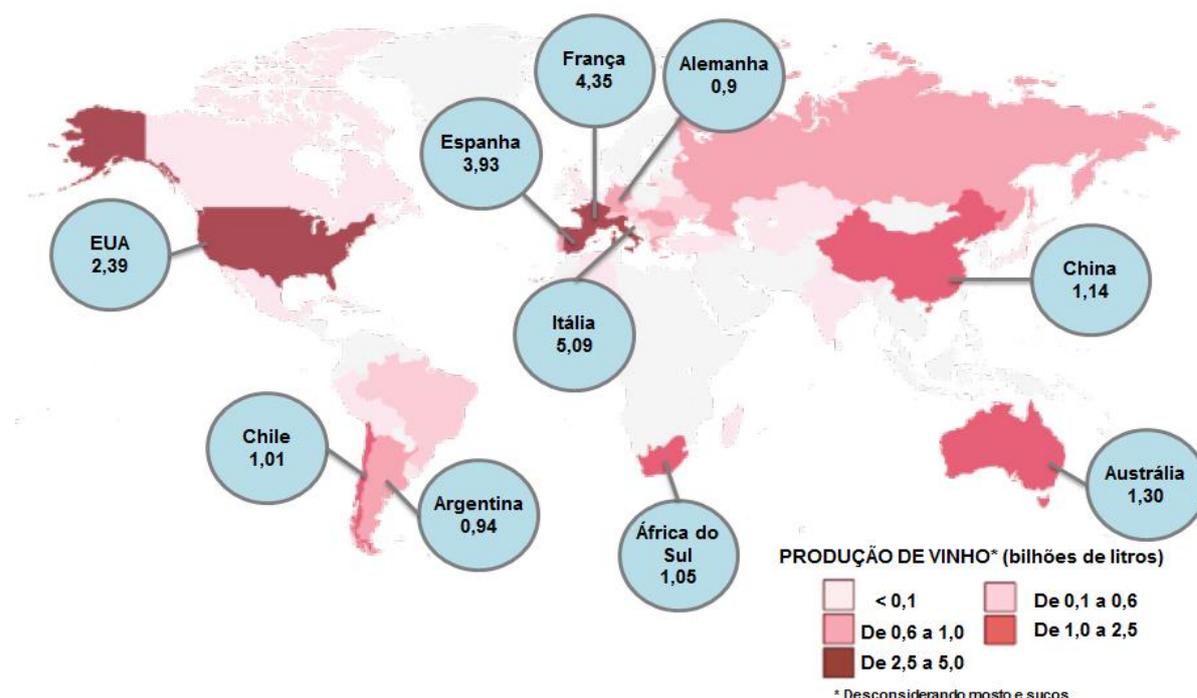
Figura 1 - Fluxograma da Produção de Uva



Fonte: OIV (2017)

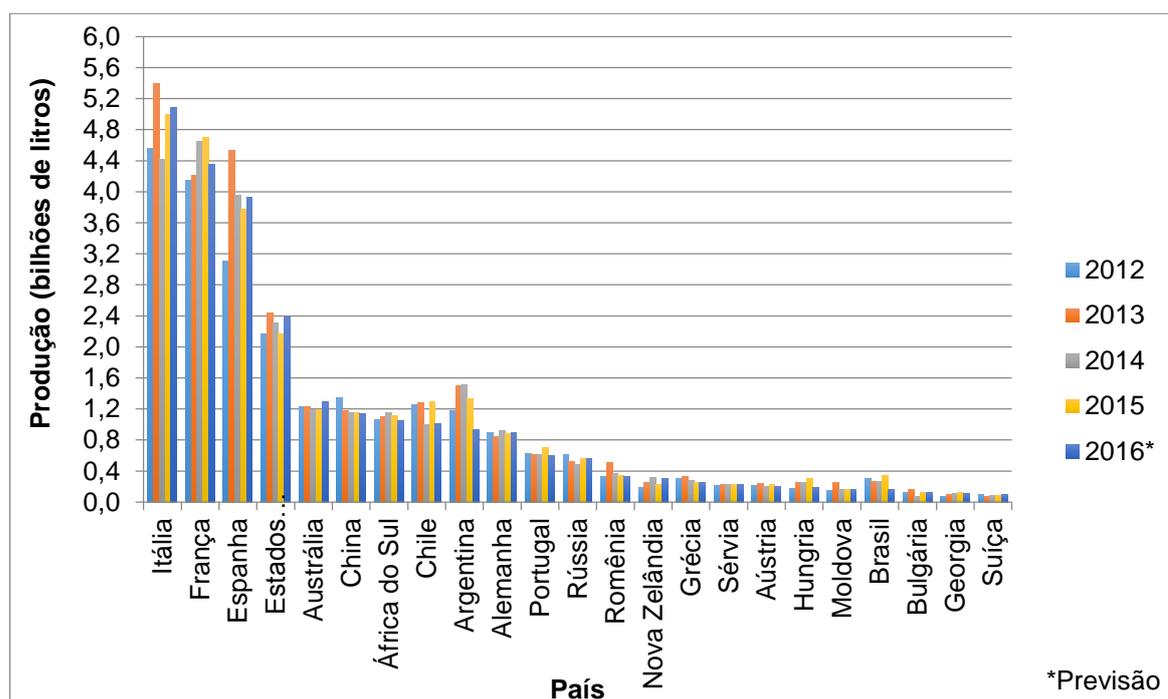
Para cada litro de vinho produzido, utiliza-se aproximadamente 1,32 kg de uva. No ano de 2016 foram fabricados 26,7 bilhões de litros vinho mundialmente, 3% a menos em comparação com o ano de 2015 devido a fatores climáticos que afetaram os países produtores. Os principais produtores mundiais são a Itália, a França, a Espanha e os Estados Unidos, que representam juntos cerca de 60% do total mundial como esta representado nas figuras (Figura 2 e Figura 3) (OIV, 2017).

Figura 2 - Produção Mundial de Vinho



Fonte: OIV (2017)

Figura 3 - Principais Produtores Mundiais de Vinho



Fonte: OIV (2017)

De acordo com a OIV (2017), houve um ligeiro aumento no consumo mundial de vinho em 2016, estimado em aproximadamente 24,1 bilhões de litros. Os Estados Unidos, com 3,18 bilhões de litros, confirmam sua posição como 1º consumidor mundial desde 2011, seguido por França (2,70 bilhões de litros), Itália (2,25 bilhões de litros), Alemanha (1,95 bilhões de litros) e China (1,73 bilhões de litros).

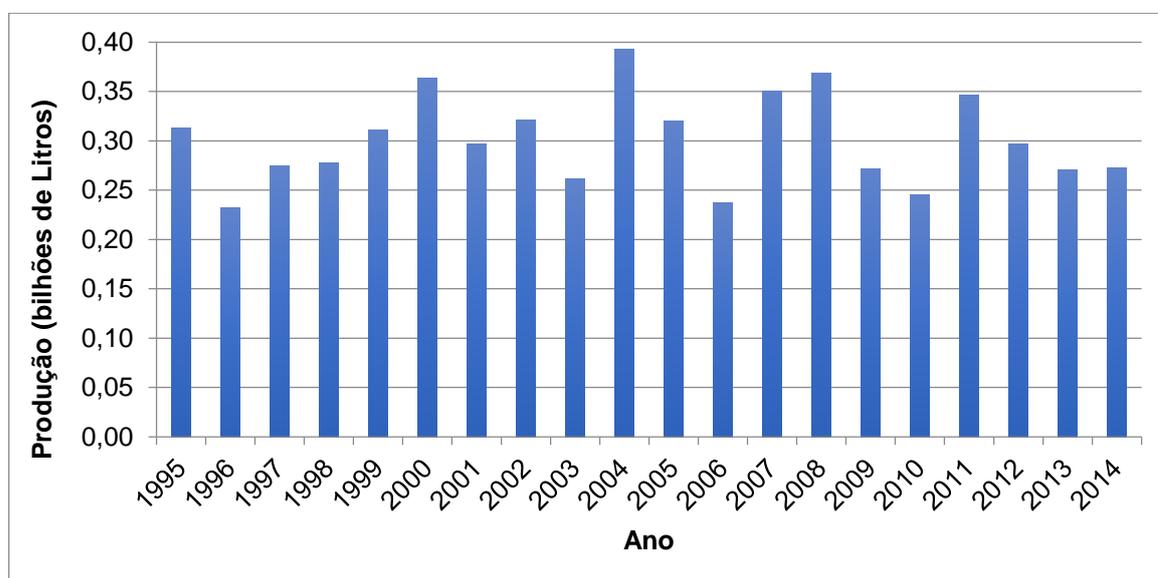
2.1.1 A Indústria Vinícola no Brasil

Embora presente em vários estados, a vinícola brasileira se concentra em poucas regiões, tais como: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, sul de Minas e vale do São Francisco (MELLO, 2016a). O Estado do Rio Grande do Sul, responsável por quase 65% da produção de uvas brasileiras, destina quase toda a sua produção para a agroindústria do vinho e suco de uva (MELLO, 2016b).

Segundo dados da *International Organization of Vine and Wine* - OIV (2017), de 1995 a 2014 o Brasil produziu em média 0,3 bilhões de litros de vinho por ano (Figura 4). Em comparação com a produção mundial, o Brasil apresenta uma

produção pequena. No ano de 2016, ocupou o 20º na produção mundial, pois sua produção caiu para 0,16 bilhões de litros devido a fatores climáticos (OIV, 2017).

Figura 4 - Produção de Vinho no Brasil de 1995 até 2014



Fonte: OIV (2016).

A produção de uvas destinadas ao processamento de sucos, vinhos e derivados, no ano de 2015, foi de 781,412 milhões de quilos de uva, o qual representa 52,12% da produção nacional e aumento de 16,03% em relação ao ano anterior (Tabela 1). Só no estado do Rio Grande do Sul foram produzidos 583,015 milhões de litros destinados à produção de vinhos, sucos e derivados, valor 15,38% maior em comparação com o ano anterior (MELLO, 2016a).

Tabela 1 - Produção de Uvas para Processamento e Consumo *in natura* no Brasil

Discriminação	Ano		
	2013	2014	2015
Processamento (toneladas)	679,793	673,422	781,412
Consumo <i>in natura</i> (toneladas)	733,061	762,652	717,941
TOTAL (toneladas)	1.412,854	1.436,074	1.499,353

Fonte: Mello (2016a).

Devido à importância econômica e cultural da produção vinícola, são necessários estudos para compreender e minimizar os impactos ambientais negativos relativos às suas atividades (LOPES, 2015).

2.2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO E RESÍDUOS GERADOS

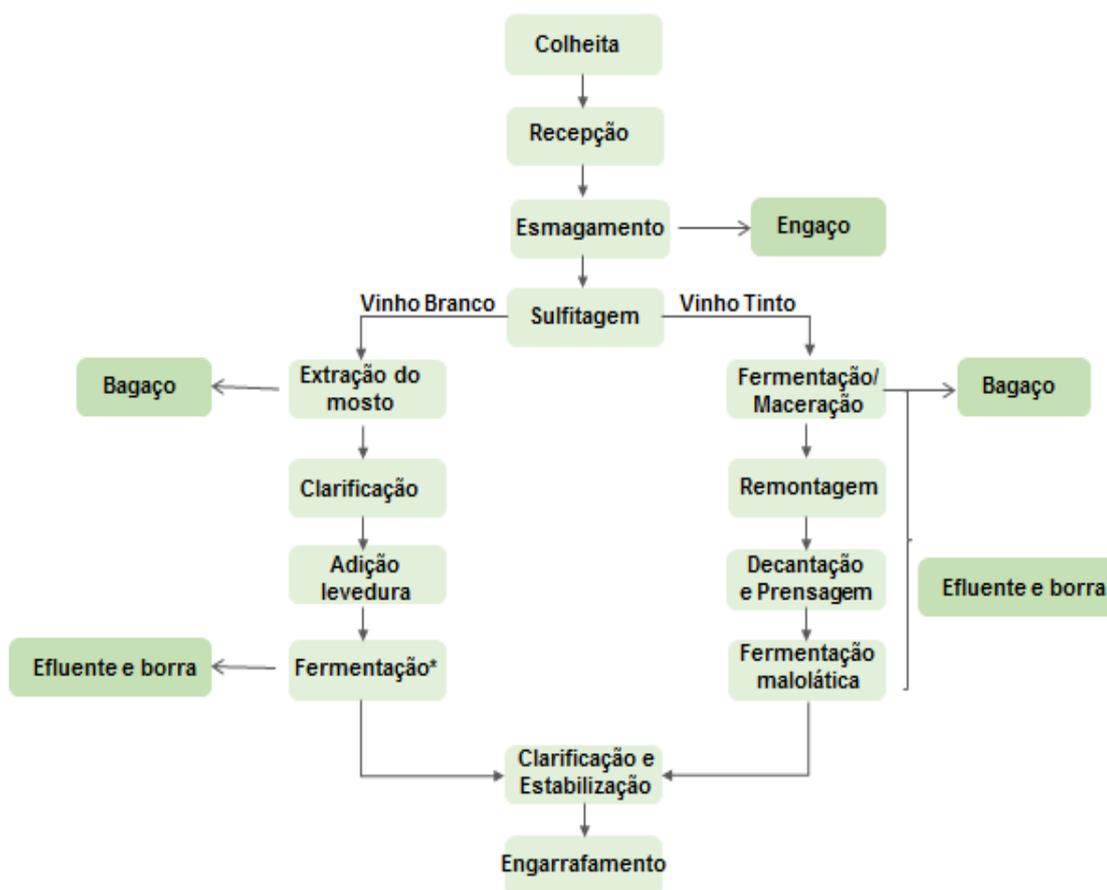
No processo de industrialização da uva são produzidas substâncias remanescentes que não possuem utilidade após a obtenção do produto final, estas substâncias são consideradas tecnicamente como resíduos, e podem ser sólidos ou líquidos (FERRARI, 2010).

Uma pequena parte destes resíduos estão sendo reaproveitados como ração animal, fertilizantes de vinhedos e na destilação de álcool. No entanto, a presença do etanol pode causar danos ao meio ambiente e aos animais. Porém, a maior parte dos resíduos vinícolas ainda é descartada sem tratamento, causando danos ao meio ambiente, como a contaminação de águas superficiais e subterrâneas. Esta situação explica o interesse crescente em explorar os subprodutos da vinificação (LAFKA *et al.*, 2007; LLOBERA & CAÑELLAS, 2007, BARCIA, 2014).

2.2.1 Processo de Produção do Vinho

Segundo Rizzon e Dall'Agnol (2007), o processo de produção do vinho passa por várias etapas dependendo do tipo de vinho a ser fabricado e, dependendo do processo são gerados efluentes e resíduos (Figura 5).

Figura 5 - Fluxograma de Obtenção do Vinho Branco e Tinto e sua Geração de Efluentes e Resíduos



Fonte: Adaptado de Pirra (2005); Arvanitoyannis *et al.* (2006); Rizzon e Dall’Agnol (2007); Rizzon e Dall’Agnol (2009).

- Recepção das uvas

O transporte da uva do vinhedo até a vinícola é realizado por diferentes processos, geralmente são utilizadas caixas de 20 kg de capacidade. Independente do recipiente, o importante é que a uva chegue a vinícola inteira, sem esmagamentos, pois evita contaminação microbiana, principalmente em casos de elevada temperatura (PIRRA, 2005; FERREIRA *et al.*, 2010).

Após a recepção os frutos são encaminhados para análises, em que são pesadas e o grau glucométrico é determinado para verificação do grau alcólico das uvas e sua eventual correção (ORTIGARA, 2009; FERREIRA *et al.*, 2010).

- Esmagamento e desengace

É o primeiro tratamento mecânico aplicado as uvas com a máquina desengaçadeira-esmagadeira (RIZZON E DALL'AGNOL, 2007). Primeiramente ocorre a separação do engaço, parte lenhosa (ORTIGARA, 2009). É um processo que exerce grande influência na qualidade do vinho, pois interfere negativamente na composição química do mosto (RIZZON E DALL'AGNOL, 2007).

Após a separação, os grãos de uva passam pelo processo de esmagamento. Este processo consiste em romper a película da baga com a finalidade de liberar o mosto contido no grão de uva, o qual é imediatamente posto em contato com o ar e com as leveduras presentes na superfície da película. Assim, é importante que esse processo ocorra no menor tempo possível para evitar que as leveduras e outros microrganismos, presentes na superfície e no ambiente, passem ao mosto e iniciem a fermentação alcoólica prematuramente (RIZZON E DALL'AGNOL, 2007; FERREIRA *et al.*, 2010).

- Sulfitagem do mosto

Consiste na adição de anidrido sulfuroso que possui ação antioxidante e antisséptica no vinho, permitindo maior controle na fermentação e segurança na obtenção de bons vinhos (ORTIGARA, 2009).

O gás anidrido sulfuroso (SO_2) absorve oxigênio livre do mosto, impedindo o crescimento de organismos aeróbios (FERREIRA *et al.*, 2010). Assim, seleciona as leveduras desejáveis, pois inibe bactérias que atacam os ácidos gerados durante o processo e favorece a dissolução dos ácidos orgânicos presentes nas células vegetais (PIRRA, 2005).

- Extração do mosto

Processo que ocorre na fabricação do vinho branco e consiste em separar o mosto (parte líquida) da parte sólida (película e semente). Essa etapa é realizada através de prensagem, sendo os melhores mostos obtidos através de prensagem lenta (RIZZON E DALL'AGNOL, 2009).

- Clarificação do mosto

Assim que ocorre sua extração, o mosto para fabricação do vinho branco apresenta-se turvo, pois contém fragmentos da parte sólida em suspensão. Portanto, por decantação, separa-se o mosto das borras formadas antes de realizar a fermentação (PIRRA, 2005; RIZZON E DALL'AGNOL, 2009).

- Fermentação

Após o esmagamento e sulfitação as uvas são colocadas em tanques de fermentação (até 80% do volume destas) (PIRRA, 2005; FERREIRA *et al.*, 2010). A fermentação alcoólica é responsável pela transformação do açúcar do mosto em álcool pela ação das leveduras. São produzidos também dióxido de carbono e outros compostos secundários. É uma reação exotérmica, ou seja, ocorre liberação de calor durante essa etapa. (RIZZON e DALL'AGNOL, 2007). A fermentação pode durar 15 dias ou mais (PIRRA, 2005).

Esta etapa é dividida em fase tumultuosa e lenta. A fermentação tumultuosa ocorre no início, coincide com o período de maceração, há aumento da temperatura e elevada produção de dióxido de carbono que empurra as cascas e outros sólidos para a parte superior do tanque, formando o “chapéu de bagaço”. Com a diminuição dos teores de açúcar e o aumento dos teores de álcool, ocorre a inibição de algumas leveduras e o processo de fermentação diminui. Assim, inicia-se a fermentação lenta, que deve ser processada na ausência de oxigênio (ORTIGARA, 2009).

A maceração é uma etapa realizada apenas nos vinhos tintos e, diferencia o processo de fabricação do vinho tinto e do vinho branco. Consiste em promover o contato entre o mosto e a parte sólida da uva, principalmente a película e a semente (PIRRA, 2005; RIZZON e DALL'AGNOL, 2007). Nesta etapa é atribuído cor, estrutura, características visuais e olfativas e de degustação ao vinho tinto (PIRRA, 2005; RIZZON e DALL'AGNOL, 2007; LECHINHOSKI, 2015).

- Remontagem

Remontagem é a prática enológica utilizada na vinificação em tinto, para favorecer a extração dos compostos fenólicos da película e auxiliar no processo fermentativo. É caracterizada pela retirada do mosto do recipiente de fermentação para outro recipiente, localizado mais abaixo, favorece a multiplicação das leveduras durante a fermentação tumultuosa em que se forma o “chapéu de bagaço” (RIZZON E DALL'AGNOL, 2007; ORTIGARA, 2009).

- Decantação e Prensagem

Após a fermentação, o mosto é transferido para as cubas de decantação. A decantação consiste na separação do mosto do restante da parte sólida, chamada de bagaço/ borra de uva. Essa etapa pode ser chamada também de primeira trasfega (RIZZON E DALL'AGNOL, 2007; PIRRA, 2005). As borras são formadas por resíduos de uva, levedura, bactérias e substâncias estranhas (PIRRA, 2005).

A retirada da borra do recipiente de fermentação é facilitada por seu formato. A higiene do local é extremamente necessária para evitar o desenvolvimento de bactérias acéticas. Com o auxílio de uma prensa para vinificação, retira-se, uma pequena parte de vinho que fica impregnada na parte sólida da uva (bagaço). A prensagem tem por objetivo extrair o mosto residual pela pressão exercida sob as uvas esmagadas, o que causa o enxugamento do bagaço. O vinho tinto obtido dessa prensagem geralmente é de qualidade inferior, chamado de vinho de prensa (RIZZON E DALL'AGNOL, 2007).

- Fermentação Malolática

O objetivo dessa fermentação é a transformação do ácido málico em láctico e, conseqüentemente, a redução da acidez total, através da ação de bactérias lácticas. Ocorrem também, pequeno aumento da acidez volátil e do pH do vinho e o desprendimento de dióxido de carbono (RIZZON E DALL'AGNOL, 2007). É uma etapa considerada indispensável na produção de vinhos tintos que são obtidos de mosto mais ácido, pois, após a fermentação malolática o vinho é considerado biologicamente estável (ORTIGARA, 2009). Nos vinhos brancos é um processo facultativo e pouco frequente (PIRRA, 2005).

Entre os fatores que interferem nesta etapa estão: a temperatura, que deve estar situada entre 15 °C e 18 °C; a acidez (pH inferior a 3,10 geralmente inviabiliza sua ocorrência) e a presença das borras no fundo do recipiente é outro fator favorável ao desenvolvimento dessa fermentação (RIZZON E DALL'AGNOL, 2007).

- Clarificação e Estabilização

Concluída a fermentação alcoólica e malolática o vinho não apresenta a limpidez e a estabilidade necessárias para ser engarrafado. Partículas sólidas em suspensão dos mais diversos tamanhos, formas e pesos específicos ainda estão presentes. As partículas com maior peso específico e volume precipitam antes e formam a borra no fundo do recipiente (RIZZON E DALL'AGNOL, 2007).

Para a obtenção da limpidez e da estabilidade do vinho é importante controlar o teor de elementos minerais, especialmente ferro e cobre, e controlar as alterações de ordem microbiológicas, geralmente relacionadas ao desenvolvimento de leveduras, que nessa fase de amadurecimento, prejudicariam a estabilidade do vinho. Nesse caso, observam-se inicialmente o desprendimento de dióxido de carbono, aumento da acidez volátil e alterações do aroma e do gosto do vinho (RIZZON E DALL'AGNOL, 2007; ORTIGARA, 2009).

O processo de clarificação pode ser realizado de duas maneiras: por colagem ou filtração. Na colagem adiciona-se gelatina, bentonite ou outra substância coagulante que, por adsorção eletrostática, coagula, flocula ou arrasta partículas em suspensão (ORTIGARA, 2009; LECHINHOSKI, 2015).

