

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE PRODUÇÃO DE
MOSTO PARA PRODUÇÕES ARTESANAIS DE CERVEJA**

ANA MARIA MURTA LUZ



Ana Maria Murta Luz

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE PRODUÇÃO DE MOSTO PARA PRODUÇÕES
ARTESANAIS DE CERVEJA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Rodolpho César dos Reis Tinini

Montes Claros
Instituto de Ciências Agrárias - UFMG
2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DA DISCIPLINA TRABALHO DE CONCLUSÃO
DE CURSO II

Aluno (A): Ana Maria Murta Luz

Curso: Engenharia Agrícola Ambiental

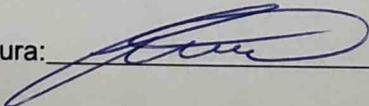
Orientador(A): Rodolfo Cesar dos Reis Timimi

Título da Monografia: DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE PRODUÇÃO DE MOSTO
PARA PRODUÇÕES ARTESANAIS DE CERVEJA

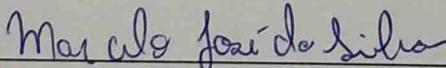
Local e data da defesa: Montes Claros MG, 09 de Julho de 2018

Banca de avaliadores (Orientador e no mínimo mais dois membros):

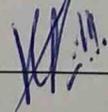
Nome : Gustavo Leal Teixeira

Assinatura:  Nota(0 a 100 pontos): 60

Nome : Marcelo José da Silva

Assinatura:  Nota(0 a 100 pontos): 75

Nome : Rodolfo Cesar dos Reis Timimi

Assinatura:  Nota(0 a 100 pontos): 75

Nome :

Assinatura: _____ Nota(0 a 100 pontos): _____

Média: 70

Conceito Final: C

Aprovado(A): X Reprovado(A): _____

Dedico a Deus, minha mãe, meus irmãos e meu companheiro pelo amor, carinho, e apoio para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me abençoar e me proteger em todos os momentos da minha vida.

Ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais pela oportunidade e por ceder espaço para a realização deste trabalho.

Imensamente grata a todos os meus professores e servidores da instituição que me deram todo o conhecimento e todas as ferramentas necessárias para que o meu aprendizado fosse feito da melhor forma possível.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Rodolpho César dos Reis Tinini por me acompanhar, me orientar, me ensinar, me aconselhar e me auxiliar não só neste trabalho, mas também na minha vida acadêmica como um todo.

A minha mãe, Maria Elane, por ser meu esteio e minha inspiração, me dando força para continuar sempre em frente.

Aos meus irmãos e sobrinhos, pelo apoio e pelos momentos em família.

A Luiz Daniel, meu noivo e companheiro de todos os momentos, pelo amor, companheirismo, paciência e ajuda durante esta trajetória. Por passar os momentos mais difíceis comigo com muita paciência. As dificuldades foram mais fáceis de superar ao seu lado.

A meu primo Andrey, por estar do meu lado nos momentos de descontração e também nos momentos difíceis, demonstrando a plena amizade que temos.

Aos demais familiares, pelo apoio e amor.

Aos meus amigos e colegas do Instituto de Ciências Agrárias por fazer da graduação uma etapa muito mais feliz.

A todos os envolvidos neste trabalho pela dedicação e disposição em ajudar no que fosse preciso.

“As palavras de amizade e conforto podem ser curtas e sucintas, mas o seu eco é infundável.”

(Madre Teresa de Calcutá)

“Crescer, descobrir... é algo que experimento cada dia, às vezes bom, às vezes frustrador... não importa! Deixe sua luz interior guiá-lo, para fora da escuridão.”

(Bruce Lee)

RESUMO

A cerveja é uma bebida alcoólica altamente consumida e produzida no Brasil e no mundo. Há registros da presença da cerveja na alimentação humana desde 8.000 a.C. em vários povos do início da história das civilizações, que tinham os cereais como base de sua alimentação. Em 1516 foi promulgada na Baviera a Lei de Pureza Alemã (em alemão *Deutsches Reinheitsgebot*), que foi estabelecida como garantia de qualidade da cerveja. Em sua produção é utilizado vários insumos, como água, malte, lúpulo e leveduras, e o processo de produção envolve várias etapas onde o produto final será de acordo com a quantidade dos ingredientes e forma com que todo o processo foi feito. Os equipamentos utilizados na produção de mosto são dimensionados levando em consideração parâmetros indispensáveis como dimensões e o material de construção dos tanques, a potência das resistências, faixa de temperatura e o tempo de cocção, entre outros. Este presente trabalho teve como objetivo dimensionar os equipamentos necessários para o processo de produção do mosto cervejeiro a diferentes volumes. O equacionamento foi feito para os tanques e para as resistências elétricas que fornecem calor aos tanques. O dimensionamento atingiu o objetivo pois os resultados foram satisfatórios e auxiliaram na escolha de diversos parâmetros na produção da cerveja.