Na filtração o vinho passa por filtros onde ficarão retidas as impurezas, podem ser utilizados filtros à terra, com terra de rocha vulcânica, filtros à placa, com placas filtrantes e filtros à membrana (LECHINHOSKI, 2015).

- Trasegas

Possui o objetivo de separar o vinho de possíveis precipitações (borra) contida no fundo dos tanques. Esse processo é realizado promovendo a translocação do vinho de um recipiente para o outro (PIRRA, 2005; ORTIGARA, 2009). Geralmente a segunda trasega ocorre logo após a fermentação malolática, quando esta é necessária e a terceira trasega é realizada antes do engarrafamento (PIRRA, 2005).

- Engarrafamento

Última parte do processo, consiste em colocar na garrafa certa quantidade de vinho, deixando um espaço vazio, necessário para eventual dilatação e para aplicar o sistema de vedação (FERREIRA *et al.*, 2010). O engarrafamento geralmente é realizado por máquinas que, através de uma esteira, lavam as garrafas com água esterilizada por microfiltração ou com ozônio, preenchem as garrafas com o vinho e realizam o fechamento com a aplicação da rolha (LECHINHOSKI, 2015).

2.2.2 Resíduos Gerados na Atividade Vinícola e seus Impactos Ambientais

A indústria vinícola gera grandes quantidades de resíduos durante seu processo de fabricação. Estes resíduos causam sérios problemas de armazenagem, transformação, ou de eliminação, em termos ecológicos e econômicos (ARVANITOYANNINS *et al.*, 2006).

Na literatura são poucos os trabalhos que exploram os resíduos vinícolas. O destino, muitas vezes incerto, dado a estes resíduos, causa um déficit econômico na cadeia produtiva, uma vez que muitos deles são ricos em compostos bioativos, ou seja, compostos com potentes poderes antioxidantes e, por isso, com elevado valor comercial, despertando assim o interesse científico e econômico (MELO *et al.*, 2011; BARCIA, 2014).

Assim, a exploração dos subprodutos de vinícolas, como o bagaço e a borra, apresenta várias vantagens, pois os mesmos apresentam constituintes funcionais importantes para as indústrias de alimentos, farmacêuticas e químicas, o que permite assim agregar valor a estes resíduos industriais e, conseqüentemente, proporciona um destino mais sustentável (ARVANITOYANNINS *et al.*, 2006; BARCIA, 2014).

No processo de fabricação do vinho é gerado um resíduo orgânico composto de cascas, galhos e sementes, chamado de bagaço (ROSA, 2014). Além disso, também são gerados efluentes resultantes da limpeza dos equipamentos utilizados (Quadro 1). De acordo com Shäffer (2015), os principais impactos associados a vinícolas são:

- A poluição da água;
- A degradação do solo e vegetação pela disposição dos resíduos;
- Os odores e emissões atmosféricas provocadas pelo processo de fabricação;
- Gerenciamento dos subprodutos gerados.

Quadro 1 - Resíduos Produzidos Durante o Processo de Fabricação do Vinho

Efluentes Vinícolas	Resíduos Sólidos	Subprodutos da Vinificação
	Embalagens	Engaço (galhos)
Aguas de lavagem das diversas etapas produtivas	Paletes	Bagaço/ Borras
	Papelão	(Casca e sementes)
	Filme Plástico	Resíduos da filtração

Fonte: Pirra (2005).

Durante o processo de fabricação estima-se que para cada litro produzido sejam gerados de 1,3 a 1,5 kg de resíduo, sendo 75% de efluentes vinícolas, 24% de subprodutos e 1% de resíduos sólidos (PIRRA, 2005). Rosa (2014), ressalta que no processo de produção do vinho são geradas toneladas de resíduos compostos por sementes, cascas e galhos das uvas e cerca de 20% da matéria vegetal processada é descartada como resíduo sólido.

Segundo Laufenberg *et al.* (2003), os resíduos podem conter muitas substâncias reutilizáveis ou compostos de alto valor agregado. Através do uso de uma tecnologia adequada, este material pode ser convertido em produtos comerciais ou em matérias-primas para outros processos industriais secundários, seja como ingredientes para novos produtos ou como matéria-prima principal.

- Efluente Vinícola

Os efluentes vinícolas (EV) englobam todos os líquidos resultantes da lavagem da adega (PIRRA, 2005). De acordo com Arvanitoyannis *et al.* (2006), o efluente gerado na limpeza das máquinas e cubas utilizadas durante o processo vinícola contém açúcares, álcoois e ácido tartárico em quantidade suficiente para poluir o meio ambiente em seu entorno, se lançado sem tratamento.

Segundo Lucas e Peres (2011), os efluentes vinícolas variam em termos de carga poluente e hidráulica ao longo do ano; e em função do período de funcionamento; do tipo de vinho e dos métodos empregados para a sua produção.

Os parâmetros de descartes de efluentes no Brasil são estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/2011. Especificamente no estado do Paraná, alguns dos parâmetros são estabelecidos pela Portaria CEMA 70/2009 (LECHINHOSKI, 2015).

Pode-se considerar duas épocas de produção de efluentes vinícolas: uma de alta produção, referente à colheita, prensagem e primeiras trasfegas, e uma de baixa produção compreendendo o armazenamento e engarrafamento (LUCAS E PERES, 2011). Na Tabela 2 são apresentadas algumas faixas de valores dos parâmetros que caracterizam a carga poluente presente num efluente vinícola de acordo com a época de produção.

Tabela 2 – Intervalo de Variação dos Parâmetros do Efluente Vinícola de acordo com a Época de Produção

Parâmetros	Época Alta	Época Baixa
pH	4-5	5-11
DBO (mg/L)	4500-15000	500-2000
DQO (mg/L)	2000-20000	1000-4000
DBO/DQO	0,6-0,7	0,5-0,6
SST (mg/L)	500-15000	100-2000
Nitrogênio (mg/L)	20-40	5-15
Fósforo (mg/L)	1-15	0-5

Fonte: Adaptado de Lucas e Peres (2011)

Lançar os efluentes vinícolas no corpo hídrico ou no solo pode causar a deterioração do ambiente, ameaçando a saúde da população e a biota do local (LECHINHOSKI, 2015). Segundo Pirra (2005), ao ser despejado no meio ambiente, sem tratamento prévio, a matéria orgânica presente no EV é degradada pelos microrganismos. Assim, os elementos nutritivos presentes na água servem como

alimento para algas, que se multiplicam em elevado número e, em conjunto com a presença em grande quantidade de sólidos em suspensão, provocam a eutrofização.

Para evitar os danos ambientais, a escolha e o dimensionamento do sistema de tratamento de efluentes são de suma importância, além da obrigatoriedade de atendimento à legislação referente à qualidade ambiental (LECHINHOSKI, 2015).

- Bagaço

Resíduo mais abundante, produzido após a etapa de prensagem das uvas no vinho branco ou, após a maceração no vinho tinto (BARCIA, 2014). De acordo com o Regulamento (CE) 1493/99 do Conselho da União Europeia é definido como sendo o resíduo da prensagem de uvas frescas, fermentado ou não.

O bagaço corresponde, em média, de 9 a 11% do peso das uvas, para bagaços sem engaços, e 12 a 14% para bagaços com engaço. Estes valores podem variar bastante devido a inúmeros fatores, como o estado sanitário das uvas e intensidade da prensagem (PROZIL, 2008).

Este resíduo é composto pela semente e pela casca da uva. Obtido durante o processo de vinificação, contém compostos que não foram extraídos para a fabricação do vinho, como antioxidantes, corantes e outros compostos com atividades fitoterápicas (CAMPOS, 2005).

O bagaço é constituído principalmente por água e vinhos (cerca de 60-70%); álcoois (principalmente o etanol); aldeídos, ésteres, ácidos voláteis, polifenóis e taninos, proteínas, celulose, pectinas, sais minerais e resíduos de açúcar. (PROZIL, 2008). Pode ser classificado em bagaço fermentado, obtido no processo de vinificação do vinho tinto; bagaço parcialmente fermentado e bagaço não fermentado obtido no processo de fabricação do vinho branco (SHÄFFER, 2015).

Segundo Bustamante *et al.*, (2008), um dos principais problemas ambientais com relação ao bagaço é a geração de grande quantidade de resíduo em um curto espaço de tempo, bem como sua composição caracterizada pelo baixo pH, altos teores de compostos fenólicos, antibacterianos e fitotóxicos.

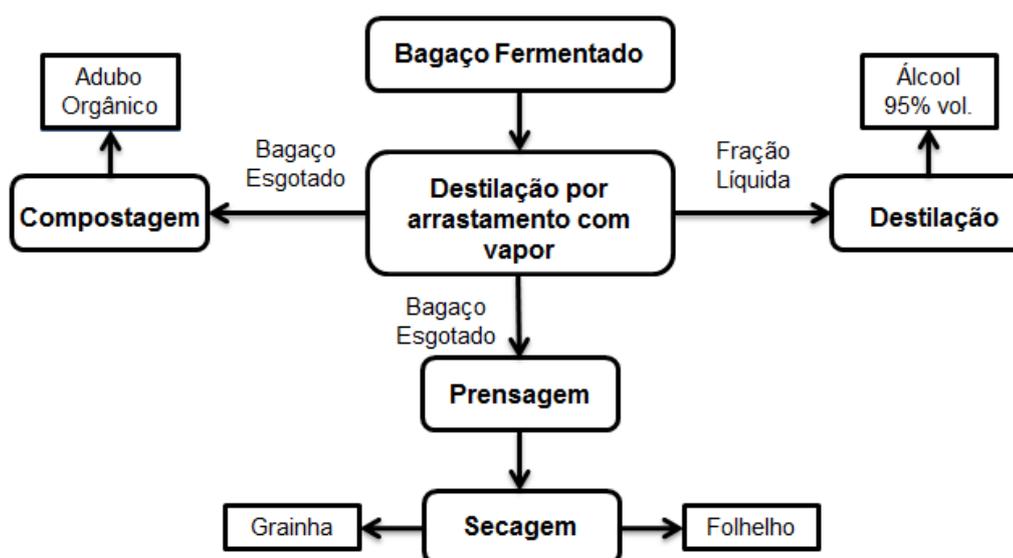
De acordo com Shäffer (2015), o bagaço, mesmo após a prensagem, contém cerca de 50% de vinho. Assim, ainda é possível obter 10 litros de aguardente viníca com 50° centesimais de álcool deste resíduo e, também é possível obter outros usos para o bagaço (Quadro 2).

Quadro 2 - Possíveis Usos para o Bagaço Obtido Durante o Processo de uma Vinícola

Possíveis usos para o bagaço	Referência
Extração antociânicos e polifenólicos	Rockenbach <i>et al.</i> (2008) Negro <i>et al.</i> (2003)
Fertilizantes	Costa <i>et al.</i> (2007)
Recuperação do tartarato de potássio e do tartarato de cálcio	Braga (2002)
Ração animal	Costa (1983) Balestro <i>et al.</i> (2011)
Potencial para bioissorção de metais e efluentes industriais	Farinella (2007) Fiol <i>et al.</i> (2008)

Fonte: Adaptado de Pirra (2005); Shäffer (2015).

De acordo com Braga (2002), caso haja interesse na recuperação do álcool, os bagaços fermentados podem sofrer um processo de destilação por arrastamento com vapor. Quando o bagaço for “esgotado”, este poderá ser tratado em secadores rotativos até um teor de umidade final próximo a 5% ou encaminhado a um processo de compostagem (Figura 6). A secagem permite separar facilmente o folhelho e a grainha e permite que esses materiais sejam utilizados para extração de óleo ou forragens animais. Caso, não haja um mercado adequado para o material seco, a compostagem para a produção de adubo orgânico poderá ser uma opção.

Figura 6 - Diagrama Esquemático de Possíveis usos para Bagaço

Fonte: Braga (2002)

O reaproveitamento do bagaço para obtenção de outros produtos permite as vinícolas “se livrarem”, pela doação ou mesmo venda, de um material poluente, o que evita que esse resíduo, com o passar do tempo possa se tornar um sério problema ambiental caso seja descartado de forma inadequada (CAMPOS, 2005).

- Engaço

O engaço é a ramificação mais longa que forma o eixo principal do cacho, enquanto que as ramificações mais curtas apoiam o bago. É rico em potássio e apresenta baixa acidez. Na maturidade, representa de 3 a 9% do peso do cacho (PROZIL, 2008).

A operação da retirada do engaço da uva ocorre logo no início da produção do vinho e é efetuada por uma desengaçadeira. Pois, caso o engaço não seja retirado pode transmitir ao vinho sabores amargos e adstringentes, desagradáveis ao paladar. O processo de desengaçamento aumenta a acidez do mosto e o teor alcoólico (PROZIL, 2008; SHÄFFER, 2015).

O engaço é composto de 30-31% de celulose, 21% de hemicelulose, 17-18% de lenhina, 15-16% de taninos e cerca de 6% de proteínas. Além de possuir uma elevada abundância de compostos extratáveis em água (ca. 24%), atribuídos principalmente a sais inorgânicos solúveis, taninos hidrolisáveis e pectinas (SOVRANI *et al.*, 2015). É um resíduo lenhocelulósico de caráter renovável. Deste modo, torna-se possível a conversão da biomassa lenhocelulósica em produtos de valor agregado, tais como energia, combustíveis, materiais e produtos químicos (PROZIL, 2013).

- Borrás

A borra é constituída de finas partículas de resíduos de uva e leveduras mortas. É obtida após fermentação e decantação do mosto (BARCIA, 2014). É um material denso e o volume de borra produzido depende do número de trasfegas realizadas (RIZZON E DALL'AGNOL, 2007; SHÄFFER, 2015).

De acordo com o Regulamento (CE) 1493/99 do Conselho da União Europeia a borra de vinho é definida como o resíduo que fica depositado nos recipientes que contenham vinho após a fermentação, ou após trasfegas e armazenagem, bem como o resíduo obtido pela filtração e/ou pela centrifugação deste produto.

As borras contem cerca de 70 a 90% de vinho, 2,5 a 4% substâncias tartáricas, 6,5 a 7,5% de substâncias diversas que incluem os detritos vegetais

(grainhas, películas e engaços), 4 a 5% de leveduras da fermentação, sílica, ácido péctico e pectato de cálcio, substâncias albuminoides livres e combinadas com tanino, fosfato de cálcio e de bário, ácido fosfórico, sulfatos, entre outros (PERUZZO, 2014).

São ricas em materiais em suspensão e podem atingir de 6 a 20% do volume da cuba. As borras possuem uma DQO entre 200-420 g/L (Tabela 3), valor que pode ser 10-30 vezes superior quando comparado com os efluentes vinícolas (PIRRA, 2005).

Tabela 3 - Características Médias das Borras de Vinho Tinto

Parâmetros	Valor Médio
pH	3,1-3,8
Grau Alcoólico (%)	11,1
DQO (g/L)	280 (190-420)
DBO ₅ (g/L)	97-160
DBO ₅ /DQO	0,3-0,8
SST (g/L)	46(20-240)
Polifenóis (mg/L)	200-3500

Fonte: Adaptado de Pirra (2005)

A valorização ou tratamento das borras pode ser feito por várias técnicas. Por destilação pode-se aproveitar o álcool nelas contido e obter aguardente vínica ou álcool etílico e, em alguns casos, aproveita-se também o ácido tartárico. Os resíduos resultantes da destilação podem ser utilizados para compostagem ou fertilização (SILVA, 2003; PIRRA, 2005).

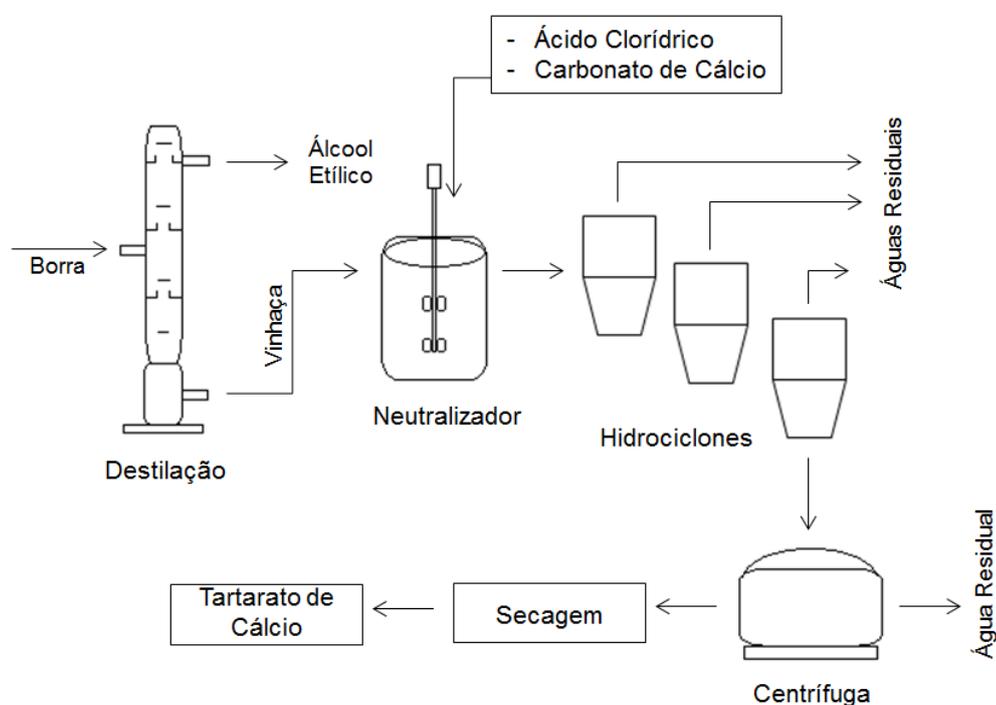
De acordo com Braga (2002), as borras podem ser homogeneizadas e transferidas para colunas de destilação a fim de se extrair o álcool etílico e produzir tartarato de cálcio.

Para este processo a borra é inserida em uma coluna de destilação e submetida a uma forte ebulição, introduzida pela injeção direta de vapor. A borra isenta de álcool (“vinhaça”) é retirada pelo fundo da coluna cilíndrica e transportada para a linha de produção do tartarato de cálcio (BRAGA, 2002).

Na linha de produção, a vinhaça é inserida em um tambor rotativo para a retirada das impurezas sólidas. A seguir, a borra segue para depósitos verticais com agitadores (“neutralizadores”) para seu esfriamento. Quando atinge 45 °C é

adicionado ácido clorídrico para aumentar a solubilidade do KHT da vinhaça. Ao atingir a solubilidade máxima, é adicionado carbonato de cálcio para provocar a precipitação do tartarato de cálcio que fica em suspensão. Para aumentar a pureza do produto, o tartarato de cálcio suspensão passa por hidrociclones para sua separação. Os cristais de tartarato de cálcio seguem para uma centrífuga, com o objetivo de retirar a água residual e, posteriormente, para secadores, para diminuir a umidade residual e então serem comercializados, conforme fluxograma mostrado na Figura 7 (BRAGA, 2002).

Figura 7 - Diagrama Esquemático da Produção do Tartarato de Cálcio



Fonte: Braga (2002)

Com a necessidade do uso racional dos recursos naturais e a implantação de leis mais rigorosas para gerenciamento dos resíduos sólidos, pelos organismos mundiais, surge, cada vez mais, nos países produtores de uva, o interesse crescente na exploração dos resíduos gerados durante a produção vinícola (ROSA, 2014).

2.3 FORMAS USUAIS DE TRATAMENTO DOS RESÍDUOS

- Tratamento Físico-Químico

Vários métodos de tratamento físico-químicos tais como adsorção, coagulação/floculação, oxidação e filtração por membranas têm sido testados para reduzir a carga orgânica residual e a cor remanescente após o tratamento biológico (LUCAS E PERES, 2011).

Braz *et al.* (2010), obtiveram remoções elevadas de turbidez com sulfato de alumínio (92.6%) e de sólidos suspensos totais com cal (95.4%). Contudo, verificaram uma diminuição pequena nos valores de DQO. Posteriormente, optaram pela combinação de um processo biológico aeróbio (denominado de armazenamento arejado prolongado) com coagulação/floculação, usando cal. obtiveram uma remoção combinada de 84,5% de DQO, 96,6% de turbidez, 98,7% de sólidos suspensos voláteis (SSV) e 99,1% de SST.

Entre os tratamentos químicos pode-se citar: a secagem, a pirólise e a combustão.

Barcia (2014), caracterizou os compostos fenólicos de resíduos vinícolas, e correlacionou os seus teores com a capacidade antioxidante. Foi determinado o teor de compostos fenólicos das uvas in natura, do bagaço e borras. Também foi avaliado o efeito de três técnicas de secagem aplicadas a estes resíduos: secagem em estufa a 50 °C, secagem por *spray-drying* e secagem por liofilização. A capacidade antioxidante foi avaliada por ORAC, FRAP, ABTS e β -caroteno/ácido linoleico, e suas correlações com antocianinas e fenólicos totais. Os subprodutos da vinificação secos apresentaram concentração elevada de compostos fenólicos totais, em média os valores oscilaram de 810 a 8557 mg/kg para casca fermentada; de 1515 a 9520 mg/kg para semente; e 1148 a 4261 mg/kg para borra, nas cultivares estudadas. Nas uvas inteiras secas utilizadas no processamento do vinho o teor de compostos fenólicos encontrados foi de 530 a 4330 mg/kg. Sendo assim, os subprodutos analisados possuem elevado teor de compostos antioxidantes e, portanto, com potencial para reaproveitamento industrial.

- Tratamento Biológico

Consiste em processos com microrganismos para converter componentes dos resíduos (RODRIGUES, 2008). A maioria das pesquisas de tratamento biológico

considerando resíduos vinícolas envolve apenas estudos referente ao efluente (Quadro 3).

Quadro 3 - Comparação entre os Tipos de Tratamento de Efluente Vinícola

Autor	Objetivo	Tipo de Tratamento	Resultados obtidos
Berardino <i>et al.</i> (2001)	Efluente Vinícola – Indústria Portuguesa	Pré-Tratamento Anaeróbio	Remoção de DQO de 65 a 90%
Ortigara (2009)	Efluente Vinícola	Reatores do tipo Biofiltro Aerado Submerso com preenchimento de cascas de ostras. Reatores: - alimentado com o efluente da safra (BAS 1); - alimentado com efluente da entressafra (BAS 2).	Remoção de DQO, 90% para o BAS 1 e 82% para o BAS 2
Heredia <i>et al.</i> (2005)	Águas residuais de destilarias de vinho	Processo integrado: - Fenton; -Coagulação/ floculação;	Remoção de DQO de 74%
Silva <i>et al.</i> (2011)	Águas residuais de uma vinícola	Reator biológico aeróbio	Remoção de mais de 90% DQO
Artiga <i>et al.</i> (2005)	Efluentes vinícolas	Reator MBR (<i>Membrane Bioreactor</i>)	Remoção de DQO de 97%

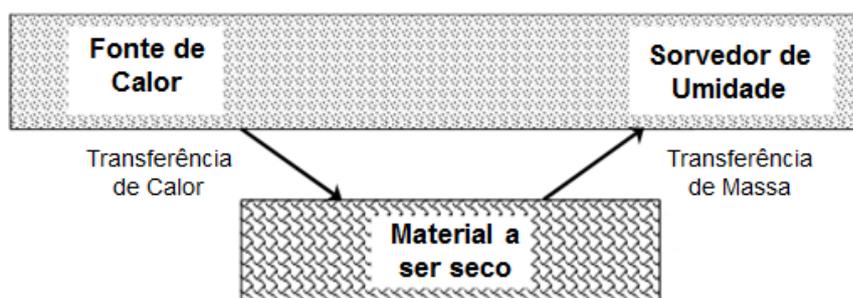
Fonte: Aatoria Própria (2018)

A “borra” vinícola praticamente não aparece na literatura relativa à tratamentos biológicos.

2.4 FUNDAMENTOS DE SECAGEM DE RESÍDUOS

A secagem é uma das operações unitárias mais usuais na indústria química e de alimentos. Define-se secagem como aplicação de calor em condições controladas para remover por evaporação a maior parte de um líquido presente em um material, ou seja, ocorre a transferência desse líquido para uma fase gasosa não saturada (SILVA, 2008; ZEN, 2010). Segundo Park *et al.* (2007), é necessário também um sorvedor de umidade para remover o vapor água, formado a partir da superfície do material a ser seco (Figura 8).

Figura 8 - Diagrama do Processo de Secagem



Fonte: Park et al. (2014)

A secagem é considerada um método de preservação, pois, diminui significativamente o teor de água no material, reduz o desenvolvimento de microrganismos e da ação enzimática, o que proporciona maior longevidade e estabilidade do produto. Como consequência da redução da umidade, o peso e volume do material são reduzidos, o que proporciona maior facilidade de transporte e armazenamento desse material (LIMA, 2013).

O tratamento térmico dos resíduos através de operações de secagem é importante devido a fatores como: inibição dos processos de degradação e fermentação ocasionados pelo desenvolvimento de reações bioquímicas que ocorrem na presença de umidade; proporciona a estabilização e inativação microbiológica da matéria orgânica; armazenamento e transporte mais seguros além da diminuição do volume do material seco a ser estocado (PERAZZINI, 2011).

Segundo Correa (2012), o processo de secagem possui diversos métodos, que podem ser classificados de acordo com: o método utilizado (natural ou artificial); a periodicidade com o que o calor é fornecido (contínuo ou intermitente) e; a movimentação de massas (estacionário ou contínuo).

A secagem natural baseia-se nas ações climáticas, ou seja, nas ações do vento e do sol para a remoção da umidade do material (CORREA, 2012). É considerado um processo lento e depende de dois fatores principais: as condições climáticas locais e uma extensa área de secagem (LIMA, 2013).

Entre as vantagens da secagem natural está o baixo custo, seja nas instalações ou demanda por energia (DALBELLO, 1995; LIMA, 2013). Porém, possui algumas desvantagens como: a contaminação do material por microrganismos e impurezas e, a ocorrência do processo de foto-decomposição, o que provoca a degradação do material (LIMA, 2013). Além de requerer maior tempo e condições

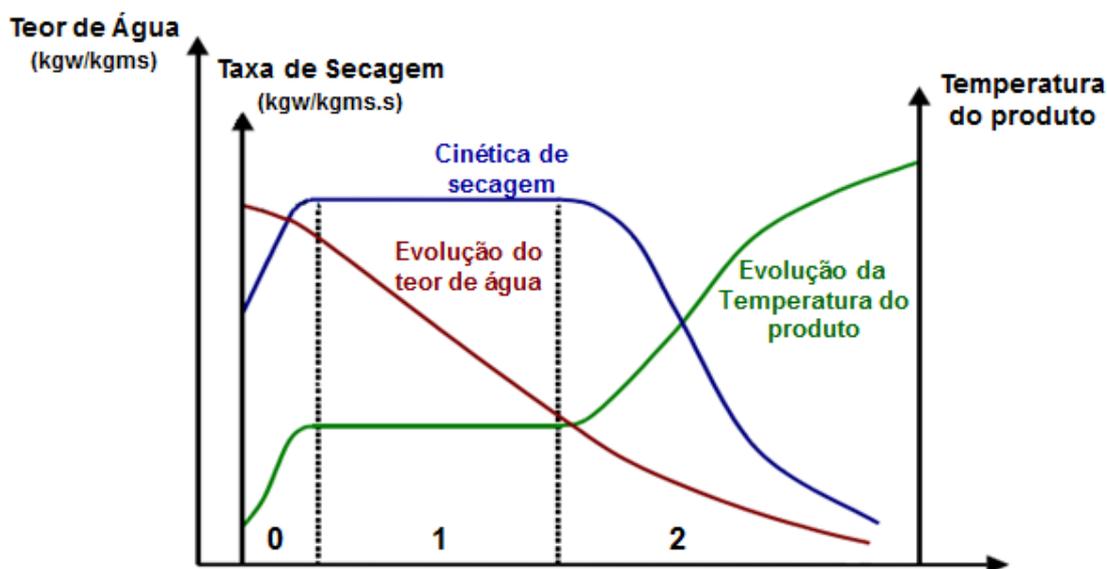
climáticas adequadas para que a secagem ocorra de maneira efetiva (DALBELLO, 1995).

O uso de secadores artificiais proporciona uma secagem mais rápida e uniforme, em comparação com a secagem natural, o que resulta em produtos de maior qualidade (LIMA, 2013).

Dos secadores artificiais existentes, pode-se citar dois grupos principais: primeiramente aqueles em que a secagem é realizada por convecção natural, geralmente efetuada em estufas; ou quando a secagem ocorre por meio de circulação forçada de ar (FARIA, 2012).

As condições de secagem são diversas, e dependem das propriedades do ar de secagem e da forma de contato ar-produto. A forma como ocorre às transferências simultâneas de calor e de massa no decorrer da operação de secagem faz com que esta seja dividida em três períodos. Na Figura 9, são mostradas as curvas de evolução do teor de água do material, de sua temperatura e da taxa de secagem, ao longo do tempo, para um experimento utilizando ar com propriedades constantes (PARK *et al.* 2007).

Figura 9 - Exemplo de Curvas de Secagem



Fonte: Park *et al.* (2007)

A taxa de secagem é influenciada principalmente pelos seguintes fatores: velocidade, umidade e temperatura do ar de secagem, uma vez que quanto maior a velocidade do ar maior a sua taxa de secagem (FELLOWS, 2006).

As curvas de secagem são de extrema importância para o desenvolvimento de processos de secagem, pois, através delas estima-se o tempo necessário para a secagem de uma determinada quantidade de produto (VILELA e ARTUR, 2008).

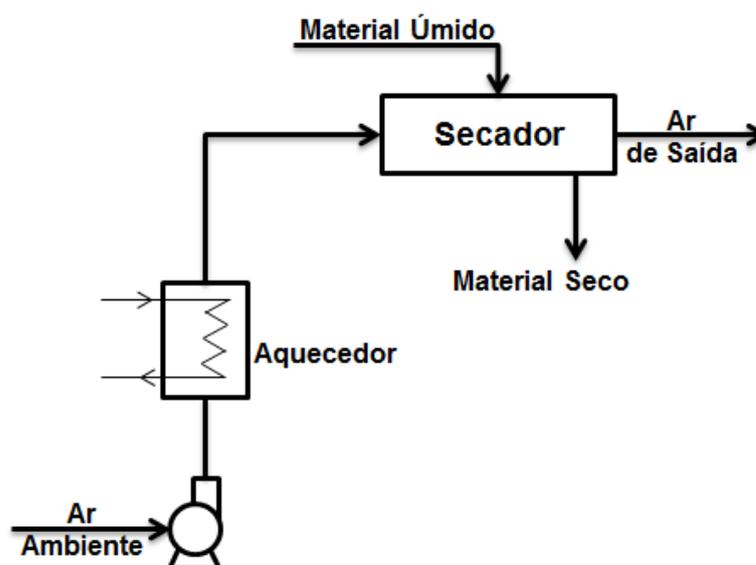
O processo de secagem pode ser dividido em três períodos: (0) período inicial de secagem, chamado de período de indução; (1) período de taxa constante de secagem, a umidade interna do material é transferida a superfície na mesma velocidade em que evapora; (2) período de taxa decrescente de secagem, a água começa a ser deficiente na superfície do material, assim, a velocidade de secagem diminui (PARK *et al.*, 2007).

Existem vários métodos de secagem que podem ser classificados de acordo com o sistema utilizado para o fornecimento de calor:

- Secagem por Convecção

Industrialmente é um dos métodos mais utilizados, onde o calor sensível é transferido para o material por convecção. Durante o processo de secagem, uma corrente de gás aquecido entra em contato com o material a ser secado fornecendo calor e aquecendo a sua superfície. Isso provoca a evaporação da umidade do material e, o vapor d' água formado é transportado para fora do secador (Figura 10). As condições de secagem podem ser controladas pela temperatura e umidade do ar aquecido (FELLOWS, 2006; PARK *et al.*, 2007).

Figura 10 - Esquema de Secagem por Convecção



Fonte: FELLOWS (2006)

Uma linha de secagem por convecção forçada é constituída por três elementos: sistema de alimentação do ar, sistema de aquecimento do ar e compartimento de secagem (VÉRAS, 2010).

De acordo com Lopes *et al.* (2000), parte do calor do ar de secagem proporciona aumento da temperatura do material, também chamado de calor sensível e, a outra parte fornece o calor necessário para a vaporização da água contida no produto, ou seja, o calor latente.

- Secagem por Condução

O calor é fornecido ao material úmido através do contato físico com superfícies aquecidas, que suportam ou confinam o material. Estas superfícies podem ser: bandejas, placas, cilindros ou paredes de secadores. O material atinge uma maior temperatura quando comparado à secagem por convecção e o calor transferido para o material é dado por meio de transferência de calor ar aquecido para a superfície aquecida e da superfície aquecida para o material (PARK *et al.*, 2007).

- Secagem por Radiação

Ocorre através da penetração da radiação infravermelha, são usados como fontes radiadores de baixa temperatura e lâmpadas de quartzo de alta temperatura. Na secagem por radiação, o modo de transporte de umidade e a difusão de vapor do sólido seguem os mesmos mecanismos presentes na secagem por condução e convecção (PARK *et al.*, 2007).

- Secagem Dielétrica

É realizada por meio de um campo eletromagnético de alta frequência que varia rapidamente de direção e causa mudança de direção nos dipolos de líquidos dielétricos ou polares. Esta mudança provoca fricção molecular e, conseqüentemente, geração de energia. Este método é extremamente caro e pouco usado (PARK *et al.*, 2007).

- Secagem por Liofilização

Baseia-se na sublimação da água congelada presente no material que está situado em uma câmara de secagem com pressão abaixo do ponto tríplice da água. A água sublimada se condensa em placas refrigeradas localizadas em uma câmara do secador sem contanto com o material a ser secado (MACHADO, 2009).

Existem vários tipos de materiais que podem ser submetidos à secagem e diversos tipos de secadores, sendo os principais apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Tipos de Secadores

Secador	Principais Características	Referência
Secador de Bandeja	<ul style="list-style-type: none"> - Câmara com isolamento térmico; - Ar circulante sobre e através das bandejas; - Eficiência térmica varia de 20 a 50%. 	Fallows (2006) Silva (2012)
Secador de Esteira	<ul style="list-style-type: none"> - Transporte contínuo do material; - Forma modular, com aquecimento próprio em cada seção. 	Fallows (2006)
Secador Pneumático (<i>Flash Dryer</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Transporte por tubulações; - Próprio ar de secagem evapora a água contida no material; - Tempo de retenção material é da ordem de 4 a 5 s. 	Fallows (2006)
Atomização (<i>Spray Dryer</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Baseia-se na atomização ou pulverização do material a ser desidratado em pequenas partículas; - Utilizado para secagem de líquidos; - O líquido recebe um fluxo de ar quente, o que provoca uma rápida evaporação da água; - Aplicado na indústria alimentícia, de cerâmicas, farmacêuticas e de detergentes. 	Fallows (2006) Silva (2012) Souza (2013)
Leito Fluidizado	<ul style="list-style-type: none"> - Baseia-se na circulação de ar quente por meio de um leito de sólidos que permanece suspenso no ar; - Pode ser operado em batelada ou de forma contínua. 	Fallows (2006) Correa (2012)

Fonte: Autoria Própria (2018)

Para definir o tipo de secador adequado devem-se considerar: o método de aquecimento do agente de secagem, a forma física do material, finalidade da secagem, entre outros fatores (PARK *et al.*, 2007).

2.5 TRABALHOS ENVOLVENDO SECAGEM

Para ressaltar a importância da secagem, citam-se alguns estudos realizados na área, de modo a se criar um panorama geral sobre o assunto. No Quadro 5 são apresentados alguns destes trabalhos.

Quadro 5 – Estudos de Diferentes Métodos de Secagem

Autores	Material de Estudo	Objetivo	Tipo de Secagem	Resultados Obtidos
Almeida (2013)	Uva sem semente da cultivar Crimson	Estudar o processo de desidratação da uva para produção de uva passa	<ul style="list-style-type: none"> - Pré-tratamento osmótico em solução 40° Brix - Secagem convectiva nas temperaturas de 50 e 70 °C nas uvas com e sem tratamento osmótico 	<ul style="list-style-type: none"> - Redução no tempo de secagem de 5 horas para as amostras com Pré-desidratação osmótica; - Redução de 11 horas quando submetidas à secagem de 70 °C em relação a 50 °C; - Não apresentaram diferença significativa com 95% de significância nas suas características físico-químicas e teores de açúcares.
Freire <i>et al.</i> (2007)	Lodo Industrial	Determinar a faixa de umidade para armazenamento de pó de lodo	<ul style="list-style-type: none"> - Estufa convencional na temperatura de 102 ± 2 °C por 24 h 	<ul style="list-style-type: none"> - O intervalo entre a isoterma de adsorção a 40 °C e a isoterma de dessorção a 20 °C define os extremos de umidade para armazenamento na maioria das áreas tropicais do mundo;
Borges <i>et al.</i> (2008)	Abóbora	Avaliar o teor de umidade final e o encolhimento	<ul style="list-style-type: none"> - Secador sob convecção natural - Secador sob convecção forçada 	<ul style="list-style-type: none"> - Os resultados obtidos mostraram que o uso de fatias com volume de 6,25 cm³ em secador por convecção forçada a 50 °C resultaram em produtos de menor encolhimento, sendo recomendadas estas condições.
Sallam <i>et al.</i> (2015)	Hortelã	Estudar a secagem em diferentes secadores	<ul style="list-style-type: none"> - Secador solar sob convecção natural - Secador solar sob convecção forçada 	<ul style="list-style-type: none"> - A secagem da hortelã em diferentes condições operacionais ocorreu no período da taxa de queda, onde não foi observado nenhum período de secagem constante; - A taxa de secagem da hortelã sob convecção forçada foi maior que a da hortelã sob convecção natural, especialmente durante as primeiras horas de secagem.
Celma <i>et al.</i> (2009)	Subprodutos de uva industrial	Comportamento de Secagem	<ul style="list-style-type: none"> - Secagem infravermelha de camada fina 	<ul style="list-style-type: none"> - A taxa de secagem aumenta com a temperatura, reduzindo assim o tempo de secagem total; - A medida que a temperatura de secagem foi aumentada de 100 °C até 160 °C, o tempo necessário para reduzir o teor de umidade da amostra diminuiu de 60,5 para 21 min.
Machado (2009)	Pendulo de caju	Estudar a secagem em diferentes secadores	<ul style="list-style-type: none"> - Secadores de bandeja - Secador solar sob convecção natural - Secador solar sob convecção forçada 	<ul style="list-style-type: none"> - Todas as curvas de secagem apresentaram o mesmo comportamento; - Secador com convecção forçada apresentou vantagens na redução do tempo em relação a convecção natural.

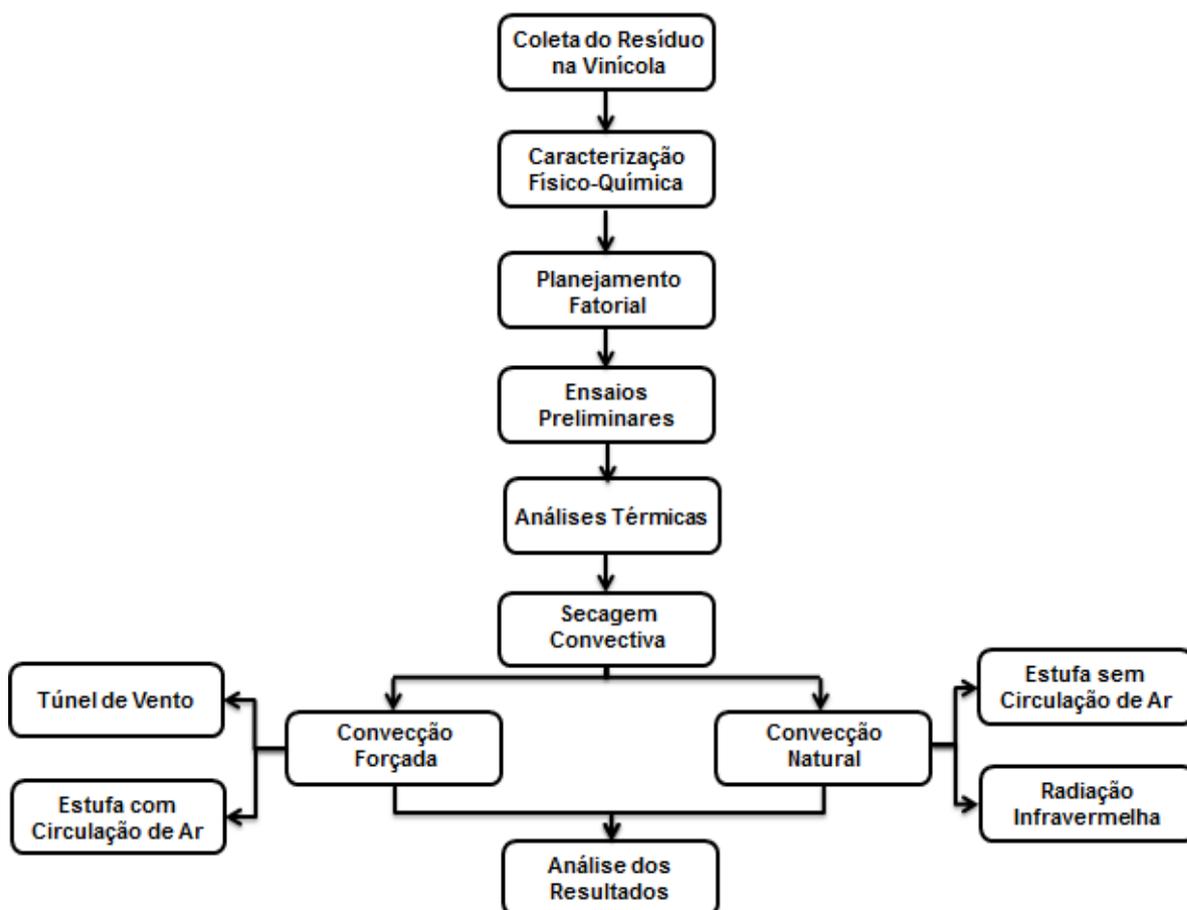
Fonte: Autoria Própria (2018)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os materiais, equipamentos e metodologias necessários para realização do procedimento experimental. Para cumprimento dos objetivos, foram estabelecidas sete etapas de estudo. Na Figura 11 é apresentado um fluxograma do esquema global da pesquisa, composta das seguintes etapas:

- Etapa 1 – Coleta do resíduo;
- Etapa 2 – Caracterização físico-química;
- Etapa 3 – Planejamento Fatorial para ensaios preliminares;
- Etapa 4 – Ensaios preliminares;
- Etapa 5 – Análises térmicas;
- Etapa 6 - Secagem Convectiva via convecção natural e convecção forçada;
- Etapa 7 – Análise e discussão dos resultados apresentados.

Figura 11 - Fluxograma das Etapas Experimentais



Fonte: Autoria Própria (2018)

3.1 COLETA DO RESÍDUO VINÍCOLA

O material utilizado nos experimentos foi a borra resultante da fabricação do vinho tinto, obtida em uma vinícola situada na cidade de Colombo/Paraná, Região Metropolitana de Curitiba.

A uva utilizada no processo é cultivada no próprio local onde ocorre a fabricação do vinho e todas as etapas de produção também são realizadas no mesmo lugar.

A borra foi obtida na segunda trasfega do vinho tinto, etapa que ocorre após a fermentação. Devido à sazonalidade da produção, a coleta do resíduo foi realizada no mês de maio de 2017. A coleta foi realizada após a etapa de trasfega de um tanque para outro e antes da limpeza do tanque no qual o vinho estava sendo armazenado.

Para realização da pesquisa foram coletados 50 L de material, o qual foi armazenado em recipientes plásticos, quimicamente inertes e vedados. Os procedimentos de coleta e amostragem foram realizados de acordo com as normas descritas na NBR 9898 (BRASIL, 1987). Após esta etapa, o resíduo foi mantido refrigerado a 4 °C até o momento de sua utilização.

3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO RESÍDUO

Inicialmente foram feitos os ensaios de caracterização físico-química no Laboratório de Saneamento da UTFPR, câmpus Curitiba, sede Ecoville.

O resíduo foi caracterizado em ensaios físico-químicos sendo determinados pH, turbidez, condutividade, demanda química de oxigênio (DQO) bruta, demanda química de oxigênio (DQO) centrifugada, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo, sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis e grupos funcionais. Os parâmetros analisados bem como suas unidades, equipamentos, os métodos e referências dos procedimentos executados estão descritos no Quadro 6.

Todos os parâmetros analisados foram ensaiados em duplicata ou triplicata, conforme a necessidade para cada parâmetro. Alguns ensaios foram realizados em outros laboratórios da UTFPR, sendo devidamente identificados.