Palavras-chave: mosto; levedura; equipamento; produção; fabricação

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Germinação do grão de cevada-----	17
Figura 2: Cores e tons do malte-----	17
Figura 3: Estrutura do lúpulo-----	19
Figura 4: Interior de um cone de lúpulo-----	19
Figura 5: Projeto Físico -----	38
Gráfico 1: Produção de cerveja no Brasil em milhões de hectolitros a cada ano-----	14
Gráfico 2: Comparativo entre os volumes nos tanques-----	39
Gráfico 3: Comparativo entre os volumes produzidos e as resistências elétricas utilizadas-----	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades do malte de acordo com a temperatura-----	18
Tabela 2: Faixa de temperatura ideal das enzimas do mosto-----	22
Tabela 3: pH ideal das enzimas do mosto-----	22
Tabela 4: Volumes de pré fervura-----	31
Tabela 5: Massas de grãos para cada volume-----	32
Tabela 6: Volumes de água da mostura para cada massa de grãos-----	32
Tabela 7: Volume de mosto para cada massa de grãos-----	33
Tabela 8: Volume de água de lavagem para cada volume de água de mostura-----	33
Tabela 9: Dimensões do tanque 1 (água de lavagem) -----	35
Tabela 10: Dimensões do tanque 2 (mostura) -----	35
Tabela 11: Dimensões do tanque 3 (mosto pré fervura) -----	36
Tabela 12: Cálculos das resistências para todos os volumes no tanque 1-----	37
Tabela 13: Cálculos das resistências para todos os volumes no tanque 2-----	37
Tabela 14: Cálculos das resistências para todos os volumes no tanque 3-----	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EUA - Estados Unidos da América

mi - milhões

hl - hectolitros

pH - potencial Hidrogeniônico

EBC (*European Brewery Convention*) - Convenção Europeia de Cervejaria

IBU (*International Bitterness Units*) - Unidades de amargor internacionais

O₂ - Oxigênio

$V_{pré-f}$ - volume de pré-fervura

$V_{pós-f}$ - volume de pós-fervura

V_{evap} - volume de pré-fervura evaporado

V_{perdas} - volume perdido no processo

V_{wm} - volume de água na mostura

m_g - massa de grãos utilizada

V_{wl} - volume da água de lavagem

V_{abs} - volume de perdas por absorção

V_w - volume de mosto

V_g - volume de grãos

ρ_g - massa específica do grão

H_T - altura do tanque

D_T - diâmetro do tanque

V_T - volume do tanque

V_w - volume de líquido dos tanques

H_w - altura do líquido nos tanques

H_f - altura da folga

Q - quantidade de energia

m - massa do líquido

cp - calor específico

ΔT - variação da temperatura

P -potência da resistência

t - tempo para atingir a temperatura

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1.	Cerveja no Brasil e no mundo	13
2.1.1	Lei de pureza alemã	14
2.2	Insumos	14
2.2.1	Água	14
2.2.2	Malte	15
2.2.3	Lúpulo	17
2.2.4	Levedura	19
2.3	Processos	20
2.3.1	Moagem	20
2.3.2	Mostura	20
2.3.3	Recirculação e lavagem	22
2.3.4	Fervura	22
2.3.5	Resfriamento e Aeração	23
2.3.6	Fermentação, <i>Cold-crash</i> e Maturação	23
2.4	Equipamentos	24
3.	METODOLOGIA	25
3.1.	Equacionamento do projeto	25
3.1.1.	Volume	25
3.1.2.	Resistência elétrica para aquecimento	27
3.2.	Materiais para a construção	29
3.3.	Projeto Físico	29
3.4.	Simulação do controle do processo por planilhas do Excel	29
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1.	Dimensionamento dos tanques e das resistências elétricas	30
4.1.1.	Volumes dos tanques	30
4.1.2.	Tamanho dos tanques	33

4.1.3. Equacionamento das resistências elétricas	35
4.2. Projeto físico (FIGURA 5)	37
4.3. Simulação do controle do processo por planilhas do Excel	37
4.4. Gráficos	37
5. CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	40
ANEXOS	43

1. INTRODUÇÃO

A cerveja é uma bebida altamente consumida e produzida e entre as bebidas alcoólicas é a mais consumida no mundo. Há registro de consumo e produção a milhares de anos. Em 1516 foi promulgada pelo Duque da Baviera a Lei de Pureza Alemã (em alemão *Deutsches Reinheitsgebot*), que foi estabelecida como garantia de qualidade da cerveja onde estabelecia que apenas seria permitido usar água, cevada maltada e lúpulo para produzir cerveja. O fermento não era conhecido na época, mas foi adicionado à lei assim que descoberto em por volta de 1816 pelo químico francês Louis Pasteur que descobriu o papel das leveduras na fermentação.

O Brasil ocupa o terceiro lugar em produção mundial, ficando atrás da líder China e dos EUA, ganhando da Alemanha e da Rússia. Em 2016 o Brasil atingiu 140 milhões de hectolitros produzidos o que fez com que alcance essa posição.

Para a produção dessa bebida tão importante culturalmente é necessário ingredientes muito importantes, entre eles estão a água, o malte (cevada, milho, trigo, sorgo entre outros), lúpulo que confere amargor e estabiliza a cerveja, e as leveduras que fermentam os açúcares e torna a mistura em uma bebida alcoólica. Os processos de produção estão cada vez mais elaborados e confiáveis visto que os números de cervejarias, micro cervejarias e produções artesanais tem aumentado a cada ano.

Os equipamentos utilizados na produção do mosto cervejeiro devem atender a critérios rigorosos para que ao final do processo o objetivo de se obter uma mistura com os teores de açúcares estejam dentro dos parâmetros do cervejeiro. Por se tratar de um processo de cocção, foi utilizado, neste caso, resistências elétricas para fornecer calor aos 3 tanques utilizado no processo. O dimensionamento e equacionamento foi estabelecido e realizado satisfatoriamente, onde todos os critérios foram atentamente obedecidos para que a precisão fosse alcançada.

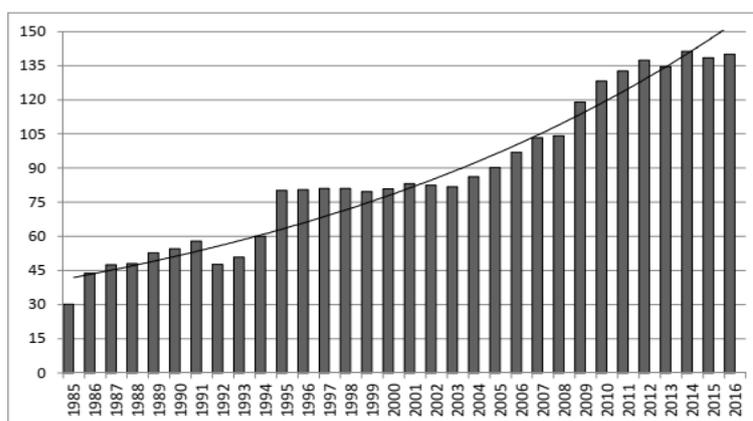
2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Cerveja no Brasil e no mundo

De acordo com Art. 36 do Decreto N° 6.871, de 4 de junho de 2009, a cerveja é a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo. De acordo com dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), órgão responsável pela regulamentação, inspeção e fiscalização de estabelecimentos produtores e das bebidas em território nacional, a produção de cerveja no mundo cresceu ao longo do tempo, pois o consumo em países subdesenvolvidos aumentou, porém em 2012 houve um redução desse crescimento, alguns fatores que podem ter influenciado foram a economia mundial e a redução do consumo e produção de países desenvolvidos (MARCUSO, 2015).

De acordo com Barth-Hass (2016), a produção mundial atingiu 1,97 bilhões de hectolitros em 2012, mas até 2016 perdeu 20 milhões de hectolitros atingindo a marca de 1,95 bilhões de hectolitros. A produção no Brasil cresceu nos últimos 30 anos (Gráfico 1), alcançando 140 milhões de hectolitros (mi hl) colocando o país em terceiro lugar no ranking mundial, atrás apenas da líder China (460 mi hl) e dos EUA (221 mi hl) e ganhando da Alemanha (95 mi hl) e da Rússia (78 mi hl).

Gráfico 1: Produção de cerveja no Brasil em milhões de hectolitros a cada ano.



Fonte: MARCUSO, 2015; CERVBRASIL, 2016.

A linha traçada no gráfico indica a tendência do padrão de crescimento da produção nacional ao longo dos anos (BARTH-HASS, 2016; CERVBRASIL, 2016).