Quadro 6 - Parâmetros Físico-químicos e Métodos de Análise

Parâmetro	Unidade	Método de Análise	Referência
pH	-	4500-B	APHA (2012)
Turbidez	UNT	2130-B	APHA (2012)
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C	2510-B	APHA (2012)
DQO Bruta	mg/L	5220-B	APHA (2012)
DQO Centrifugada	mg/L	5220-B	APHA (2012)
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	4500-C	APHA (2012)
Fósforo Total	mg/L	4500-B ou E	APHA (2012)
Sólidos Totais	g/L	2540-B	APHA (2012)
Sólidos Totais Fixos	g/L	2540-B	APHA (2012)
Sólidos Totais Voláteis	g/L	2540-B	APHA (2012)
Grupos Funcionais	cm^{-1}	-	Silverstein <i>et al.</i> (2005)

Fonte: Aatoria Própria (2018)

Para realização dos ensaios de caracterização físico-química foram utilizados os seguintes equipamentos:

- pH: pHmetro da marca Phtek, modelo PHS-3E, sendo inicialmente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e pH 7,0;
- Turbidez: Turbidímetro da marca PoliControl, modelo AP 2000;
- Condutividade: Condutímetro da marca Tecnal, modelo Tec-4MP;
- DQO: para cada amostra analisada as leituras foram efetuadas em espectrofotômetro Hach UV-Vis, DR 5000, com comprimento de onda de 620 nm;
- Nitrogênio: Velp da marca Velp Científica – UDK 159;
- Fósforo: para cada amostra analisada as leituras foram efetuadas em espectrofotômetro Hach UV-Vis, DR 5000, com comprimento de onda de 882 nm;
- Sólidos totais: Mufla da marca Zezimaq e estufa sem circulação de ar da marca MedClave Mod. 2.
- FTIR: O ensaio foi realizado no Laboratório Multiusuário de Análises Químicas (LAMAQ) do Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBi) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba, com auxílio da Técnica de Laboratório MSc. Rúbia Camila Ronqui Bottini.

O equipamento utilizado foi o Varian modelo 640-IR com medidas de reflectância total atenuada. O cristal utilizado foi da marca Pike, modelo *Miracle* com

cristal de seleneto de zinco (ZnSe). A resolução na medida é de 4 cm^{-1} e faixa de leitura de 4000 a 650 cm^{-1} .

Além da caracterização físico-química realizada no laboratório da UTFPR, em Curitiba, foram realizados dois ensaios de caracterização no DEQ/UFSCar: o teor de sólidos totais, pelo do método gravimétrico nº 2540 - B APHA (2012), e a massa específica do resíduo por picnometria, sendo utilizado um picnômetro de 25mL a temperatura ambiente de aproximadamente $22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.3 ENSAIOS PRELIMINARES

Para realização dos ensaios preliminares, foi efetuado o planejamento fatorial para definir as condições dos experimentos e posteriormente, os ensaios de secagem foram efetuados usando uma estufa sem circulação de ar da marca MedClave Mod. 2, sendo todas as análises efetuadas no Laboratório de Saneamento da UTFPR.

3.3.1 Planejamento Fatorial Completo

O planejamento fatorial é uma ferramenta estatística que permite avaliar e identificar, entre várias variáveis simultâneas, aquelas que apresentam maior efeito a partir de um número reduzido de ensaios experimentais. (MONTGOMERY E RUNGER, 2016).

Para esta pesquisa foi realizado planejamento fatorial completo 2^4 , onde a base representa os níveis de variação e o expoente o número de variáveis analisadas. Cada variável ou parâmetro foi estudada no nível baixo e no nível alto, ou seja, -1 e +1, respectivamente.

Deste modo foram determinados quatro parâmetros importantes a serem analisados durante os ensaios de secagem preliminares: tempo de ensaio, temperatura do ar da estufa, altura da camada de material e concentração do resíduo.

- Tempo de ensaio: o tempo de ensaio do nível baixo foi determinado de modo a evaporar uma quantidade mínima de água, assim optou-se por utilizar 70 minutos. Para o nível alto, como o objetivo não era a evaporação total dos componentes presentes na amostra, optou-se por utilizar 100 minutos.

- Temperatura: com resultados de ensaios iniciais de percentual de sólidos foi observada uma grande quantidade de água no resíduo (cerca de 90%), assim, optou-se por considerar a temperatura de nível alto a temperatura de evaporação da água (100 °C). Com relação à temperatura de nível baixo, foi determinada em 80 °C, que é a temperatura de evaporação de alguns álcoois.

- Altura da camada: a determinação dos níveis foi limitada pela altura da placa de petri utilizada para realização do ensaio. Como a altura da placa era de 1,5 cm, optou-se 1,0 cm de altura para o nível alto e 0,5 cm de altura para o nível baixo.

A altura da camada foi marcada em cada placa de petri com o auxílio de um paquímetro. As medidas eram demarcadas com etiquetas na realização de cada ensaio.

- Concentração inicial: para determinação dos níveis foi considerado o teor de sólidos presentes na amostra ensaiada (13,93%), sendo está a concentração do nível alto. Para a concentração do nível baixo, o resíduo foi diluído em 50% do volume inicial. Assim, obteve-se a concentração do nível baixo (7,60%).

Na Tabela 4 é apresentada uma síntese das condições testadas.

Tabela 4 - Parâmetros e Níveis Analisados nos Ensaio de Secagem em Estufa

Parâmetros	Níveis	
	Baixo	Alto
Tempo de ensaio (min)	70	100
Temperatura (°C)	80	100
Altura da camada (cm)	0,5	1,0
Concentração inicial (%)	7,60	13,93

Fonte: Autoria Própria (2018)

O planejamento fatorial gerado foi executado no *software Statistica 10.0* (durante o período da licença gratuita) para obtenção dos resultados. Assim, a matriz do planejamento estatístico apresenta as combinações dos quatro parâmetros analisados e suas respectivas variações (Tabela 5).

Tabela 5 - Combinação dos Parâmetros para Realização dos Ensaios

Ensaio	Tempo de Ensaio (min)	Temperatura (°C)	Altura da Camada (cm)	Concentração Inicial (%)
1	70	80	0,5	7,60
2	100	80	0,5	7,60
3	70	100	0,5	7,60
4	100	100	0,5	7,60
5	70	80	1,0	7,60
6	100	80	1,0	7,60
7	70	100	1,0	7,60
8	100	100	1,0	7,60
9	70	80	0,5	13,93
10	100	80	0,5	13,93
11	70	100	0,5	13,93
12	100	100	0,5	13,93
13	70	80	1,0	13,93
14	100	80	1,0	13,93
15	70	100	1,0	13,93
16	100	100	1,0	13,93

Fonte: Autoria Própria (2018)

Na Tabela 6 é apresentada a matriz do planejamento estatístico, contendo os níveis dos fatores analisados e as respectivas variáveis codificadas e decodificadas.

Tabela 6 - Parâmetros Analisados e Variáveis Codificadas Adotadas

Parâmetros	Níveis				Sigla Adotada
	Baixo		Alto		
	Variável Decodificada	Variável Codificada	Variável Decodificada	Variável Codificada	
Tempo de ensaio (min)	70	-1	100	1	V1
Temperatura (°C)	80	-1	100	1	V2
Altura da camada (cm)	0,5	-1	1,0	1	V3
Concentração inicial (%)	7,60	-1	13,93	1	V4

Fonte: Autoria Própria (2018)

Após determinar as variáveis codificadas, o tratamento estatístico dos ensaios realizados em estufa demonstrou quais variáveis e quais interações entre essas variáveis mais influenciaram no fator resposta, ou seja, a concentração final de resíduo.

Esta análise foi realizada através do cálculo dos efeitos das variáveis independentes juntamente com obtenção dos gráficos de curva de nível, superfície

de resposta e gráfico de Pareto. Assim, é possível verificar graficamente a contribuição de cada um dos efeitos no fator resposta que está sendo avaliado.

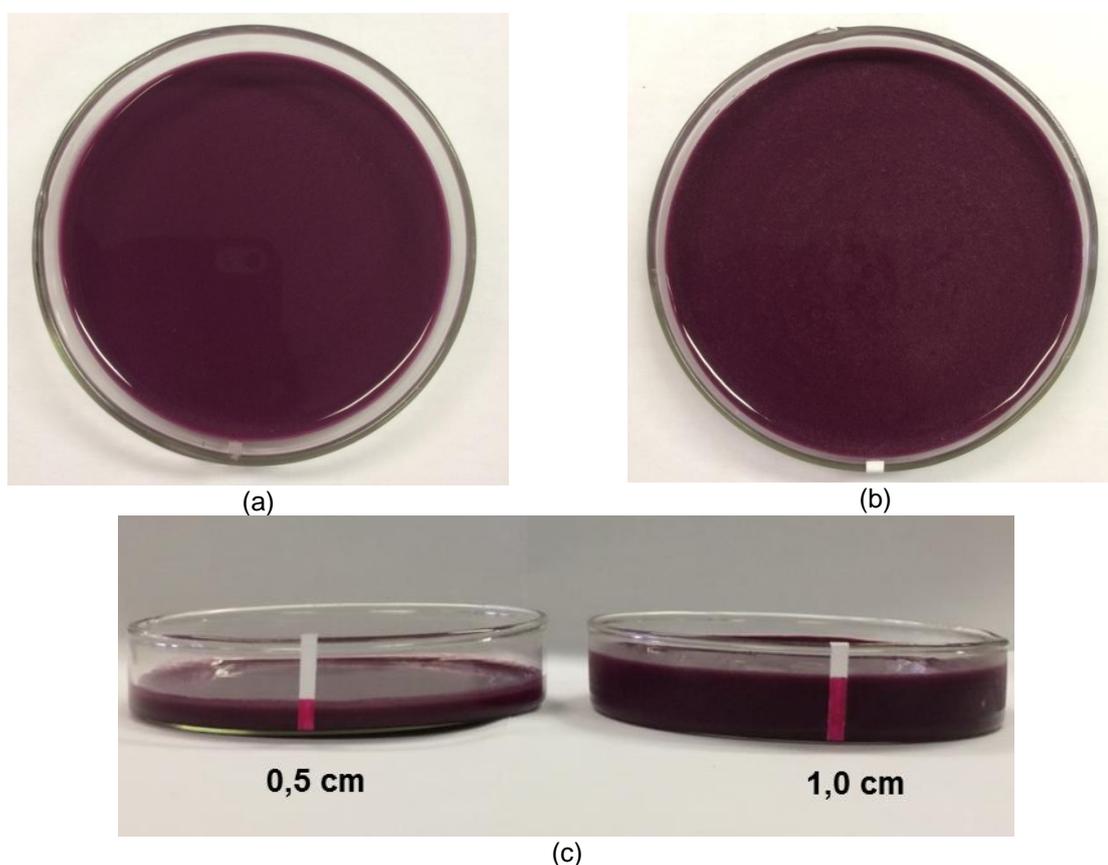
3.3.2 Ensaio em Estufa de Renovação Aberta

Para realização dos ensaios em estufa por convecção natural, foi utilizada uma estufa convencional de secagem da marca Med Clave, mod. 2. A estufa empregada no experimento não possui circulação de ar, apenas renovação aberta.

Primeiramente, foi realizada a pesagem das placas de Petri com diâmetro 80 mm de e altura de 15 mm, para obter a massa do recipiente.

Logo após, as amostras do resíduo foram colocadas em placas de Petri, respeitando a altura da camada analisada para cada ensaio. Sendo as alturas medidas anteriormente com paquímetro e marcadas com etiquetas (Figura 12). O conjunto, placa de Petri + resíduo, foi pesado, em balança analítica de precisão 0,0001 g, a fim de obter a massa inicial, sendo descontada a massa das placas.

Figura 12 – Etapas experimentais (a) Resíduo com concentração inicial de 7,60%; (b) Resíduo com concentração inicial de 13,93%; (c) Altura da camada de 0,5 e 1,0 cm.



Fonte: Autoria Própria (2018)

Em seguida, as amostras foram colocadas na estufa. A temperatura e o tempo de ensaio variaram de acordo com os dados das variáveis obtidas no planejamento fatorial. Após o ensaio em estufa, as amostras foram mantidas em dessecadores para seu resfriamento até temperatura próxima à temperatura ambiente. Posteriormente, foi realizada a pesagem das amostras. Com as massas antes e após o ensaio em estufa, obteve-se a concentração final, que é a resposta do planejamento fatorial.

3.4 ENSAIOS DE SECAGEM CONVECTIVA

Antes da realização dos experimentos, o resíduo armazenado era agitado para homogeneização da amostra. Posteriormente, o resíduo era colocado em um *erlenmeyer* vedado por cerca de 1 h, com o objetivo de realizar os estudos da amostra na temperatura próxima à temperatura ambiente. Os experimentos de secagem convectiva foram realizados em duplicata, no Centro de Secagem do Departamento de Engenharia Química (DEQ) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

3.4.1 Ensaio em Estufa sem Circulação de Ar

Para realização do experimento foi utilizada estufa convencional de secagem da marca TECNAL, modelo TE-394/1, com dimensões de 40 cm de medida interna de cada face, sem circulação de ar, somente a renovação aberta.

O ar de secagem foi aquecido à temperatura de 60 °C e o sistema foi mantido fechado por 24 h até que todas as condições medidas fossem uniformes.

A amostra foi previamente colocada em uma placa de Petri com diâmetro de 5,1 cm e altura de 1 cm. O conjunto foi introduzido em um recipiente de aço inoxidável, e mantido suspenso por correntes de aço no centro geométrico de ambos os equipamentos.

Para medir a perda de massa foi utilizada uma balança de precisão de 0,001g (Gehaka, BG 4000), conectada por porta serial a um computador, a leitura do sinal, bem como o armazenamento dos dados, foi realizada pelo *software Hyperterminal*.

3.4.2 Ensaio em Estufa com Circulação de Ar

Para o ensaio de secagem convectiva em estufa com circulação de ar, foi utilizada uma estufa do Centro de Secagem do DEQ/UFSCar da marca TECNAL, modelo TE-394/1. O resíduo foi ensaiado as temperaturas de 40, 60, 80 e 105 °C com o objetivo de avaliar as cinéticas de secagem, sendo colocado na estufa após a temperatura tornar-se uniforme.

Os ensaios foram realizados em duplicata para cada temperatura. O resíduo foi colocado em uma placa de Petri com diâmetro de 5,1 cm e altura de 1 cm, posicionada no centro da estufa e suspensa por correntes de aço para realizar a secagem do produto. A amostra era pesada em intervalos de 1 s e o ensaio era finalizado quando a massa do resíduo se tornava constante, para medição da perda de massa foi utilizado o mesmo sistema de aquisição de dados do ensaio em estufa sem circulação de ar (balança de precisão e computador com *software*). Após o experimento foram realizadas análises para determinar a curva de secagem do resíduo.

Através de um visor controlador de velocidade, mediu-se a velocidade média de escoamento de ar que foi de $1,5 \pm 0,1$ m/s.

3.4.3 Ensaio usando Aquecimento por Radiação Infravermelha

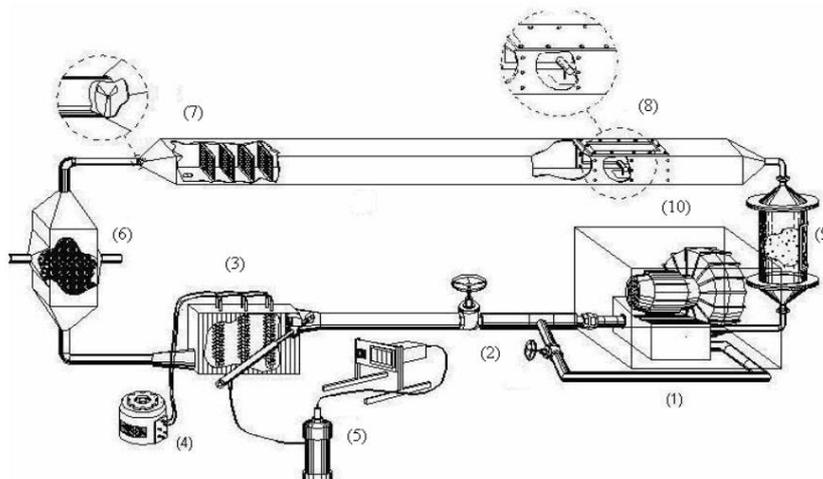
Para realização do ensaio de aquecimento por radiação infravermelha, utilizou-se uma balança termogravimétrica (DENVER, IR-200), com um sistema de aquecimento por infravermelho. A amostra foi colocada no equipamento em um suporte de alumínio, e o aquecimento foi feito pela face superior, sendo que a medida da massa foi realizada em intervalos de 1 minuto. O ensaio era finalizado quando a massa da amostra atingia um valor constante.

Com o objetivo de avaliar as cinéticas de secagem do resíduo, o experimento de secagem por radiação infravermelha foi realizado nas temperaturas de 40, 60, 80 e 105 °C. A altura da camada de resíduo adotada foi de 0,5 cm. Para efeito de comparação, as mesmas condições foram reproduzidas em água destilada para as mesmas temperaturas (40, 60, 80 e 105 °C).

3.4.4 Ensaio em Túnel de Vento

Os ensaios de secagem foram realizados em um secador de convecção forçada com recirculação de ar, disponível no Centro de Secagem do DEQ/UFSCar, construído e instalado por Cassandre *et al.* (2001), e mostrado na Figura 13.

Figura 13 - Esquema de Unidade de Secagem por Túnel de Vento



Fonte: Cassandre *et al.* (2001)

A unidade experimental de túnel de vento era constituída basicamente de: (1) soprador, promulga o escoamento do ar; (2) sistema de válvula gaveta, controla a vazão de ar na região de secagem; (3) conjunto de resistência em série; (4) regulador de tensão (VARIVOLT); (5) circuito de termopares de cobre-constantan; (6) sistema de trocador de calor casco-tubo, reduz a temperatura do sistema para secagem de materiais biológicos que precisam ser secos abaixo de 40 °C; (7) sistema de placas defletoras juntamente com um sistema de pás helicoidais, uniformizam o escoamento até a região de secagem; (8) compartimento de secagem; (9) leito de esferas de sílica, desumidificam o ar de secagem para retornar ao sistema; (10) soprador do tipo compressor radial (IBRAN) de 0,75 HP.

Para a secagem de convecção forçada foi utilizado um sistema de aquisição da massa da borra vinícola em relação ao tempo de secagem. Para esta medida foi utilizada uma balança de precisão de 0,001 g (Gehaka, BG 4000), que foi conectada por via porta serial a um computador, no qual a leitura do sinal, bem como o armazenamento dos dados, foi realizada pelo *software Hyperterminal*.

A amostra foi previamente colocada em uma placa de Petri com diâmetro de 5,1 cm e altura de 1 cm. O conjunto foi então introduzido em um recipiente de aço inoxidável, e mantido suspenso por correntes de aço no centro geométrico de ambos os equipamentos.

Para realização da secagem por meio de convecção forçada foram adotadas temperaturas de 40 e 60 °C, usando um termoanemômetro de marca Tri-Sense 37000-95, mediu-se a velocidade média de escoamento de ar que foi de $1,2 \pm 0,1$ m/s.

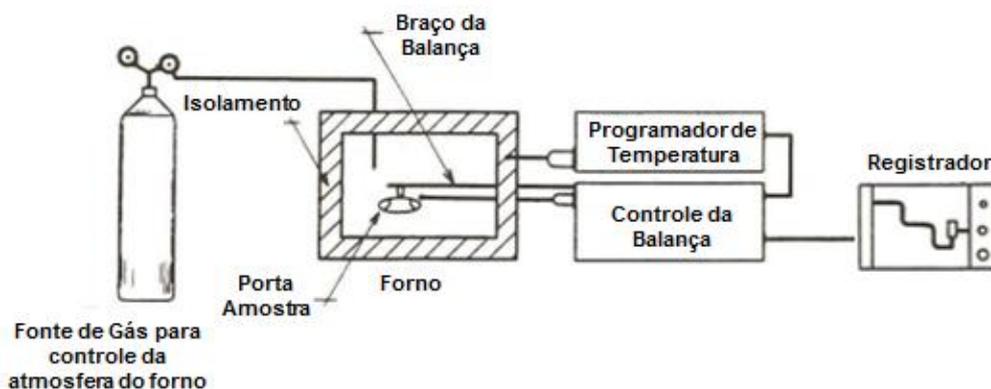
3.5 ANÁLISE TÉRMICA

Foram realizados três ensaios de análise térmica: Análise Termogravimétrica (ATG), Análise Térmica Diferencial (ATD), Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC). Através destas técnicas foi possível obter informações sobre variação de massa, estabilidade térmica e energia do processo.

3.5.1 Análise Termogravimétrica (ATG)

A Análise Termogravimétrica mede a mudança de massa de uma substância em função da temperatura. As curvas foram obtidas através de uma termobalança da marca BP Engenharia, modelo RB-3000-20, com sensibilidade de 0,01 g, velocidade de aquecimento de $12,5 \text{ °C min}^{-1}$ até a temperatura de 500 °C. O diagrama de uma termobalança é apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Diagrama do Sistema para Análise Termogravimétrica Experimental



Fonte: Denari e Cavalheiro (2012)

Primeiramente, foram realizadas uma limpeza e verificação do equipamento, para obtenção do branco e para proceder ao ensaio prévio do padrão de oxalato de cálcio monohidratado. As análises com amostras do resíduo foram realizadas após estas etapas. Para realização do ATG, as amostras do resíduo vinícola foram secas em estufa a 105 °C. A análise foi realizada no Laboratório de Caracterização do Núcleo de Pesquisa Tecnológica (NPT) do Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba, com auxílio do Felipe Perretto.

3.5.2 Análise Térmica Diferencial (ATD)

A Análise Térmica Diferencial mede diferença de temperatura entre a substância e o material de referência (termicamente inerte) em função da temperatura. As curvas foram obtidas através de uma termobalança da marca BP Engenharia, modelo RB-3000-20, com sensibilidade de 0,01 g, velocidade de aquecimento de 12,5 °C min⁻¹ até a temperatura de 1200 °C. Para realização do ATD, as amostras do resíduo vinícola foram secas em estufa a 105 °C. A análise foi realizada no Laboratório de Caracterização do Núcleo de Pesquisa Tecnológica (NPT) do Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba, com auxílio do Felipe Perretto.

3.5.3 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A Calorimetria Exploratória Diferencial mede a diferença de energia fornecida à substância e a um material de referência em função da temperatura. Os ensaios foram realizados em triplicata por meio do equipamento de marca SHIMADZU, modelo DSC-50, em que foram identificados eventos endotérmicos ou exotérmicos na faixa de temperaturas do experimento de secagem. A rampa de aquecimento foi de 5 °C min⁻¹, com temperatura máxima de 105 °C.

Para esta análise foram separados 100 mL de resíduo (Amostra 1), dos quais foram retiradas alíquotas para realização dos experimentos de calorimetria.

Esta amostra foi colocada em um *erlenmeyer* de 250 mL e mantida em refrigeração a temperatura de 4 °C. Para realização do ensaio, a amostra foi retirada da refrigeração e, aguardou-se que o resíduo atingisse a temperatura ambiente

(aproximadamente 20 °C) para efetuar o ensaio de calorimetria. Após 1,5 h da amostra nas condições ambientes, foi retirada outra alíquota para realizar novo ensaio de calorimetria.

Os ensaios foram realizados em atmosfera oxidante, sendo o ar sintético composto por, aproximadamente, 78% de nitrogênio e 22% de oxigênio. A amostra foi colocada em um cadinho de alumínio fechado e a saída da massa ocorreu por meio de um furo na tampa do recipiente. Desta maneira, buscou-se representar um processo de secagem do resíduo, avaliando-se os eventos térmicos durante este processo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados primeiramente os resultados e discussão da caracterização físico-química da borra de vinho. Em seguida, os resultados e discussão dos ensaios de secagem em estufa realizado a partir do planejamento fatorial. Por fim, os resultados e discussões da secagem convectiva em estufa sem circulação de ar, com circulação de ar, usando aquecimento por radiação infravermelha e ensaios em túnel de vento.