2.1.1 Lei de pureza alemã

Um das coisas mais importantes ao se falar de produção de cerveja é a Lei de Pureza Alemã (do alemão, *Deutsches Reinheitsgebot*). Essa lei, estabelecida em 23 de abril de 1516 pelo Duque Wilhelm IV (Guilherme IV) da Baviera, regulamentava que as cervejas só teriam em sua constituição 3 ingredientes básicos: malte (dos grãos de cevada), lúpulo e água. Essa é uma das leis de defesa do consumidor mais antiga que se tem conhecimento pois protegia os compradores de adquirirem uma cerveja com algum outro ingrediente “estranho”. Essa lei também garantia que grãos valiosos, como o trigo e o centeio, escassos naquele tempo, não fossem utilizados para a fabricação de cerveja ao invés da fabricação de pão (KUNZE, 2004).

A levedura não foi incluída na lei pois na época ela não era conhecida, a fermentação era ocasionada de forma natural e muito vezes os microorganismos eram trazidos pelo ar ou a fermentação anterior era utilizada na próxima. A lei só foi reformulada quando a atividade microbiana foi estudada e a levedura foi acrescentada como o quarto ingrediente permitido para a produção da cerveja. De acordo com Kunze (2004), em 1816 o francês Louis Pasteur atribuiu o processo de fermentação a atividade microbiana e seus estudos, essenciais para tornar a cerveja estável, são válidos até os dias de hoje.

2.2 Insumos

2.2.1 Água

A água é um ingrediente essencial na produção da cerveja, quantitativamente é o insumo mais abundante, sendo sua qualidade extremamente importante, pois a qualidade da água afeta diretamente na qualidade e no tipo de cerveja produzida (KUNZE, 2004).

Não só como insumo, mas também é amplamente utilizada nos demais processos dentro da fábrica como enxágue dos utensílios, esterilização dos tanques lavagem e higiene em geral (PRIEST; STEWART, 2006).

A potabilidade, acidez e a dureza da água são critérios a serem observados, uma vez que os sais diluídos irão influenciar e até caracterizar a cerveja, seja no sabor aroma, aparência e na qualidade. A dureza da água é definida em termos da concentração dos cátions cálcio e magnésio e é balanceada pela alcalinidade, ou seja, a presença de bicarbonatos. O pH da água de produção deve estar levemente ácido, entre 6,5 e 7,0 para favorecer a atividade enzimática na mostura e também um pH alcalino pode acarretar a dissolução de algumas substâncias presentes. Esse controle da alcalinidade necessita ser ajustado para que a produção alcance a padronização desejada (BAMFORTH, 2003; BRIGGS *et al.*, 2004; PALMER, 1999, 2006; CARVALHO, 2007).

2.2.2 Malte

O malte é a fonte de amido, ou seja, o ingrediente fermentável na produção. O sabor, cor, aroma, sensações e a identidade da cerveja são definidos pelo malte. A malteação é o processo em que o grão de cevada é umedecido para favorecer a sua germinação, quando a germinação acontece o grão é retirado da água e passa por uma secagem (FIGURA 1). O objetivo da maltagem é ativação das enzimas que convertem o amido em açúcares fermentáveis (REINOLD, 2010).

A cevada é a mais utilizada por ser rica em amido, por possuir um alto teor de proteínas suficiente para o crescimento da levedura e também possui substâncias importantes na formação da espuma, mas há outros cereais que podem ser utilizados como fonte de malte na produção da cerveja, entre eles estão o trigo, o centeio, o milho, o sorgo (cerveja sem glúten), a aveia e o arroz (CARVALHO, 2007).

Figura 1: Germinação do grão de cevada



Fonte: <<http://rocknbreja.com.br/2017/1120/malte-de-cevada/>> Acesso em 25 de maio de 2018.

Para Picciani et al (2002), existem vários tipos de malte. Essa diferenciação acontece de acordo com o processo de malteação. A secagem do grão é feita de forma controlada para atingir um produto específico e quanto maior a temperatura mais cor e mais sabores encorpados são produzidos (FIGURA 2).

Figura 2: Cores e tons do malte



Fonte: < <https://concerveja.com.br/maltes/> > Acesso em 25 de maio de 2018.

As enzimas produzidas na germinação são muito importantes no processo de mostura e em altas temperaturas essas enzimas são desnaturadas, então a secagem inicial deve ser feita inicialmente em temperatura mais amena, em torno de 50°C, a temperatura é então elevada em níveis controlados de acordo com o malte desejado (TABELA 1).

Tabela 1: Propriedades do malte de acordo com a temperatura

	Umidade (%)	Cor (°EBC)	Temperatura Final de Secagem (°C)
Ale	4.0	5.0	100
Lager	4.5	2.0	80
Light Crystal*	7.0	25-35	75
Malte Crystal*	4.0	100-300	75
Malte Amber/Brown*	2.0	100-140	150
Malte Chocolate*	1.5	900-1100	220
Malte Torrado*	1.5	1100-1400	230
Cevada Torrada*	1.5	1000-1550	230

EBC é uma escala de coloração segundo a *European Brewery Convention*.

*Não contém enzimas.

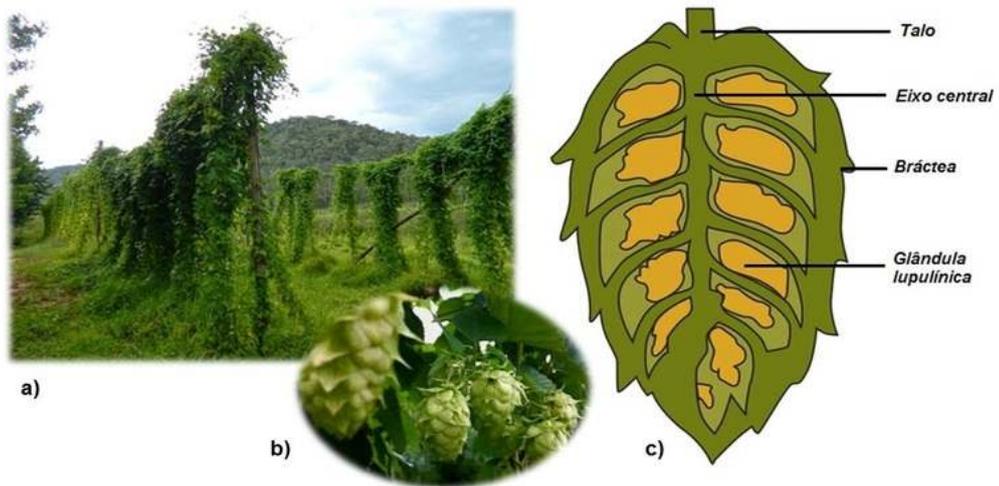
Fonte: Adaptado de Priest e Stewart, 2006.

2.2.3 Lúpulo

O lúpulo (*Humulus Lupulus*) é uma planta trepadeira (FIGURA 3), perene e pertencente à família *Cannabaceae*, produz flores masculinas e femininas porém apenas as flores femininas são usadas nas cervejarias por conterem a substância lupulina (FIGURA 4). O lúpulo possui resinas amargas e óleos etéreos que estabilizam a espuma e fornecem componentes amargos e aromáticos a cerveja (KUNZE, 2004).

Uma característica muito importante desse ingrediente é que ele possui capacidade bactericida o que ajuda na preservação e conservação da cerveja por inibir o crescimento de alguns microrganismos indesejáveis. O nível de amargor da cerveja se mede em unidades de amargor internacionais, IBU (do inglês *International Bitterness Units*), que é controlada essencialmente pela quantidade de lúpulo adicionada (REINOLD, 2010; CARVALHO, 2007).

Figura 3: Estrutura da planta do Lúpulo. a) Cultivo; b) Flor; c) Estrutura da flor



Adaptado de RODRIGUES, 2016.

Figura 4: Interior de um cone de lúpulo



Fonte: SIMONSON, 2014.

Para Kunze (2004), o lúpulo é, de longe, a matéria-prima mais cara usada na produção de cerveja, conseqüentemente, a seleção de variedades ao cultivar e comercializar é de grande importância. Além de lúpulos com alto valor de amargor, os lúpulos aromáticos com baixo

valor de amargor também são muito procurados. Após a colheita, as flores são secadas e processadas, afim de manter suas propriedades e qualidades. O lúpulo pode ser encontrado no mercado como a flor, ou pedaços da flor, seca e prensada, em pó e, menos comumente, em extratos e óleos.

“Os componentes químicos do lúpulo são: água (8-14%); proteínas (12-24%); resinas totais (12-21%); ácidos alfa (4-10%); ácidos beta (3-6%); taninos (2-6%); celulose (10-17%); cinzas (7-10%); óleos essenciais (0,5-2%)” (CARVALHO, 2007)

2.2.4 Levedura

A levedura é um fungo que pode sobreviver e crescer com ou sem oxigênio e é necessária para realizar o processo de fermentação alcoólica. As espécies mais utilizadas nas cervejarias são do gênero *Saccharomyces*: *Saccharomyces cerevisiae* (alta fermentação) e *Saccharomyces uvarum* (baixa fermentação), Ale e Lager, respectivamente (CARVALHO, 2007)