A falta de estudos sobre a caracterização e exploração da borra de vinho dificultou a comparação dos resultados obtidos com outros trabalhos, principalmente no que se refere à secagem deste resíduo.

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

4.1.1 Ensaio de Caracterização realizado na UTFPR

A caracterização físico-química da borra foi realizada com o objetivo de conhecer as principais propriedades do material estudado. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Caracterização Físico-Química da Borra

Parâmetro	Número de Amostras	Unidade	Valor Obtido*
pH	3	-	2,62 ± 0,2
Turbidez	2	UNT	>1101
Condutividade Elétrica	2	µS/cm	157,10
DQO Bruta	6	g/L	115 ± 5,6
DQO Centrifugada	6	g/L	96 ± 1,5
Nitrogênio Amoniacal	4	mg/L	124 ± 24,3
Fósforo Total	4	mg/L	177 ± 48,0
Sólidos Totais	6	g/L	110 ± 0,7
Sólidos Totais Fixos	6	g/L	30 ± 1,8
Sólidos Totais Voláteis	6	g/L	80 ± 2,0
Relação STF/ST	6	%	27 ± 0,02
Relação STV/ST	6	%	73 ± 0,02

* Os valores correspondem à média ± desvio-padrão.

Fonte: **Autoria Própria (2018)**

Com base na Tabela 7, primeiramente observa-se que o valor do pH apresentou características ácidas com resultados em torno de 2,62. Este valor é característico para resíduos provenientes da uva e similar ao encontrado por Peruzzo (2014) de 3,10, em seu estudo de reaproveitamento da borra de vinho tinto. O valor do pH também foi similar ao encontrado por Moldes *et al.* (2008) de $3,9 \pm 0,1$ em seu estudo da borra. Pirra (2005) também observou que os valores de pH da borra de vinho variavam entre 3-4.

A acidez do vinho e seus subprodutos dependem do tipo e da concentração dos ácidos orgânicos e da concentração de cátions, especialmente do potássio. Esta acidez está diretamente relacionada à composição do mosto, especialmente à sua acidez, à concentração de potássio e à predominância do ácido tartárico em relação ao málico (RIZZON E MIELE, 2002).

Ao realizar o ensaio de turbidez na borra vinícola, não foi possível obter um valor numérico, pois, como a borra possui alta concentração de sólidos, assim, a leitura do turbidímetro não pode ser efetuada devido a turbidez do resíduo ser maior que o valor limite do equipamento (1101 UNT).

A impossibilidade de leitura da turbidez do resíduo bruto deve-se à presença de materiais insolúveis no meio aquoso, o que provoca opacidade no resíduo e impede a passagem de luz (CRESPILO *et al.*, 2004; PIRRA, 2005). A presença destes materiais foi verificada com a determinação dos sólidos totais, totais fixos e totais voláteis. A concentração de sólidos totais foi de $110 \pm 0,7$ g/L, sólidos totais fixos $30 \pm 1,8$ g/L e de sólidos totais voláteis de $80 \pm 2,0$ g/L.

A determinação da concentração de sólidos totais envolve todos os compostos particulados e dissolvidos presentes no resíduo. Essa determinação é muito importante, pois fornece informações úteis sobre a quantidade de resíduos presentes nos efluentes (CRESPILO *et al.*, 2004). A relação de STF/ST da borra de vinho foi de 27% e de STV/ST foi de 73%, o que demonstra que os compostos orgânicos constituem a maior parte de sólidos presentes no resíduo. Em comparação com efluentes vinícolas, $ST = 10$ g/L, a concentração de sólidos pode ser até 10 vezes maior. De acordo com Ros *et al.* (2017) a relação de STV/ST para a borra vinícola pode variar de 29 a 86%.

Nos ensaios de evaporação foi observada formação de uma película na superfície livre do resíduo líquido. Estima-se que essa película, com aparência semelhante à nata de leite, seja resultado da presença de sólidos que, mesmo

baixa, pode ter influenciado na taxa de evaporação. De modo geral, a existência de sólidos em suspensões/soluções aquosas é uma resistência ao processo de transferência de massa via evaporação. Determinar esse teor de sólidos é, pois, uma etapa básica para entender o resíduo sob o ponto de vista de sua capacidade de perder água para o ambiente.

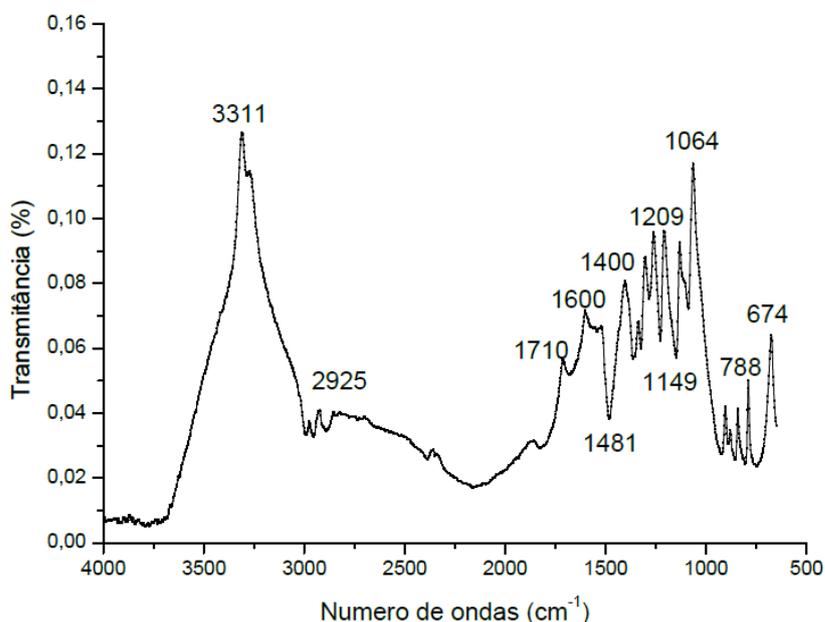
Os valores de DQO bruta e DQO centrifugada resultaram em $115 \pm 5,6$ g/L e $96 \pm 1,5$ g/L. Em comparação com alguns efluentes como o esgoto (DQO 250 a 800 mg/L), a DQO da borra é considerada elevada. De acordo com Pirra (2005), a DQO da borra pode ser de 10 a 30 vezes superior quando comparada com as dos efluentes vinícolas que geralmente possuem DQO de 10 g/L. A DQO, assim como os demais parâmetros físico-químicos analisados está diretamente relacionada às condições operacionais de cada vinícola e ao produto gerado. O menor valor da DQO filtrada em comparação a DQO bruta é ocasionado pela presença de sólidos no resíduo.

O valor médio obtido para nitrogênio amoniacal foi de $124 \pm 24,3$ mg/L. De acordo com Bustamante *et al.* (2008) os elevados valores de nitrogênio observados podem ser devido à adição de diferentes substâncias, como proteínas e leveduras, durante os processos de finalização do vinho. O valor de nitrogênio é próximo do obtido para efluentes vinícolas que variam de 35 a 200 mg/L.

O valor médio obtido para fósforo total foi de $177 \pm 48,0$ mg/L. Segundo Bustamante *et al.* (2008) a alta concentração de fósforo deve-se ao uso de hidrogenofosfato de amônio para acelerar o processo de fermentação em mostos deficiente e a precipitação de fosfato férrico.

Com relação aos grupos funcionais a análise por meio da Espectrometria no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), o ensaio foi realizado para identificar os principais grupos funcionais presentes na borra de vinho tinto. Os principais grupos funcionais são apresentados na Figura 15.

Figura 15 - Grupos Funcionais obtidos no FTIR



Fonte: Aatoria Própria (2018)

Grande parte dos compostos presentes na borra de vinho tem em sua estrutura átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio, em suas mais diversas ligações. Assim, são apresentados na Tabela 8 os principais grupos funcionais e suas respectivas bandas, na região do infravermelho, determinados por Silverstein *et al.* (2005).

Tabela 8 - Grupos Funcionais e suas Bandas de Absorção

Grupo Funcional	Região de Absorção (cm^{-1})
Alcenos	650 – 1000; 1380 – 1420
Alcinos	700 – 750
Aromáticos	3150 – 3250
C – O	640 – 840
O – H	1000 – 1200; 3200 – 3600
C = O	1650 – 1850
C - C	800-1300
C - H	2850-3000

Fonte: Adaptado de Silverstein *et al.* (2005)

Assim, o espectrograma para o resíduo vinícola apresentou os seguintes grupos funcionais:

- Na faixa de transmitância de 800 a 1200 cm^{-1} , o qual corresponde ao estiramento C=C do grupo hidrocarbonetos insaturados (alcenos) (SILVERSTEIN *et al.*, 2005);

- Na faixa de transmitância de 3200 a 3700 cm^{-1} , o qual corresponde ao estiramento com presença da hidroxila (O-H) e faixa de transmitância de 1000 a 1200 cm^{-1} e ao estiramento C-O pertence ao grupo dos álcoois e fenóis (SILVERSTEIN *et al.*, 2005). Dentre os álcoois presentes no vinho o álcool etílico pode apresentar de 9 a 15% de concentração (REIS, 2008). O etanol possui ponto de ebulição próximo a 80 °C e o metanol, outro álcool presente possui um ponto de ebulição próximo à temperatura de 65 °C;

- Na faixa de transmitância de 800 a 1300 cm^{-1} , o qual corresponde ao estiramento C-O-C pertence ao grupo dos éteres (SILVERSTEIN *et al.*, 2005). A banda com ligações mais fortes está situada na faixa de transmitância de 1085 a 1150 cm^{-1} , como observado na Figura 15, em que apresentou um número de ondas de 1064 cm^{-1} . Os éteres presentes no vinho podem apresentar de 0,5 a 1,5% de concentração (REIS, 2008). Possui um ponto de ebulição próximo à temperatura de 35 °C;

- Na faixa de transmitância de 2500 a 3300 cm^{-1} , o qual corresponde ao estiramento O-H e, na faixa de transmitância de 1650 a 1850 cm^{-1} , o qual corresponde ao estiramento C=O pertence aos ácidos carboxílicos (SILVERSTEIN *et al.*, 2005).

A borra de vinho é rica em ácido málico, ácido tartárico e contém polifenóis, que podem ser aproveitados como antioxidantes, antitumorais e tratamentos antibacterianos, o que mostra importância de estudar este resíduo (SUI *et al.*, 2014).

4.1.2 Ensaio de Caracterização realizados na UFSCar

Os ensaios de caracterização realizados na UFSCar para secagem convectiva apresentaram fração mássica de sólidos de $12,13 \pm 0,06$ % e massa específica de $1,036 \pm 0,001$ g/cm³. Estes valores estão de acordo com os resultados obtidos por Almeida *et al.* (2010) e Freire *et al.* (2012) para secagem de materiais pastosos (lodos de esgoto e leite desnatado) em leito de jorro sendo, respectivamente, $4,81 \pm 0,05$ % e $8,90 \pm 0,05$ % para fração mássica de sólidos e de $1,021 \pm 0,004$ g/cm³ e $1,032 \pm 0,013$ g/cm³ para a massa específica. Para as borras estudadas por Barcia (2014) as frações mássicas de sólidos variaram de acordo com a uva da qual foram provenientes permanecendo entre 3,5 e 30,9 %.

4.2 ENSAIO DE SECAGEM EM ESTUFA

O delineamento experimental e a variável resposta referente à concentração final de resíduo obtida nos experimentos de secagem em estufa são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Fatores Experimentais e Fator Resposta

Grupo de Ensaio	Ensaio	Tempo de Ensaio (min)	Temperatura (°C)	Altura da Camada (cm)	Concentração Inicial (%)	Concentração Final (%)
01	1	70	80	0,5	7,60	70,84 ± 0,05
	5	70	80	1,0	7,60	87,72 ± 0,01
	9	70	80	0,5	13,93	78,97 ± 0,02
	13	70	80	1,0	13,93	89,13 ± 0,05
02	2	100	80	0,5	7,60	68,05 ± 0,01
	6	100	80	1,0	7,60	86,86 ± 0,01
	10	100	80	0,5	13,93	66,99 ± 0,06
	14	100	80	1,0	13,93	85,47 ± 0,02
03	3	70	100	0,5	7,60	23,48 ± 0,00
	7	70	100	1,0	7,60	16,93 ± 0,00
	11	70	100	0,5	13,93	24,40 ± 0,02
	15	70	100	1,0	13,93	17,64 ± 0,00
04	4	100	100	0,5	7,60	33,58 ± 0,06
	8	100	100	1,0	7,60	17,84 ± 0,00
	12	100	100	0,5	13,93	65,33 ± 0,20
	16	100	100	1,0	13,93	17,68 ± 0,00

Fonte: Autoria própria (2018)

Os efeitos estimados das variáveis analisadas no fator resposta são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Efeitos das Variáveis no Fator Resposta - Continua

Parâmetros	Efeitos	Erro Padrão*	t*	p-valor	Erro Padrão**
Média/Intercepto	50,5005	0,8279	60,9922	0,0000	0,8279
Tempo (V1)	-1,2726	1,6559	-0,7685	0,4769	0,8279
Temperatura (V2)	-57,5033	1,6559	-34,7249	0,0000	0,8279
Altura da Camada (V3)	3,5770	1,6559	2,1601	0,0831	0,8279
Concentração Inicial (V4)	0,1529	1,6559	0,0924	0,9300	0,8279
V1 x V2	3,5475	1,6559	2,1423	0,0851	0,8279

Tabela 10 - Efeitos das Variáveis no Fator Resposta - Continuação

Parâmetros	Efeitos	Erro Padrão*	t*	p-valor	Erro Padrão**
V1 x V3	0,1436	1,6559	0,0867	0,9342	0,8279
V1 x V4	-2,6350	1,6559	-1,5912	0,1724	0,8279
V2 x V3	-12,5068	1,6559	-7,5526	0,0006	0,8279
V2 x V4	-1,6197	1,6559	-0,9781	0,3729	0,8279
V3 x V4	0,2014	1,6559	0,1216	0,9072	0,8279

*Erro padrão do efeito; ** Erro padrão do coeficiente; * T – t de Student.

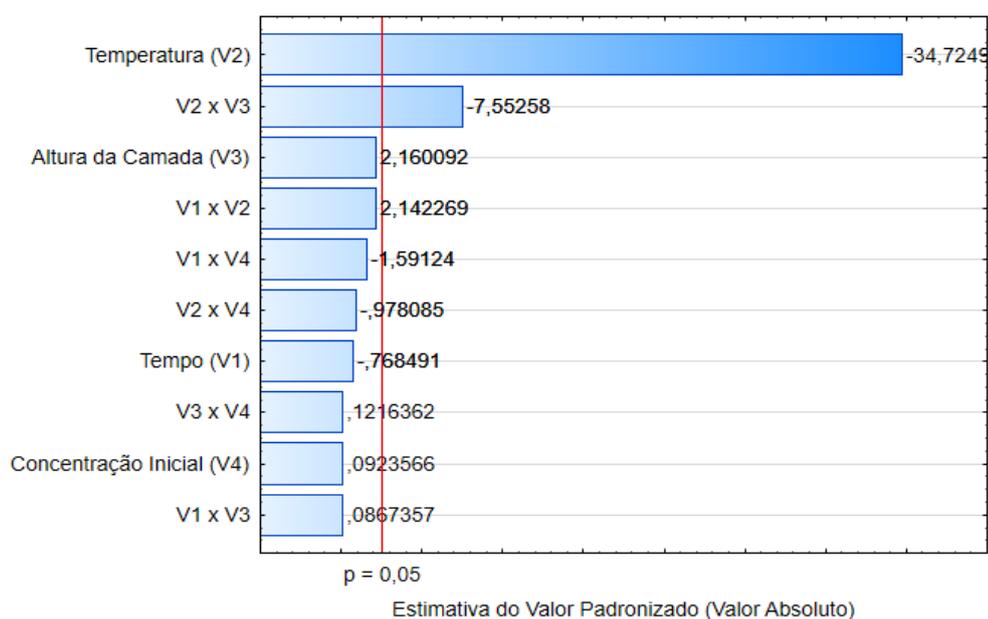
Fonte: Autoria própria (2018)

Observa-se (Tabelas 9 e 10), que na concentração final, somente os fatores temperatura e a interação entre a temperatura e altura da camada exerceram efeitos significativos ao nível de 5% de significância, pois apresentaram p-valores menores que 0,05.

Assim, constata-se que os fatores tempo de ensaio e concentração inicial, individualmente, e as interações tempo de ensaio x altura da camada, temperatura x concentração inicial, tempo de ensaio x concentração inicial e altura da camada x concentração inicial não influenciaram direta e significativamente no fator resposta, pois os valores do p-valor resultaram muito superiores ao nível de confiança de 95%.

Através do gráfico de Pareto está ilustrada a significância dos fatores no fator resposta (Figura 16).

Figura 16 - Gráfico de Pareto

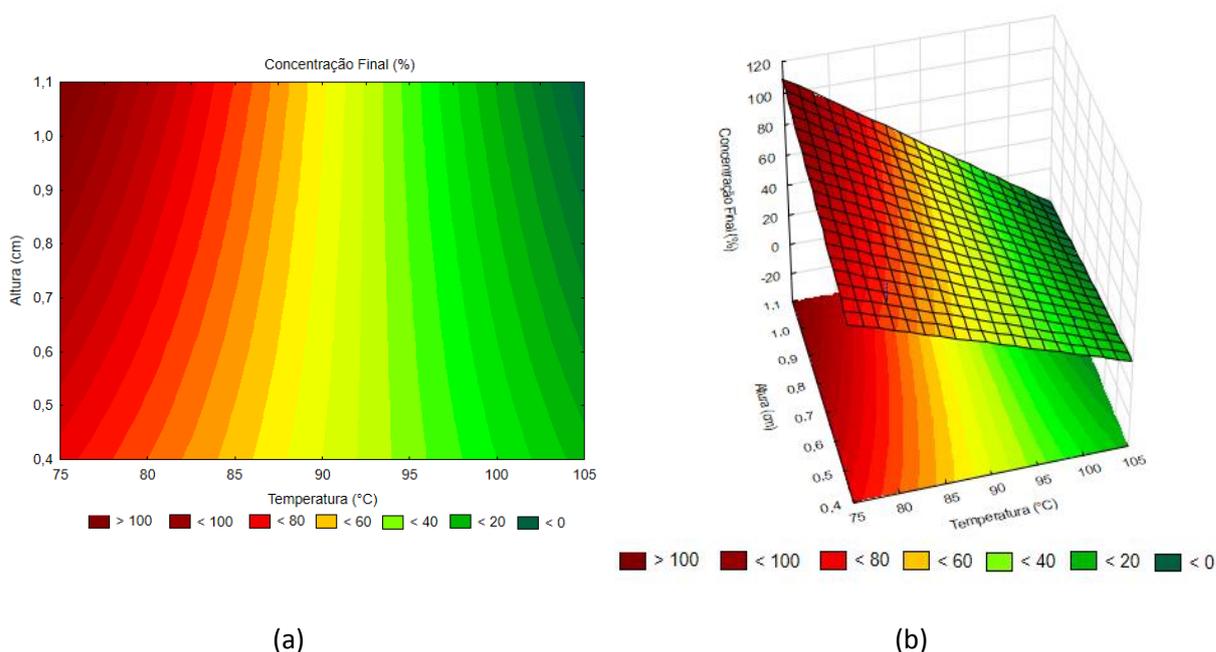


Fonte: Autoria própria (2018)

As significâncias das variáveis apresentadas na Tabela 10 são reafirmadas pelo gráfico de Pareto, no qual também considera-se significativas as variáveis com p-valor menor que 0,05. Assim, os fatores significativos são aqueles situados à direita da linha vermelha vertical.

Na Figura 17 são apresentados, na forma de curva de nível e superfície de resposta, os resultados apresentados e discutidos anteriormente.

Figura 17 – Resultados da (a) Superfície de Resposta e (b) Curva de Nível para Concentração de Sólidos na Amostra



Fonte: Autoria própria (2018)

As áreas vermelhas escuras representam melhores resultados para determinação da concentração final (superior a 80%) e as áreas amarelas ou verdes possuem resultados menos satisfatórios (0 a 60%). É possível verificar que para temperaturas até 80 °C e com altura da camada superior a 0,7 cm, os valores de concentração estão próximos a 100%, ou seja, essa é a região recomendada para a operação do processo. Para as temperaturas acima de 80 °C, mesmo com altura da camada acima de 0,7 cm, os resultados de concentração final são menos satisfatórios, como observa-se para as temperaturas superiores a 100 °C em que conforme a altura da camada aumenta, a concentração final fica abaixo de 20% e aproximando-se cada vez mais de zero.

4.3 ANÁLISES TÉRMICAS

4.3.1 Análise Termogravimétrica (ATG)

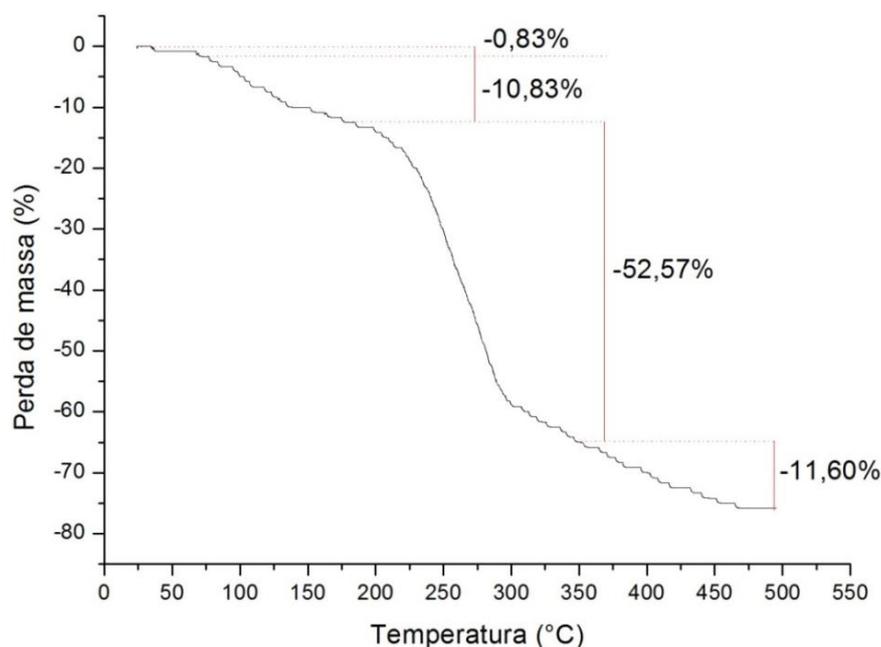
Os resultados da Análise Termogravimétrica (ATG) da borra de vinho tinto são apresentados na Tabela 11 e na Figura 18.