As leveduras de alta fermentação trabalham na faixa da temperatura de 15°C a 22°C, sendo fermentada na parte de cima da mistura, permanecendo em suspensão durante a fase ativa e então floculando, auxiliando na separação rápida da cerveja clarificada e do sedimento. As de baixa fermentação utilizam a faixa de temperatura de 7°C a 15°C e “preferem” a parte de baixo da mistura, sedimentando no fundo do fermentador no final do processo (CARVALHO, 2007; BOTELHO, 2009)

As leveduras usam os açúcares fermentáveis como fonte de energia e as converte em álcool, dióxido de carbono (CO₂) e outros subprodutos. Os tipos e quantidades destes subprodutos dependem da cepa de levedura utilizada e irão influenciar no sabor final da cerveja. O dióxido de carbono é inicialmente descartado para evitar a pressurização do tanque fermentador, mas no processo de envase pode ser aproveitado para gaseificar a cerveja pronta (BAMFORTH, 2003; BRIGGS et al., 2004; PALMER, 1999, 2006; CARVALHO, 2007).

2.3 Processos

Todos os processos necessários para a produção da cerveja devem se ter como critério a característica desejável da bebida. Cada produto final é resultante da quantidade, variedade dos ingredientes e a ordem como tudo é feito. Devido ao grande número de variedades existente, se faz necessário a organização e a escolha (PALMER, 2006; REINOLD, 2010).

2.3.1 Moagem

É um processo puramente físico. O malte é colocado no interior de um moinho, que ao cortar/danificar a casca das sementes promove a exposição do amido do endosperma, além de aumentar a área superficial para ação das enzimas na próxima etapa. Como há a necessidade de vir a utilizar as cascas do malte para filtrar o mosto, o malte é esmagado, e não triturado, entre rolos cilíndricos (CRUZ et al, 2008). Para não danificar a casca, algumas grandes indústrias fazem a moagem do malte umidificando o primeiro, ou mesmo com o malte já em solução aquosa.

De acordo Carvalho (2007), essa moagem não deve ser muito fina e nem muito grossa, muito fina para não tornar a filtragem do mosto lenta, e nem muito grossa para não dificultar a hidrólise do amido.

2.3.2 Mostura

Após a moagem, o grão é denominado moenda. A moenda é misturada com água quente e mexida para criar uma suspensão espessa denominada brassagem. Em seguida, é mexida e aquecida durante um tempo e até atingir a temperatura de 76°C, a fim de converter os amidos em açúcares naturais. Esta brassagem resulta num líquido doce designado por “mosto”, que é filtrado para separar as cascas de malte e depois enviado para a cuba de fabricação da cerveja (AMBEV, 2018).

Para Matos (2011) este que é um dos processos mais complicados da produção, pois envolve diversos eventos físicos e bioquímicos. As enzimas contidas no grão maltado, por influência da temperatura, dão início à hidrólise do amido, transformando amido em maltose e outros açúcares, além de extrair outras substâncias como proteínas, vitaminas, taninos, etc.

Diferentes faixas de temperatura favorecem o trabalho de diferentes enzimas, que agirão em diferentes partes das moléculas de amido, de maneiras diferentes, quebrando-as em diferentes tamanhos, gerando açúcares diferentes (por terem cadeias maiores ou menores de carbono) (PALMER, 1999).

De acordo com Carvalho (2007), as enzimas necessitam de alguns parâmetros do processo para poderem atuar, dentre eles o mais importante é a temperatura da mostura (TABELA 2) e o pH da mostura (TABELA 3).

Tabela 2: Faixa de temperatura ideal das enzimas do mosto.

1º	Glucanases	35 – 45° C
2º	Proteases	45 – 55° C
3º	β - amilase	60 – 65° C
4º	α - amilase	70 – 75° C

Fonte: Adaptado de CARVALHO, 2007.

Tabela 3: pH ideal das enzimas do mosto.

1º	Glucanases	5,0
2º	Proteases	5,2 – 8,2
3º	β - amilase	5,4 – 5,6
4º	α - amilase	5,6 – 5,8

Fonte: Adaptado de CARVALHO, 2007.

No processo de mosturação, obtém-se a extração de 65% dos sólidos totais do malte (CARVALHO, 2007).

2.3.3 Recirculação e lavagem

Nesta fase o objetivo é deixar o mosto o mais límpido possível, sem partículas que possam vir a atrapalhar o processo posteriormente. Para isso eleva-se a temperatura até cerca de 78°C para que as enzimas sejam desnaturadas visando interromper a conversão dos amidos, diminuindo a viscosidade do mosto (MEYRELLIS *et al*, 2016).