Tabela 11 - Resultados da Análise Termogravimétrica

Temperatura (°C)	Limites Considerados (°C)	Perda de massa (%)
48	34 – 61	0,83
113	61 – 161	10,83
262	161 – 346	52,57
Perda de massa total: 75,83 %		

Fonte: Aatoria Própria (2018)

Figura 18 - Análise Termogravimétrica da Borra de Vinho



Fonte: Aatoria Própria (2018)

Na Figura 18 verifica-se perda de massa com o aumento de temperatura da borra de vinho em três eventos térmicos devido à desidratação da amostra, primeiramente de 0,83% para as temperaturas de 34 °C a 61 °C, em seguida de 10,83% para as temperaturas de 61 °C a 161 °C, e a maior perda de massa de 52,27% para as temperaturas de 161 °C a 346 °C, o que resulta em perda total de

75,83%, considerando que entre as temperaturas de 346 a 500 °C houve uma perda de massa de 11,60%.

Como pode ser observado, há distintas regiões de perda de massa no termograma da amostra da borra de vinho. A perda de massa até 100 °C corresponde à umidade do material em uma primeira região. Um dado importante dessa análise é que, para processos térmicos com temperaturas inferiores à 100 °C, boa parte da massa perdida será de água mesmo, ou seja, com pouca variação no teor de sólido.

4.3.2 Análise Térmica Diferencial (ATD)

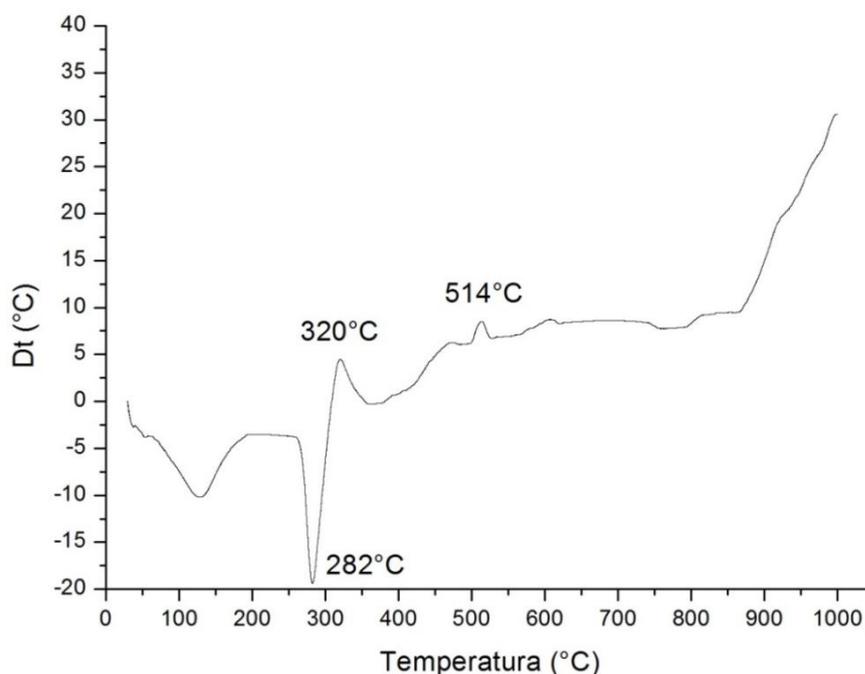
Os resultados da Análise Térmica Diferencial (ATD) da borra de vinho tinto são apresentados na Tabela 12 e na Figura 19.

Tabela 12 - Resultado da Análise Térmica Diferencial

Temperatura (°C)	Descrição	Intensidade
282	Acidente Endotérmico	Média
320	Acidente Exotérmico	Pequena
514	Acidente Exotérmico	Pequena

Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 19 - Análise Térmica Diferencial da Borra de Vinho



Fonte: Autoria Própria (2018)

Na Figura 19 verifica-se um evento endotérmico em 282 °C considerado de média intensidade, com picos descendentes e, dois eventos exotérmicos 320 °C e 514 °C, considerados de pequena intensidade e com picos ascendentes.

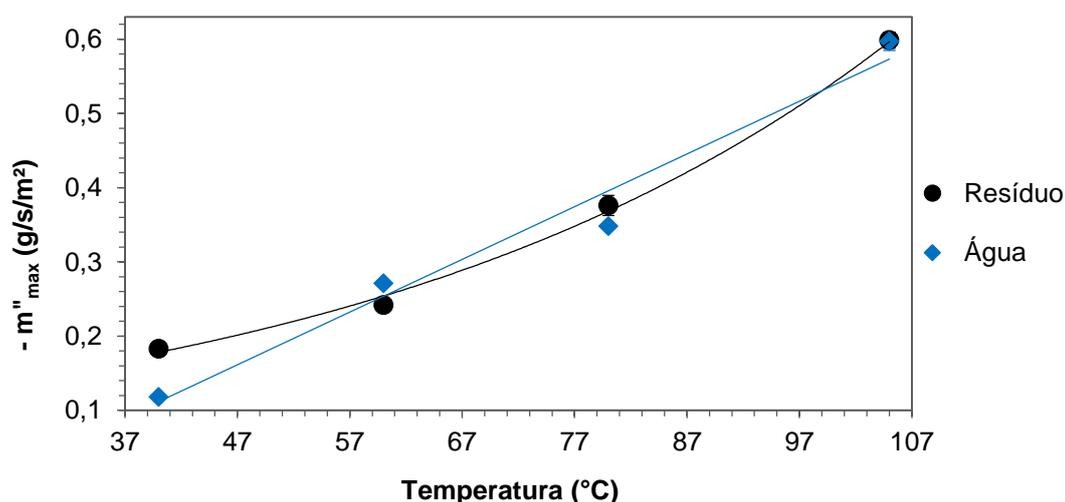
O evento endotérmico com temperatura de *onset* (temperatura de início do evento) de 250 °C e pico em 282 °C, ocorre devido à perda de massa indicada no ATG entre os intervalos de 161 e 346 °C, o que ocasiona a desidratação da amostra.

Os pontos de eventos exotérmicos, com temperatura de *onset* de 300 °C, com pico em 320 °C para o primeiro evento e com temperatura de *onset* de 510 °C, com pico em 514 °C para o segundo evento, ocorre possivelmente devido à mudança de estado de algum composto presente na amostra ensaiada.

4.3.3 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Para auxiliar na a interpretação dos resultados referentes à calorimetria exploratória diferencial (DSC) foi realizado inicialmente uma análise comparativa entre o fluxo mássico máximo de evaporação da água pura e o fluxo mássico máximo de evaporação do resíduo, em função da temperatura (Figura 20).

Figura 20 - Fluxo Mássico de Água Máximo em Função da Temperatura



Fonte: Autoria Própria (2018)

Observa-se na Figura 20, um aumento linear do fluxo de massa de água em relação à temperatura. Porém, ao analisarmos a evaporação para o resíduo, o

comportamento do fluxo de massa em função da temperatura só pôde ser ajustado a uma exponencial.

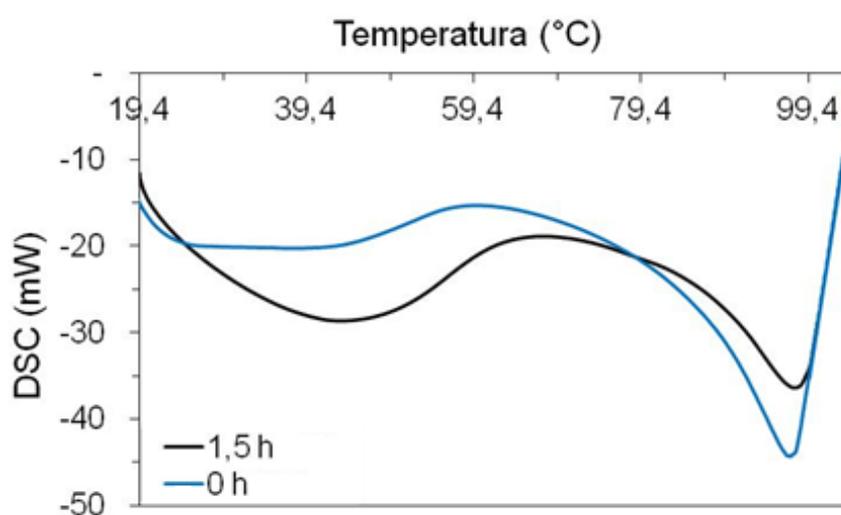
Os dados mostram que a alta concentração de componentes fenólicos do resíduo provoca aumento do fluxo de massa de evaporação quando comparado à água destilada, em particular para as menores temperaturas. Isto ocorre devido à alta volatilidade dos compostos orgânicos presentes na borra (BARCIA, 2014).

Desta maneira ao elevar a temperatura de secagem, a vaporização dos compostos orgânicos ocorre de maneira mais rápida, pois a energia térmica fornecida pelo aumento da temperatura torna-se maior ou igual ao calor latente destes compostos. Esta mudança de fase, e a provável formação de bolhas no seio do resíduo, produziram as perturbações observadas nas medidas de fluxo mássico do resíduo para os instantes iniciais de secagem em temperaturas acima de 80 °C.

Porém, ainda grande parte da fração mássica deste resíduo é água. Após a rápida retirada dos compostos mais voláteis é predominante a transferência convectiva de massa de água na superfície do resíduo. Assim, quando se realiza o processo de evaporação a 105 °C, observam-se valores semelhantes de fluxo de massa para água e o resíduo (Figura 20).

Na Figura 21, é apresentada a variação do calor diferencial por varredura (DSC) em função da temperatura.

Figura 21 - Calor Diferencial por Varredura em Função da Temperatura



Fonte: Aatoria Própria (2018)

Por meio da Figura 21 foram apresentados os ensaios que caracterizaram as três repetições de calorimetria diferencial por varredura. Observa-se que as amostras que eram obtidas logo após o equilíbrio com as condições ambientes (zero hora) mostraram apenas um evento endotérmico em aproximadamente 100 °C, correspondente a temperatura de mudança de estado físico da água.

Porém, quando o lote de resíduo era exposto às condições ambientes por 1,5 h, teve-se também um evento endotérmico em aproximadamente 43 °C.

Este evento endotérmico a 43 °C não foi observado em nenhuma das amostragens logo após o equilíbrio (zero hora). Porém, foi observado em todas as amostragens após 1,5 h nas condições ambientes.

Portanto, constatou-se que existe um efeito físico/químico reversível no resíduo que, nas condições ambientes, faz com que ocorra evento endotérmico.

Devido à característica reversível deste evento com o resfriamento, verifica-se que não se trata de uma decomposição ou degradação.

É possível que este efeito seja uma mudança estrutural de algum composto orgânico contido no resíduo, que altera suas características térmicas, desta maneira surgindo um evento endotérmico em aproximadamente 43 °C.

Isso indica que na temperatura de aproximadamente 40 °C há liberação de algum composto, justificando a maior evaporação do resíduo em relação à água apresentado na Figura 21 e confirmando as discussões realizadas anteriormente.

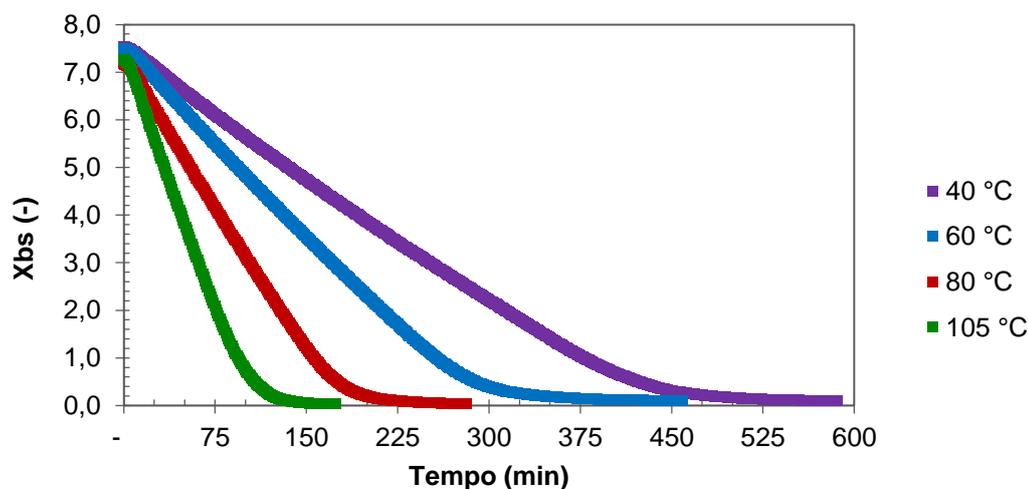
4.4 ENSAIOS DE SECAGEM CONVECTIVA

Os ensaios de secagem, independente do método, basearam-se em duas variáveis respostas: a umidade em base seca (X_{bs}) e o fluxo de massa de água (m'').

4.4.1 Ensaio usando Aquecimento por Radiação Infravermelha

Para os ensaios de aquecimento por radiação infravermelha os valores da umidade em base seca em função do tempo de secagem, parametrizados na temperatura obtidos são apresentados na Figura 22.

Figura 22 - Umidade em Base Seca em Função do Tempo de Secagem do Resíduo

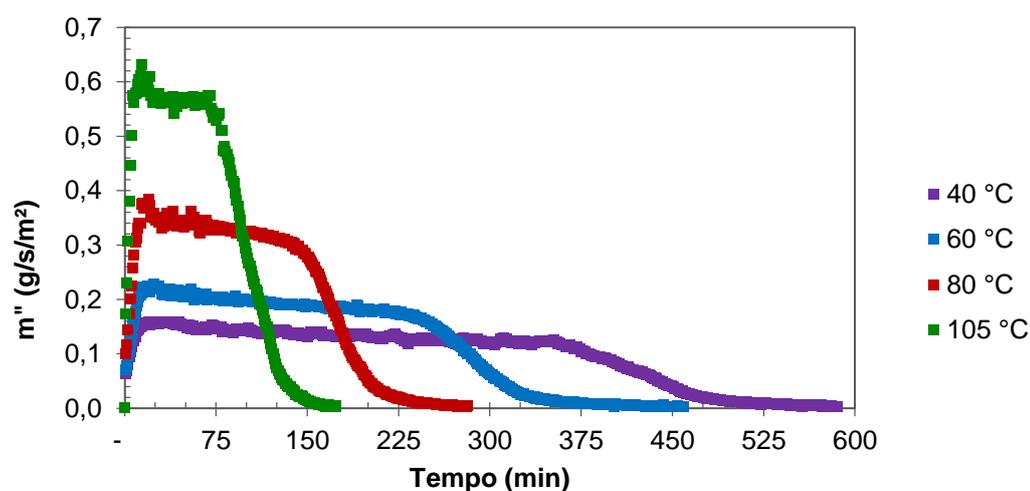


Fonte: Autoria Própria (2018)

Na Figura 22, como esperado, verifica-se que quanto maior a temperatura do sistema, mais rápida foi a redução de umidade em função do tempo. Ao comparar os resultados obtidos para 40 e 105 °C, sendo o X_{bs} inicial de 7,53 e 7,62, respectivamente, obteve-se tempos de 585 e 175 min. Assim, o ensaio para 40 °C demorou 3 vezes mais se comparado com o ensaio de 105 °C.

Desta forma, com a maior cinética de evaporação do filme líquido, conseqüentemente, o fluxo de massa de água aumenta (Figura 23).

Figura 23 - Fluxo de Massa em Função do Tempo de Secagem do Resíduo

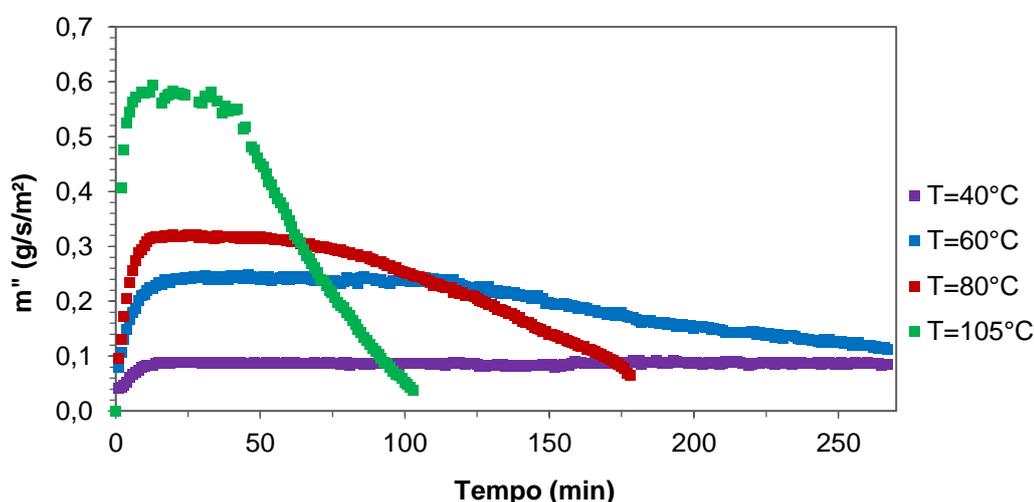


Fonte: Autoria Própria (2018)

Por meio das Figuras 22 e 23, percebe-se que durante o processo de evaporação, com o aumento da temperatura e maior energia fornecida ao filme líquido para evaporação, há redução do tempo de processo. A transferência de massa no aquecimento infravermelho é por convecção natural, visto que não há troca ou movimentação do ar de secagem, assim as transferências de massa se dão por diferença de concentração entre o resíduo e o ambiente de secagem.

Para efeitos comparativos, na Figura 24 é apresentado o fluxo de massa de água em função do tempo, parametrizado na temperatura, para uma fina camada de água destilada aquecida por infravermelho.

Figura 24 - Fluxo de Massa de uma Fina Camada de Água em Função do Tempo



Fonte: Autoria Própria (2018)

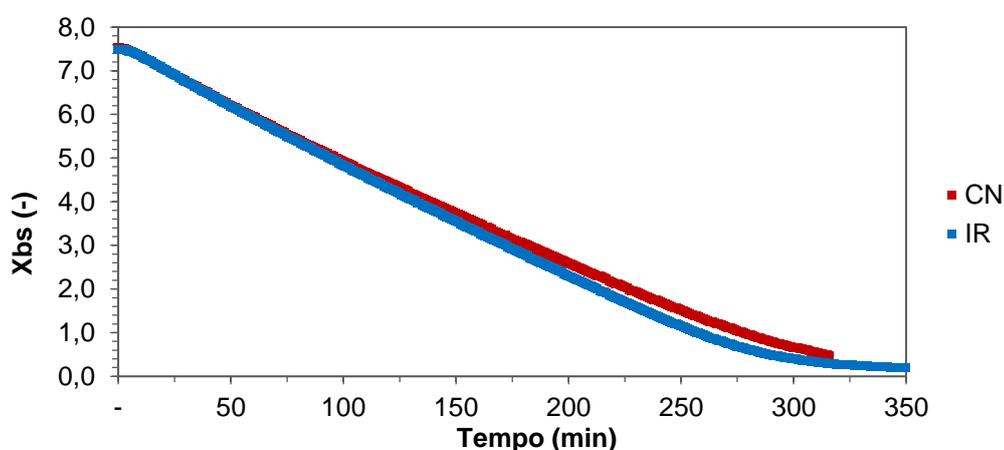
Como esperado, o comportamento do fluxo mássico de água em função do tempo de evaporação foi semelhante ao encontrado para o resíduo para as temperaturas de 40, 60, 80 e 105 °C (Figura 23).

Por meio da comparação da Figura 23 e Figura 24, nos instantes iniciais da evaporação, para as temperaturas de 80 e 105 °C há perturbação do fluxo mássico de água para evaporação do resíduo nos primeiros instantes. Porém, estas variações são suavizadas, ou, não são observadas para o fluxo de massa de água. Isso ocorre devido aos álcoois e fenóis presentes na borra de vinho, e que possuem ponto de ebulição menor que a água. Como visto por meio do ensaio de FTIR, na borra vinícola há grupos funcionais com presença da hidroxila (O-H) e grupos funcionais C-O pertence ao grupo dos álcoois e fenóis, dentre eles, o etanol com

ponto de ebulição próximo a temperatura de 80 °C e o metanol com ponto de ebulição próximo a temperatura de 65 °C.

O ensaio em estufa sem circulação de ar (CN) foi realizado como comparativo para o ensaio de aquecimento infravermelho (IR). Os ensaios foram realizados na temperatura de 60 °C e os resultados obtidos são apresentados na Figura 25.

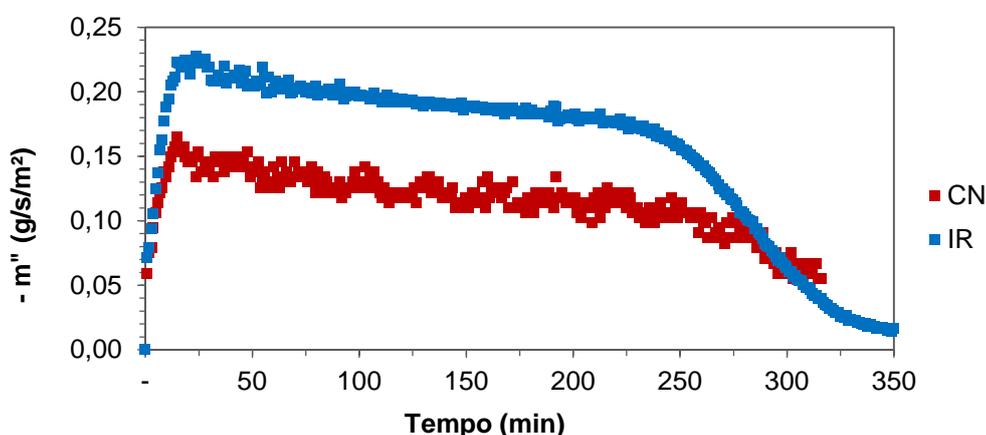
Figura 25 - Umidade em Base Seca em função do Tempo para Secagem em Estufa sem Circulação e por Aquecimento Infravermelho



Fonte: Autoria Própria (2018)

Na Figura 26 são observados os dados do fluxo de massa de água em função do tempo de evaporação para a estufa sem circulação e para aquecimento por infravermelho.

Figura 26 – Fluxo de Massa de Água para Estufa sem Circulação e para Aquecimento por Infravermelho



Fonte: Autoria Própria (2018)

A cinética de evaporação do resíduo para convecção natural e por aquecimento por infravermelho foi semelhante nos instantes iniciais, e por meio do aquecimento por infravermelho foi levemente mais rápida após 75 min de evaporação.

Na secagem por convecção natural, o empuxo é o mecanismo responsável pela renovação do ar, já que o movimento do fluido é devido a forças de empuxo no seu interior, o que torna o mecanismo de transferência de massa convectivo mais lento (INCROPERA *et al.*, 2008).

Já no aquecimento por infravermelho, a radiação térmica incide diretamente sobre a superfície de transferência de massa, sendo uma transferência de calor mais efetiva do que a transferência de calor pela convecção natural do ar no interior da estufa, já que não sofre interferência do ar circundante da amostra (SUI *et al.*, 2014).

A radiação infravermelha invade o material exposto, penetra-o e converte-se em calor sensível; como resultado, este tipo de secagem pode proporcionar aquecimento mais uniforme do material e pode reduzir o gradiente de umidade durante o aquecimento e a secagem (SUI *et al.*, 2014).

Na secagem por convecção natural, a transferência de calor ocorre devido ao contato do fluido com a base da placa de Petri e, posteriormente, este calor é transferido por condução através do resíduo. Desta forma, a transferência de calor pela convecção natural é menos efetiva quando comparada à transferência de calor por radiação para estes experimentos.

O fluxo de massa de água para o processo de evaporação por aquecimento com infravermelho foi maior quando comparado à secagem por convecção natural, atingindo valores de 0,24 g/s/m² e 0,16 g/s/m², respectivamente, com 25 min de ensaio. Ao comparar os fluxos de massas máximos de água, o aquecimento por infravermelho forneceu fluxo mássico máximo de 0,19 g/s/m², enquanto a secagem em estufa forneceu fluxo mássico máximo 0,12 g/s/m². Isto foi discutido, anteriormente e deve-se às diferentes formas de transferência nos dois processos.

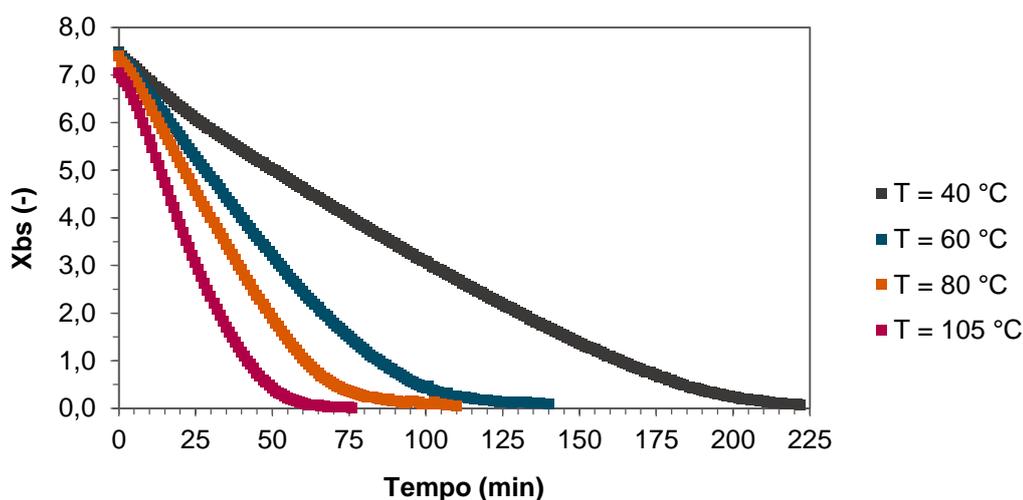
Além destes mecanismos de transferência de calor, esta diferença pode estar relacionada à saída do ar úmido do equipamento, já que para a balança de infravermelho a saída é feita por uma seção perfurada, enquanto que para a estufa a saída é feita por uma perfuração centralizada. Além disto, a distância, da superfície de transferência de massa, em relação à saída do ar úmido, para a estufa foi de

aproximadamente 15 cm e para a balança infravermelho foi de 7 cm. Estas configurações, também podem ter aumentado a fração mássica de água no ar, o que reduz a capacidade de receber a água da amostra para o processo por convecção natural.

4.4.2 Ensaio em Estufa com Circulação de Ar

Para os ensaios em estufa com circulação de ar, os valores da umidade em base seca em função do tempo de secagem, parametrizados na temperatura, são apresentados na Figura 27.

Figura 27 - Umidade em Base Seca em Função do Tempo de Secagem para Estufa com Circulação de Ar



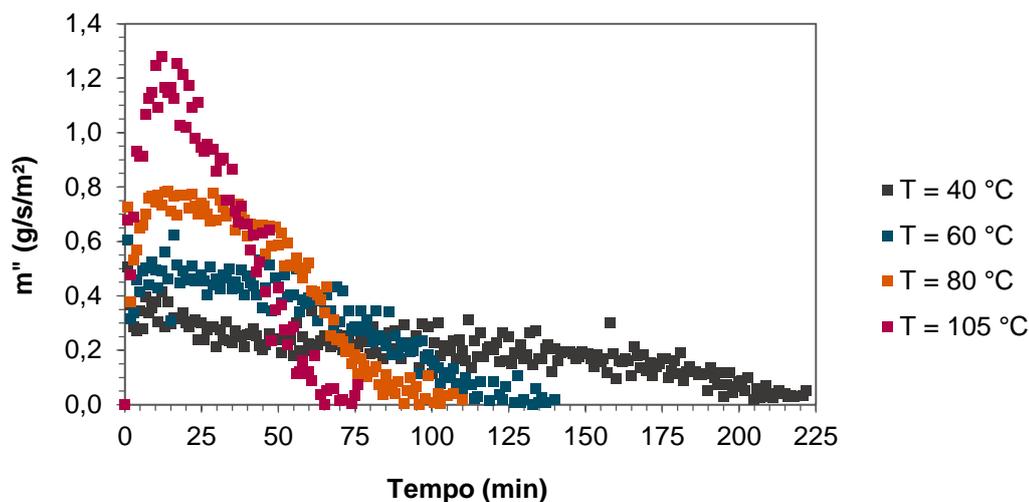
Fonte: Autoria Própria (2018)

Na Figura 27, verifica-se que quanto maior a temperatura do ar, mais rápida foi a redução de umidade em função do tempo. Na temperatura de 40 °C foi observado o maior tempo de secagem, com duração de 230 min, tempo quase três vezes maior quando comparado a temperatura de 105 °C (75 min).

Na secagem com convecção forçada do ar, ocorre renovação do ar na interface da superfície do filme líquido por meio do escoamento, o que torna o processo de secagem mais rápido.

Assim, com a cinética mais rápida de evaporação do filme líquido, o fluxo de massa de água aumenta (Figura 28).

Figura 28 - Fluxo de Massa de Água em Função do Tempo de Secagem em Estufa com Circulação de Ar



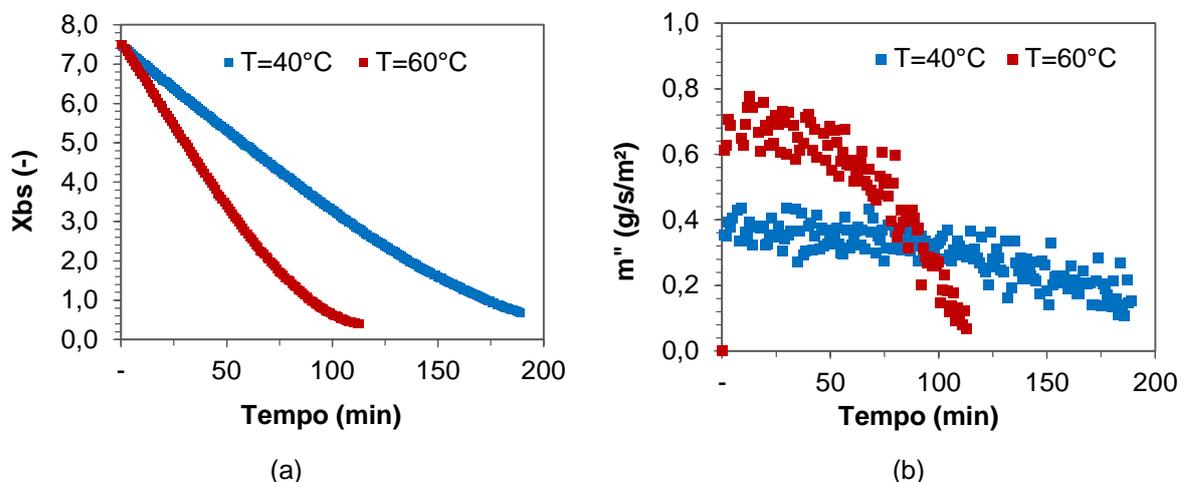
Fonte: Autoria Própria (2018)

Por meio da Figura 28, observa-se que, com o aumento da temperatura e a constante renovação do ar na interface com o filme líquido, ocorre a redução do tempo necessário para evaporação. A secagem por convecção é considerada um processo simultâneo de transferência de massa e calor, em que a água é transferida por difusão do interior do material para a superfície do filme líquido (interface ar/resíduo) e da interface para a corrente de ar por convecção (ARRIECHE, 2003). Ao comparar o fluxo mássico máximo de água obteve-se 0,27, 0,44, 0,64, 1,10g/s/m² para as temperaturas de 40, 60, 80, 105 °C, respectivamente. Ou seja, quanto maior a temperatura, maior o fluxo mássico de água obtido.

4.4.3 Ensaio em Túnel de Vento

Para os ensaios em túnel de vento, os valores da umidade em base seca em função do tempo de secagem e o fluxo de massa de água, parametrizados nas temperaturas de 40 e 60 °C obtidos são apresentados na Figura 29.

Figura 29 – Ensaio de (a) Umidade em Base Seca e (b) Fluxo de Massa de Água em Função do Tempo de Secagem para Ensaio de Túnel de Vento

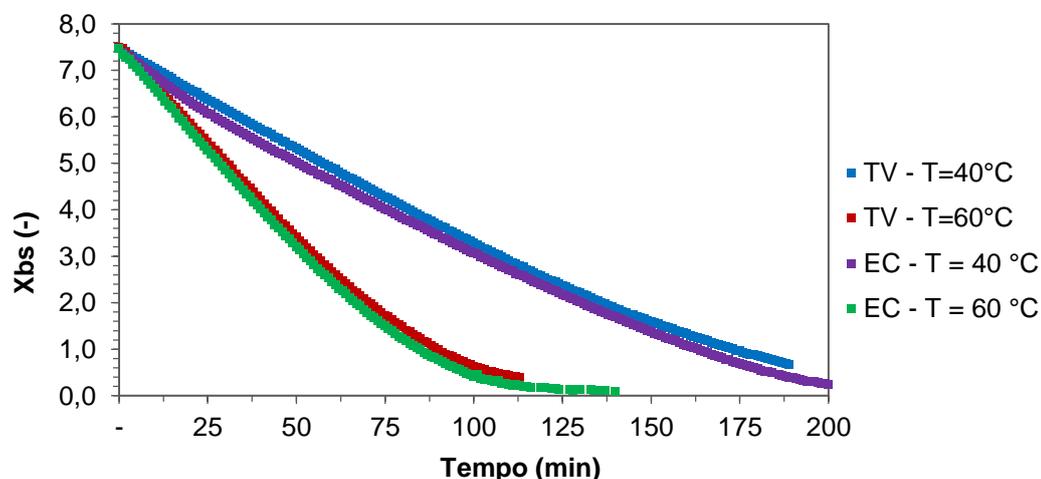


Fonte: Autoria Própria (2018)

O ensaio de túnel de vento também possui uma transferência de calor via convecção forçada, pois o ar está em constante escoamento devido ao soprador que integra o sistema. A secagem via túnel de vento provoca diminuição do tempo de secagem com aumento de temperatura, sendo de 190 min para 40 °C e de 120 min para 60 °C, resultado compatível com os obtidos para outros métodos de secagem.

Ao comparar o ensaio em túnel de vento e o ensaio realizado em estufa com circulação de ar, observa-se que os dois apresentam resultados semelhantes (Figura 30).

Figura 30 - Umidade em Base Seca em Função do Tempo de Secagem para Ensaio em Túnel de Vento e Estufa com Circulação de Ar

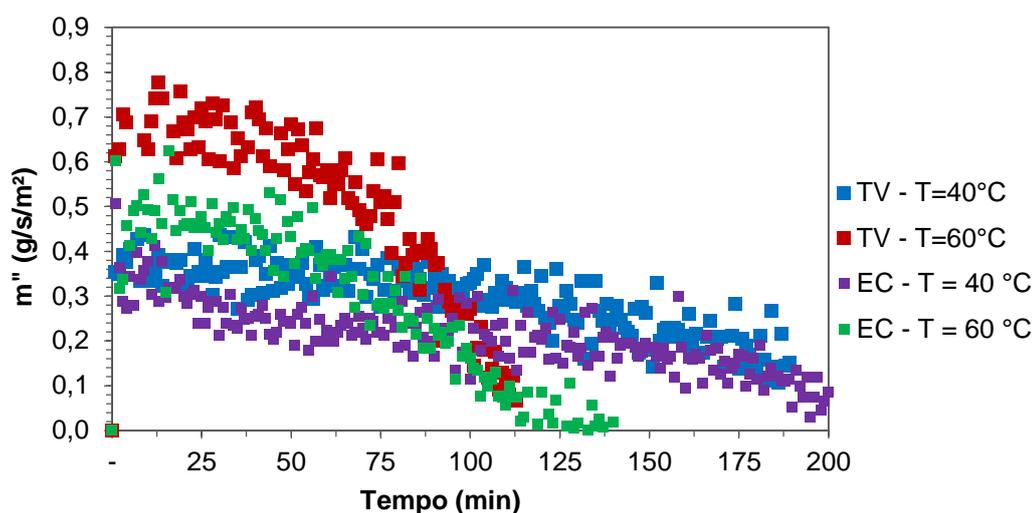


Fonte: Autoria Própria (2018)

Analisando as curvas da Figura 30, observa-se que os dois métodos de convecção forçada, o túnel de vento e a estufa com circulação de ar, apresentaram curvas de secagem da umidade em base seca em função do tempo semelhantes, tanto para temperatura de 40 °C como para a temperatura de 60 °C, mesmo sendo realizados em equipamentos e velocidades do ar diferentes, sendo a velocidade média de escoamento de ar de 1,2 (0,1) m/s para o túnel de vento e de 1,5 (0,1) m/s para a estufa com circulação de ar.

Na Figura 31 observam-se os dados do fluxo de massa de água em função do tempo de evaporação para os dois métodos de secagem.

Figura 31 - Fluxo de Massa de Água em Função do Tempo de Secagem para Ensaio de Túnel de Vento e Estufa com Circulação de Ar



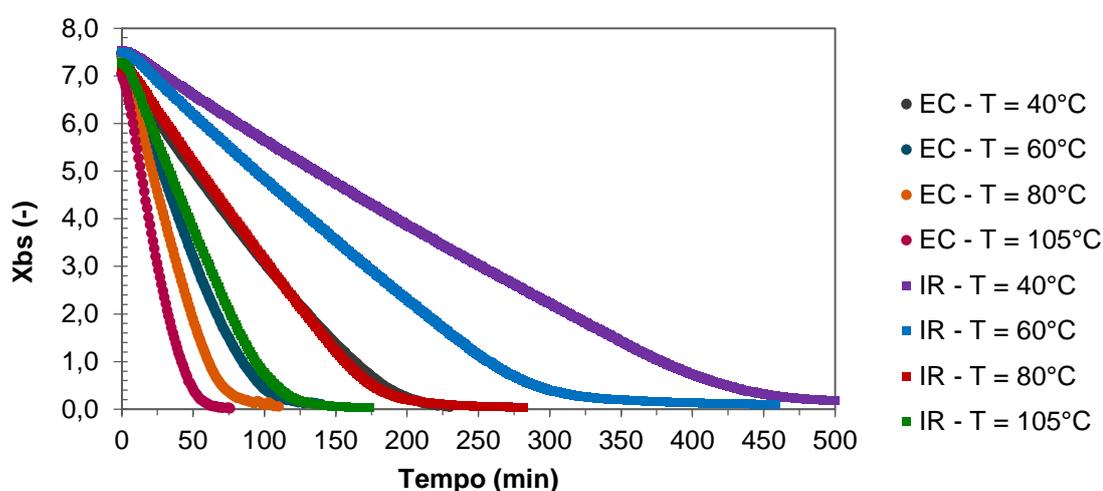
Fonte: Autoria Própria (2018)

Verifica-se na Figura 31 que o fluxo mássico apresentou comportamentos semelhantes para os dois métodos de convecção forçada, o túnel de vento e a estufa com circulação de ar. Porém, o ensaio de túnel de vento apresentou valores de fluxo mássico de água um pouco mais elevados, sendo 0,36 g/s/m² para 40 °C e 0,67 g/s/m² para 60 °C, enquanto a estufa com circulação de ar apresentou, respectivamente 0,28 g/s/m² e 0,47 g/s/m², para 40 e 60 °C.

4.4.4 Comparação de Resultados dos Ensaio de Secagem Convectiva

Na Figura 32 são apresentados os resultados obtidos de umidade em base seca em função do tempo de secagem do resíduo em dois diferentes métodos de secagem: Estufa com Circulação de Ar (EC) e Aquecimento por Infravermelho (IR) para as temperaturas de 40, 60, 80 e 105 °C.

Figura 32 - Umidade em Base Seca em Função do Tempo de Secagem para Diferentes Métodos de Secagem



Fonte: Aatoria Própria (2018)

Analisando-se as curvas de secagem da Figura 32, observou-se que a cinética de secagem foi fortemente influenciada pela temperatura e pelo método de secagem, pois, a aplicação de temperatura mais elevada reduz significativamente o tempo necessário para secar o resíduo, ou seja, para um mesmo tempo de processo, quanto maior for a temperatura do ar, maior é a taxa de secagem.

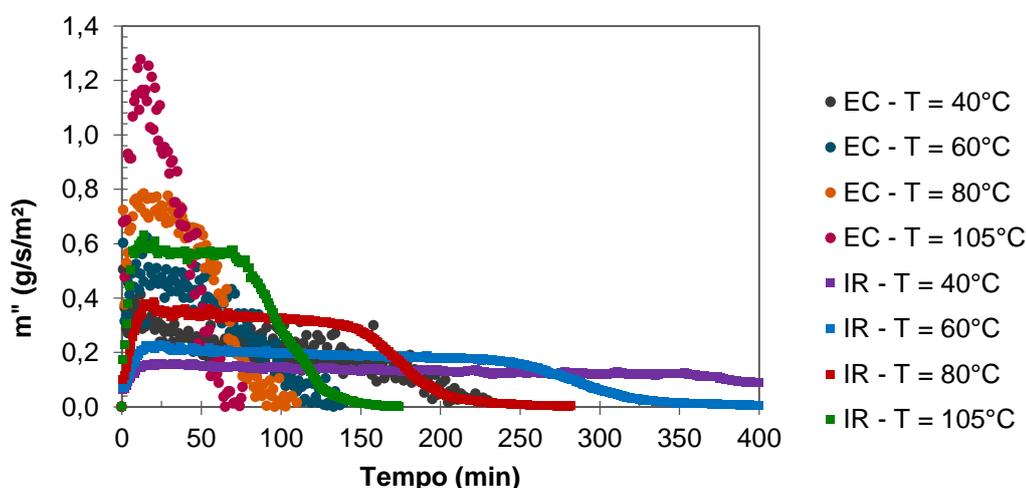
Nota-se que a perda de umidade é bem rápida no início do processo de secagem de convecção forçada, cuja estabilização da massa para a temperatura mais baixa (40 °C) ocorre após aproximadamente 250 min, e para a temperatura mais alta (105 °C), após aproximadamente 60 min. Na secagem por aquecimento por infravermelho, a estabilização para a temperatura de 40 °C ocorre após aproximadamente 400 min, e para a temperatura mais alta (105 °C), após aproximadamente 150 min, indicando que a temperatura e os métodos de secagem são as variáveis de maior influência no processo.

A secagem em estufa com circulação de ar foi mais rápida até mesmo para menores temperaturas, quando comparada com o aquecimento por infravermelho. Isto ocorre em consequência da renovação do ar na interface da superfície do filme líquido por causa do escoamento. Na secagem convectiva, a transferência de calor é a transferência de energia devido ao movimento de um fluido aquecido. O movimento do fluido contribui para a transferência de energia das regiões quentes do fluido para as regiões mais frias (WILHEM *et al.*, 2005, NASCIMENTO, 2014). Assim, parte do calor do ar de secagem é transferido do ar para a superfície do resíduo, sendo utilizado na forma de calor sensível para elevação da temperatura e, a outra parte, na forma de calor latente para vaporização da água, ou transferência de massa (LOPES *et al.*, 2000, NASCIMENTO, 2014).

Na secagem com radiação infravermelha, a radiação térmica incide diretamente sobre a superfície de transferência de massa. O calor é transferido para o material a ser seco na forma de energia eletromagnética. A transmissão da radiação eletromagnética não necessita de um meio para sua propagação e o material a ser seco constitui-se no absorvedor da radiação (RATTI e MUJUMDAR, 2006; NINDO e MWITHIGA, 2011; NASCIMENTO, 2014).

Na Figura 33 são apresentados os dados de fluxo de massa de água em função do tempo de evaporação do resíduo por meio dos dois diferentes métodos de secagem.

Figura 33 - Fluxo de Massa de Água do Resíduo em Função do Tempo de Secagem para os Diferentes Métodos Analisados

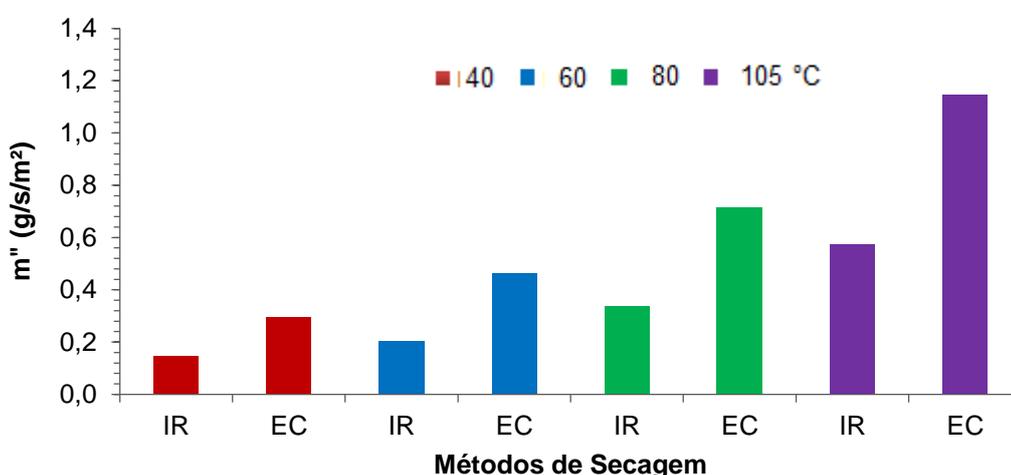


Fonte: Autorial Própria (2018)

É possível verificar na Figura 33 que, inicialmente, o resíduo apresenta uma fase de aquecimento, seguido do período do fluxo mássico de água constante e do período à taxa decrescente nas etapas finais do processo. Esse padrão é observado tanto para secagem em estufa com circulação de ar, quanto para secagem via aquecimento por infravermelho. Porém, a estufa com circulação apresenta tempos menores de secagem e, conseqüentemente, fluxos mássicos máximos maiores.

Por meio da Figura 34 é possível comparar o fluxo mássico máximo de água para os diferentes métodos de secagem.