A filtração do líquido é então iniciada e as cascas do malte é utilizada como meio filtrante. Neste processo realiza-se a recirculação e a lavagem do mosto, de forma a extrair o máximo de açúcares responsáveis por dar corpo a cerveja. Na recirculação, o bolo de grãos é lavado com o líquido do próprio mosto. Na lavagem, o bagaço é lavado com água aquecida para que a temperatura do mosto permaneça elevada (BARCELOS *et al*, 2015).

2.3.4 Fervura

Nesta etapa é adicionado o lúpulo a mistura e então é iniciado o processo de fervura. A fervura é de suma importância por diversos fatores, entre eles a esterilização, interrupção completa da atividade enzimática, concentração do mosto, diminuição do pH, coagulação de proteínas e taninos, intensificação da cor, decomposição de compostos voláteis indesejáveis e aumento do amargor (HORNSEY, 1999).

Para Carvalho (2007), a fervura também contribui para o sabor pois os componentes aromáticos e o amargor do lúpulo são transferidos para o mosto. A temperatura nesta fase é controlada de 78°C até 100°C, para que a evaporação necessária seja feita e a obtenção da quantidade desejada seja obtida.

2.3.5 Resfriamento e Aeração

O mosto então precisa ser resfriado para evitar a contaminação e a oxidação. Geralmente são utilizados trocadores de calor de placa. A temperatura cai de 100°C para abaixo de 26°C, que é a temperatura para as leveduras de baixa e alta fermentação atuarem (SILVA *et al*, 2009).

De acordo com Carvalho (2007), o oxigênio é o maior inimigo da cerveja, pois influencia negativamente em alguns parâmetros como cor, paladar e estabilidade físico-química, entretanto esta é a etapa onde oxigenar a mistura é necessário pois a levedura precisa de oxigênio para a sua propagação. A oxigenação é feita injetando microbolhas de ar estéril na mistura, que resultará em uma boa multiplicação celular das leveduras, necessárias para transformar os nutrientes presentes no mosto em seus metabólitos em um determinado tempo.

2.3.6 Fermentação, *Cold-crash* e Maturação

No mosto então resfriado é inoculado a levedura. Nesta fase, os microrganismos irão se reproduzir, consumir os açúcares, e produzir o álcool, dióxido de carbono e outros componentes. Esse processo de fermentação geralmente ocorre em tanques herméticos e com temperatura controlada e variando conforme a necessidade. Em cervejarias artesanais esse controle de temperatura geralmente é feito por geladeiras ou salas climatizadas. Há vários critérios que devem ser observados na fermentação para que se obtenha um bom produto: se a cerveja é de baixa ou alta fermentação, seleção de uma boa cepa de levedura, a concentração celular utilizada, o tempo de fermentação, dados de crescimento e morte celular do microrganismo, o término do processo. A fermentação alcoólica também preserva os alimentos, seja diminuindo o pH ou pela produção de etanol, condições nas quais poucos microrganismos, além das leveduras, sobrevivem (MATOS, 2011).

Uma vez concluída a fermentação, a cerveja é reduzida a temperatura de 0°C (do inglês, *Cold Crash*). A maior parte da levedura é depositada no fundo do tanque ao final do processo

e é separada por decantação (sedimentação), e tem início a fase de maturação. Nesta fase, ocorrem poucas transformações na cerveja, mas que ajudam a afinar o sabor da cerveja. A maturação costuma levar de seis a trinta dias, variando de uma cervejaria para outra, em razão da cepa do fermento e do tipo da cerveja. Ao término desta fase, a cerveja está praticamente com seus aromas e sabores finais definidos. Nesta etapa ocorre também a formação do dióxido de carbono, que é muito importante para o frescor da cerveja a formação de espuma. A carbonatação excessiva pode prejudicar a cerveja, pois quando servida pode ocasionar formação excessiva de espuma, com posterior perda da consistência e, por consequência, produzirá uma cerveja sem corpo. Entretanto, a cerveja que contém pouco dióxido de carbono, provocará grande incorporação de oxigênio, o que fornece a impressão de uma cerveja sem gás (CARVALHO, 2007).

2.4 Equipamentos

Para a produção de cerveja vários equipamentos são utilizados, entre eles estão os tanques, ou tinas, serpentinas, bombas, trocadores de calor, válvulas, resistências elétricas etc. Alguns parâmetros, como quantidade produzida, são cruciais ao se definir esses equipamentos visando o controle da qualidade da produção e a minimização de custo (REINOLD, 2009).