Figura 34 - Comparação do Fluxo Mássico Máximo de Água para os Diferentes Métodos de Secagem



Fonte: Aatoria Própria (2018)

A borra de vinho apresentou comportamento diferenciado em relação aos métodos de secagem testados e em função da temperatura ensaiada. A secagem via estufa com circulação de ar apresentou os fluxos mássicos máximos maiores que o aquecimento infravermelho em todas as temperaturas. A secagem em estufa com circulação apresentou o menor fluxo mássico máximo a 40 °C (0,297 $g/s/m^2$) e maior a 105 °C (1,145 $g/s/m^2$), enquanto o infravermelho para 40 °C e 105 °C, os fluxos mássicos máximos apresentaram valores de 0,147 e 0,573 $g/s/m^2$, respectivamente. Valores esses, que são praticamente metade dos obtidos por convecção forçada através da estufa com circulação de ar.

Com base nos resultados apresentados nesta seção, foi possível realizar análise comparativa entre os diversos métodos de evaporação, sendo que o de convecção forçada apresentou os melhores resultados.

5 CONCLUSÕES

Através deste trabalho pode-se concluir que a caracterização físico-química da borra de vinho tinto apresentou valores que comprovam a alta concentração de sólidos e matéria orgânica presente neste tipo de resíduo.

Foi observado que as amostras de borra possuíam pH ácido. Através das análises de FTIR foi verificado no resíduo a existência de bandas de adsorção de característica complexa, correspondentes em sua maioria ao estiramento C – O, C = O e O – H, relacionados à álcoois, fenóis, éter e carboxila.

Através do planejamento fatorial e dos ensaios preliminares foi possível determinar que os fatores de maior influência no processo de secagem do resíduo são a temperatura e a interação entre a temperatura e a altura da camada. Além disso, foi possível determinar os parâmetros para a realização dos outros ensaios de secagem.

As análises térmicas realizadas corroboram os dados obtidos no FTIR, pois contataram perdas de massa na amostra, com eventos endotérmicos e exotérmicos, possivelmente devido à evaporação de compostos tais como álcool e água.

Na realização do ensaio de convecção forçada na temperatura de aproximadamente 40 °C, o fluxo mássico de evaporação do resíduo teve aumento significativo em relação à água destilada e aproximadamente na mesma temperatura foi observado efeito endotérmico na medida de calorimetria diferencial por varredura.

Por meio dos ensaios de secagem realizados contatou-se, menor tempo de secagem e maior fluxo mássico de água para as maiores temperaturas para o resíduo, independente do método de secagem.

A secagem por convecção natural teve uma cinética de secagem muito próxima quando comparada com a secagem usando aquecimento por infravermelho.

Ao comparar a evaporação do resíduo com a evaporação da água destilada foi possível observar a influência dos compostos fenólicos nos tempos iniciais de evaporação, bem como nos fluxos mássicos máximos em relação à temperatura do processo de evaporação.

Conclui-se também que ao comparar a secagem em estufa com circulação de ar e a secagem em túnel de vento, ambas as análises apresentaram cinéticas de secagem similares.

Por fim, devido às semelhanças entre a cinética de secagem para convecção natural e infravermelho, e entre a convecção forçada usando a estufa com circulação de ar e usando o túnel de vento, optou-se por comparar a convecção forçada (estufa com circulação de ar) com o aquecimento por infravermelho para as temperaturas de 40, 60, 80, e 105 °C. Assim, a secagem por meio de convecção forçada proporcionou processo de evaporação mais eficaz quando comparada à secagem por meio de aquecimento infravermelho, necessitando de tempos bem menores para a realização dos ensaios em todas as temperaturas.

Assim, o presente trabalho mostrou que a borra vinícola, um dos resíduos gerados na fabricação do vinho, tem potencial e pode ter valor agregado tão logo sejam identificados os componentes que permanecem no sólido após a evaporação da água, sendo o método mais indicado para a secagem deste resíduo a estufa com circulação forçada de ar.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

São sugestões para trabalhos futuros:

- Testar a borra de vinho em secadores tipo leito móvel, por exemplo, o leito de jorro;
- Modelar matematicamente e simular o processo modelado, começando pelo modelo difusivo de evaporação e;
- Analisar os componentes do resíduo sólido seco e sua aplicabilidade para extração de compostos fenólicos e ração animal.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. R. F.; FREIRE, F. B. e FREIRE, J. T. “*Transient Analysis of Pasty Material Drying in a Spouted Bed of Inert Particles*”, ***Drying Technology: An International Journal***. v. 28, n. 3, p. 330-340. 2010.
- ALMEIDA, L. C. P. De. **Desidratação Osmótica e Secagem Convectiva de Uvas Da Cultivar Crimson**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.
- APHA - *American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. v. 22. 2012.
- ARRIECHE, L. da S. **Evolução da forma e encolhimento de um sistema gel durante a secagem por convecção forçada**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2003.
- ARTIGA, P.; FICARA, E.; MALPEI, F.; GARRIDO, J. M.; MÉNDEZ, R. *Treatment of two industrial wastewaters in a submerged membrane bioreactor*. ***Desalination***. v. 179, p. 161-169. 2005.
- ARVANITOYANNIS, I. S.; LADAS, D.; MAVROMATIS, A. *Wine waste treatment methodology*. ***International Journal of Food Science and Technology***. v. 41, p. 1117-1151. 2006.
- BALESTRO, E. A.; SANDRI, I. G.; FONTANA, R.C. Utilização de bagaço de uva como atividade antioxidante na formulação de barra de cereais. ***Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais***. v. 13, n. 12, p. 195-201. Campina Grande, 2001.
- BARCIA, M. T. **Estudo dos compostos fenólicos e capacidade antioxidante de subprodutos do processo de vinificação**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2014.
- BARCIA, M.T.; P., PAULA B.; RODRIGUES, D.; BOCHI, V. C.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; GODOY, H. T. *Effect of drying methods on the phenolic content and antioxidant capacity of Brazilian winemaking byproducts and their stability over storage*. ***International Journal of Food Sciences and Nutrition***. v. 33, p. 1-9. 2015.
- BERARDINO, S. Di; CAETANO, L.; CONVERTI, A. *Characterization and anaerobic pre-treatment of the effluent from a wine cooperative*. ***Eng. Life Sci.*** v. 1, p. 127 – 131. 2001.
- BIAZUS, J. M. P.; SOUZA, R. R. De; CURVELO-SANTANA, J. C.; TAMBOURI, E. B. Otimização da secagem do malte de *Zea mays*. ***Ciência e Tecnologia de Alimentos***. v. 26, n.4, p. 787-792. Campinas, 2006.

BORGES, S. V.; MANCINI, M. C.; CORRÊA, J. L. G.; NASCIMENTO, D. A. Secagem de fatias de abóboras (*Cucurbita moschata*, L.) por convecção natural e forçada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 28, p. 245-251, 2008.

BRAGA, F. G. **Valorização Industrial de Subprodutos Vinícolas: Produção de Ácido Tartárico e de corantes a partir das borras e dos bagaços**. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Portugal, 2002.

BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9898/1987**. Preservação e Técnicas de Amostragem.

BRAZ, R.; PIRRA, A.; M. S.; PERES, J. A. *Combination of long term aerated storage and chemical coagulation/flocculation to winery wastewater treatment*. **Desalination**. v. 263, p. 226-232, 2010.

BUSTAMANTE, M. A.; MORAL, R.; PAREDES, C.; PÉREZ-ESPINOSA, A.; MORENO-CASELLES, J.; PÉREZ-MURCIA, M.D. *Agrochemical characterization of the solid by-products and residues from the winery and distillery industry*. **Waste Management**. v. 28, p. 372-380, 2008.

CAMPOS, L. M. A. S. **Obtenção de extratos de bagaço de uva Cabernet Sauvignon (Vitis vinífera): Parâmetros de processo e modelagem matemática**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

CASSANDRE, J. E. F.; MOREIRA, M. F. P.; SARTORI, D. J. M. Desenvolvimento de um secador de convecção forçada com reciclo de ar. In: III COBEQ-IC, 3. **Anais**. Belo Horizonte, 2001.

CELMA, A. R.; RODRÍGUEZ, F. L.; BLÁZQUEZ, F. C. *Experimental modelling of infrared drying of industrial grape by-products*. **Food and Bioproducts Processing**. v. 87, p. 247-253, 2009.

CORREA, L. J. **Estudo da secagem de sementes de embaúba em leito fluidizado**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2012.

COSTA, M.; TORRES, A.; FERNANDES, A.; FREITAS, J. TEODÓSIO, J.; PINTADO, M.; LEANDRO, E. A avaliação da qualidade do composto de bagaço de uva como fertilizante orgânico. In: **II Colóquio Nacional de Horticultura Biológica**, n. 10, p. 85-92. Lisboa, 2007.

CRESPILHO, F. N.; SANTANA, C. G.; REZENDE, M. O. O. Tratamento de efluente da indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação. **Química Nova**. v. 27, n. 3, p. 387-392. 2004.

DALBELLO, O. **Eficiência do processo de secagem do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e milho-pipoca (*Zea mays* L.)**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1995.

DIMOY, C.; VLYSIDIS, A.; KOPSAHELIS, N.; PAPANIKOLAOU, S.; KOUTINAS, A. A.; KOOKOS, I. K. *Techno-economic evaluation of wine lees refining for the production of value-added products. **Biochemical Engineering Journal***. v. 116, p. 157-165, 2016.

DROSOU, C., KYRIAKOPOULOU, K., BIMPILAS, A., TSIMOYIANNIS, D., KROKIDA, M. *A comparative study on different extraction techniques to recover red grape pomace polyphenols from vinification by products. **Industrial Crops and Products***. v. 75, p. 141-149, 2015.

FARIA, F. A. **Propriedade físico-químicas do abacate submetido à secagem convectiva e desidratação osmótica**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências de Alimentos, Universidade Estadual Paulista. São José do Rio Preto, 2012.

FARINELLA, N.V.; MATOS, G.D.; ARRUDA, M. A. Z. *Grapes bagasses as a potential biosorbent of metals in effluent treatments. **Bioresource Technology***. v. 98, n.10, p. 1940-1946, 2007.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. São Paulo: Editora Artmed, 2006.

FERRARI, V. **A sustentabilidade da vitivinicultura através de seus próprios resíduos**. Universidade de Caxias do Sul. Bento Gonçalves, 2010.

FERREIRA, E. T. D.; ROSINA, D. C.; MOCHIUTTI, F. G. **Processo de produção do vinho fino tinto**. IV Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial. 2010.

FIOL, N.; ESCUDERO, C.; VILLAESCUSA, I. *Chromium sorption and Cr (VI) reduction to Cr(III) by grape stalks and yohimbe bark. **Bioresource Technology***. v. 99, n.11, p. 5030-5036, 2008.

FREIRE, F. B.; FREIRE, F. B.; PIRES, E. C.; FREIRE, J. T. *Moisture adsorption and desorption behavior of sludge powder. **Environmental Technology***. v. 28, p. 1195-1203. 2007.

FREIRE, J. T.; FREIRE, F. B.; FERREIRA, M. C. e NASCIMENTO, B. S. *A Hybrid Lumped Parameter/Neural Network Model for Spouted Bed Drying of Pastes with Inert Particles. **Drying Technology: An International Journal***. v. 30, n.11-12, p. 1342-1353. 2012.

GOULA, A. M.; THYMIATIS, K.; KADERIDES, K. *Valorization of grape pomace: Drying behavior and ultrasound extraction of phenolics. **Food and Bioproducts Processing***. v. 100, p. 132-144. 2016.

HEREDIA, J. B. De.; DOMINGUEZ, J. R.; PARTIDO, E. *Physico-chemical treatment for the depuration of wine distillery wastewaters (vinasses). **Water Science and Technology***. v. 51, n. 1, p. 159-166. 2005.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 6 ed. Editora LTC: Rio de Janeiro, 2008.

JAQUES, A. C.; OLIVEIRA, F. M.; HERNANDES, J. V.; SILVA, E. F. **Elaboração de farinha de uva utilizando bagaço da indústria vitivinícola: efeito sob os compostos fenólicos**. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. 2014.

LAFKA, T.; SINANOGLU, V.; LAZOS; E. S. *On the extraction and antioxidant activity of phenolic compounds from winery wastes*. **Food Chemistry**. v.104, p. 1206–1214. 2007.

LAUFENBERG, G.; KUNZ, B.; NYSTROEM, M. *Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations*. **Bioresource Technology**. v. 87, p. 167-198. 2003.

LECHINHOSKI, M. **Tratamento físico-químico em efluente de vinícola de pequeno porte**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

LIMA, R. De A. B. **Análise da secagem convectiva de folhas de manjeriço (*Ocimum Basilicum L.*)**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2013.

LLOBERA, A.; CAÑELLAS, J. *Dietary fibre content and antioxidant activity of Manto Negro red grape (*Vitis vinifera*): pomace and stem*. **Food Chemistry**. v. 101, p. 659–666. 2007

LOPES, R. P.; SILVA, J. S.; REZENDE. R. C. **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. 1ª ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000.

LOPES, A. Dos S. **Gestão Ambiental de uma Empresa do Sector Vinícola**. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança. Bragança, 2015.

LUCAS, M. S.; PERES, J. A. *Processos de Tratamento de Efluentes Vinícolas: Breve Perspectiva*. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Química**. v. 18, n. 122, p. 41. 2011.

LUK, H. T.; LAM, T. Y. G.; OYEDUN, A. O.; GEBREEGZIABHER, T.; HUI, C. W. *Drying of biomass for power generation: A case study on power generation from empty fruit bunch*. **Energy**. v. 63, p. 205-215. 2013.

MACHADO, A. V. **Estudo da secagem do pedúnculo do caju em sistemas convencional e solar: modelagem e simulação do processo**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2009.

MAKRIS, D.P.; BOSKOU, G.; ANDRIKOPOULOS, N. K. *Polyphenolic content and in vitro antioxidante characteristics of wine industry and other agri-food solid waste extracts*. **Journal of Food Composition and Analysis**. v. 20, p. 125-132. 2007.

MELO, P. S. **Composição química e atividade biológica de resíduos agroindustriais**. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2010.

MELO, P. S.; BERGAMASCHI, K. B.; TIVERON, A. P.; MASSARIOLI, A. P., OLDONI; T. L. C.; ZANUS, M. C.; PEREIRA, G. E.; ALENCAR, S. M. Composição fenólica e atividade antioxidante de resíduos agroindustriais. **Ciência Rural**. v. 41, n. 6, p. 1088-1093. 2011.

MELLO, L. M. R. De. **Desempenho da vitivinicultura brasileira em 2015**. EMBRAPA Uva e Vinho. Rio Grande do Sul, 2016a.

MELLO, L. M. R. De. **Anuário HF 2016**. Campos e Negócios. Rio Grande do Sul, 2016b.

MERCOSUL. **Resolução GMC n°45/96**. Regulamento vitivinícola do MERCOSUL, 21 de abril de 1996.

MILCZAREK, R.R.; DAI, A.A.; OTONI, C.G.; MCHUGH, T.H. *Effect of shrinkage on isothermal drying behavior of 2-phase olive millwaste*. **Journal of Food Engineering**. v. 103, p. 434–441. 2011.

MOLDES, A.B.; VÁZQUEZ, M.; DOMINGUÉZ, J. M.; DÍAZ-FIERROS, F.; BARRAL, M. T. *Negative effect of discharging vinification lees on soils*. **Bioresource Technology**. v. 99, p. 5991–5996. 2008.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros – 6ª Edição**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2016.

NASCIMENTO, V. R. G. **Secagem Convectiva e com Radiação Infravermelha de Grãos de *Moringa oleifera* Lam**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2014.

NEGRO, C.; TOMMASI, L; MICELI, A. *Phenolic compound as and antioxidant activity from red grape marc extracts*. **Bioresource Technology**. v. 87 p.41-44, 2003.

NINDO C.; MWITHIGA G., *Infrared Drying*. In: PAN, Z.; ATUNGULU, G. G. **Infrared Heating for Food and Agricultural Processing**. New York: CRC Press, 2011.

OIV - *International Organization of Vine and Wine. Intergovernmental organisation*. Disponível em: www.oiv.org. Acessado em: 28/11/2016.

OIV - *International Organization of Vine and Wine. OIV 2017 report on the world vitivinicultural situation. Intergovernmental organisation*. Disponível em: www.oiv.org. Acessado em: 30/05/2017.

ORTIGARA, A. R. C. **Caracterização do efluente de uma vinícola na região do vale do Rio do Peixe/SC e avaliação do seu tratamento por biofiltro aerado submerso**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A. De. Conceitos de Processos e Equipamentos de Secagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campinas, 2007.

PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; ALONSO, L. F. T.; CORNEJO, F. E. P. C.; FABBRO, I. M. D. Secagem: Fundamentos e Equações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. v.16, n.1, p.93-127, 2014.

PERAZZINI, H. **Secagem de Resíduos Cítricos em Secador Rotativo**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2011.

PERUZZO, L. C. **Extração, purificação, identificação e encapsulação de compostos bioativos provenientes do resíduo do processamento da indústria vinícola**. Tese (Doutorado) – Centro Tecnológico, Universidade Federal da Santa Catarina. Florianópolis, 2014.

PIRRA, A. J. D. **Caracterização e tratamento de efluentes vinícolas da região demarcada do ouro**. Tese (Doutorado) - Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real, 2005.

PROZIL, S. O. **Caracterização química do engaço da uva e possíveis aplicações**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Química, Universidade de Aveiro. Portugal, 2008.

PROZIL, S. O.; MENDES, J. A.; EVTUGUIN, D. V.; LOPES, L. P. C. **Caracterização química e estrutural do engaço da uva e avaliação do seu potencial como matéria-prima lenhocelulósica**. *Millenium – Revista do Instituto Politécnico de Viseu*. v. 44, p. 23-40. Portugal, 2013.

RATTI, C.; MUJUMDAR, A.S. *Infrared Drying*. In: MUJUNDAR, A.R. **Handbook of Industrial Drying**. 3. ed. New York: CRC Press, 2006.

Regulamento (CE) 1493/1999 do Conselho da União Europeia, de 11 de Maio de 1999 dispõe sobre regulamentação do setor vinícola.

RIZZON, L. A.; MIELE, A. Acidez na vinificação em tinto das uvas Isabel, Cabernet Sauvignon e Cabernet franc. **Ciência Rural**. v. 32, n. 3, p. 511-515. 2002.

REIS, C. H. **Vinho, Gastronomia e Saúde**. Editora: Universidade do Porto, 1ª edição. Porto, 2008.

RIZZON, L. A.; DALL'AGNOL, I. **Vinho Tinto**. Coleção agroindústria familiar. EMBRAPA Uva e Vinho. Brasília, 2007.

RIZZON, L. A.; DALL'AGNOL, I. **Vinho Branco**. Coleção agroindústria familiar. EMBRAPA Uva e Vinho. Brasília, 2009.

ROCKENBACH, I. I.; SILVA, G. L. Da; RODRIGUES, E.; KUSKOSKI, E. M.; FETT, R. Influência do solvente no conteúdo total de polifenóis, antocianinas e atividade

antioxidante de extratos de bagaço de uva (*Vitis vinifera*) variedades *Tannat* e *Ancelota*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 28, p. 238-244. Campinas, 2008.

RODRIGUES, R. **Modelagem e simulação de um gaseificador em leito fixo para o tratamento térmico de resíduos sólidos da indústria calçadista**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

RODRIGUES, E. A. H. N. **Processo de Fenton Homogêneo para Tratamento de Efluentes Vinícolas – Piloto Industrial**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Portugal, 2014.

ROSA, A. A. A. Da. **Uso da extração supercrítica na obtenção de produtos com valor agregado a partir de resíduos sólidos da indústria vinícola**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

ROS, C Da.; CAVINATO, C.; PAVAN, P.; BOLZONELLA, D. *Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of winery wastewater sludge and wine lees: An integrated approach for sustainable wine production*. **Journal of Environmental Management**. v. 203 p. 745-752. 2017.

SALLAM, Y. I.; ALY, M. H.; NASSAR, A. F.; MOHAMED, E. A. *Solar drying of whole mint plant under natural and forced convection*. **Journal of Advanced Research**. v. 06, n. 02, p. 171 – 178. 2015.

SHÄFFER, N. **Caracterização de resíduos vitivinícolas e compostos orgânicos comerciais da serra gaúcha**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

SILVA, L. M. L. R. Da. Caracterização dos subprodutos da vinificação. **Millenium – Revista do Instituto Politécnico de Viseu**. n. 28, p. 123-133. Viseu, 2003. Disponível em: <<http://www.ipv.pt/millenium/millenium28/10.pdf>>. Acessado em: 15/12/16.

SILVA, A. S. DA. **Avaliação da secagem do bagaço de cajá usando planejamento fatorial composto central**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2008.

SILVA, F.; PIRRA, A., SOUSA J.; ARROJA L.; CAPELA I. *Biodegradation Kinetics of Winery Wastewater from Port Wine Production*. **Chemical and Biochemical Engineering Quarterly**. v. 25, n. 4, p. 493-499. 2011.

SILVA, J. M. De. **Viabilidade do uso de secadores solar de convecção natural e forçada para a secagem do Coco Licuri**. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2012.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D.J. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 7. ed. Rio de Janeiro: LCT, 2005.

SOUZA, V. B. **Aproveitamento dos subprodutos de vinificação da uva Bordô (*Vitis labrusca*) para obtenção de pigmentos com propriedades funcionais**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2013.

SOVRANI, A.; PEROSA, F.; NOGUEIRA, M. R. C. Estudo para implantação de uma unidade piloto para recuperação de subprodutos da indústria de suco de uvas. **Unoesc & Ciência – ACET**. Edição Especial, p. 65-72. Joaçaba, 2015.

SUI, Y.; YANG, J.; YE, Q.; LI, H.; WANG, H.; *Infrared, Convective, and Sequential Infrared and Convective Drying of Wine Grape Pomace*. **Drying Technology**. v. 32, p. 686 – 694. 2014.

TOSCANO, G.; RIVA, G.; DUCA, D.; PEDRETTI, E. F.; CORINALDESI, F.; ROSSINI, G. Analysis of the characteristics of the residues of the wine production chain finalized to their industrial and energy recovery. **Biomass and Bioenergy**. v. 55, p. 260 – 267. 2013.

VÉRAS, A. O.M. **Secagem de Pimenta dedo-de-moça (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) em secador convectivo horizontal**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2010.

VIEIRA, A. C.; SOUZA, S. N. M. De.; BARICCATTI, R. A. SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. Caracterização da casca de arroz para geração de energia. **Revista Varia Scientia Agrárias**. v. 03, n. 01, p. 51 – 57. 2013.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 28, n. 2, p. 387-394. Campinas , 2008.

ZEN, F. G. **Estudo de secagem convectiva do bagaço de mirtilo visando minimizar a perda de compostos antociânicos**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

WILHEM, L. R.; SUTER, D. A.; BRUSEWITZ, G. H. **Food & Process Engineering Technology**. Michigan: *Amer Society of Agricultural, Chapter*, 2005.