Neste trabalho foi dimensionado os tanques para aquecimento da água de lavagem, para aquecimento da mostura e para a fervura; e suas respectivas resistências elétricas.

3. METODOLOGIA

3.1. Equacionamento do projeto

Para o equacionamento do projeto, os volumes de mosto ao final do processo serão: 50L, 75L, 100L, 125L, 150L, 175L E 200L. Essas quantidades atendem a produção de cerveja artesanal, ou seja, produções em menor escala onde todo o processo é controlado e acompanhado pelas mãos do cervejeiro.

3.1.1. Volume

Para o dimensionamento dos volumes de produção do mosto no tanque de água de lavagem (T1), tanque de mosturação (T2) e tanque de fervura (T3), alguns dados para equacionamento do projeto foram definidos por Briggs (1998), considerando as premissas de produção de cervejas artesanais.

- Demanda de água da mostura: $2,5 \text{ l} * \text{kg}^{-1}$ de grão;
- Demanda de água de lavagem: $1,5 * \text{volume (l) de água de mostura}$;
- Perda de água por absorção: $1 \text{ l} * \text{kg}^{-1}$ de grão;
- Perda de água por evaporação na etapa de fervura: 10% do volume por hora
- Perdas diversas: 2%
- Massa específica do grão molhado: $1,3 \text{ kg} * \text{l}^{-1}$

Para determinar os volumes de água e mosto que ocupariam os tanques respectivamente foram necessários aplicação reversa dos cálculos para obtenção dos volumes de mosto. Essas equações foram descritas por Meyrellis *et al* (2016).

$$V_{pré-f} = V_{pós-f} - V_{evap} - V_{perdas} \quad (3.1)$$

$$V_{evap} = 10\% * (V_{pré-f}) \quad (3.2)$$

$$V_{pré-f} = V_{wm} + V_{wl} - V_{abs} \quad (3.3)$$

$$V_{wm} = 2,5 * m_g \quad (3.4)$$

$$V_{wl} = 1,5 * V_{wm} \quad (3.5)$$

$$V_{abs} \cong m_g \quad (3.6)$$

$$V_w = V_g + V_{wm} \quad (3.7)$$

$$V_g = \frac{m_g}{\rho_g} \quad (3.8)$$

Onde:

$V_{pré-f}$ é o volume de pré-fervura (l);

$V_{pós-f}$ é o volume de pós-fervura (l), volume final de mosto;

V_{evap} é o volume de pré-fervura evaporado (l);

V_{perdas} é o volume perdido no processo (l);

V_{wm} é o volume de água na mostura (l);

m_g é a massa de grãos utilizada (l);

V_{wl} é o volume da água de lavagem (l);

V_{abs} é o volume de perdas por absorção (l);

V_w é o volume de mosto (l);

V_g é o volume de grãos (l);

ρ_g é a massa específica do grão de malte ($\text{kg} * \text{l}^{-1}$);

Para o cálculo das dimensões dos tanques foi levado em consideração os modelos de tanques cervejeiros cilíndricos e com razões de diâmetro-altura de $\frac{3}{4}$. É importante manter uma folga no topo do tanque para evitar acidente de transbordo do líquido nas operações de

aquecimento da água e do mosto. A folga foi de no mínimo 200mm no topo dos tanques (MEYRELLIS *et al*, 2016).

$$D_T = \sqrt[3]{\frac{3V_T}{\pi}} \quad (3.9)$$

$$H_T = \frac{4 * D_T}{3} \quad (3.10)$$

$$H_w = \frac{4V_w}{\pi(D_T)^2} \quad (3.11)$$

$$H_f = H_T - H_w \quad (3.12)$$

Onde:

H_T é a altura do tanque(m);

D_T é o diâmetro do tanque (m);

V_T é o volume do tanque (m³);

V_w é o volume de líquido dos tanques (m³);

H_w é a altura do líquido (água/mosto) nos tanques (m);

H_f é a altura da folga (m).

3.1.2. Resistência elétrica para aquecimento

Para aquecimento dos líquidos nos tanques, foi dimensionado as resistências elétricas utilizando os seguintes parâmetros.

- Dimensionar uma resistência elétrica para aquecer o tanque 1 (água de lavagem) com vários volumes diferentes, de 25°C a 76°C em 1 hora. Como essa água será usada no na

lavagem das cascas de malte, então ela deve estar na mesma temperatura que o tanque de mostura.

- Dimensionar uma resistência elétrica para aquecer o tanque 2 (mostura) com vários volumes diferentes, de 25°C a 76°C em 1 hora. Pois as enzimas que transformam o amido em açúcares fermentáveis são ativadas nessa temperatura.
- Dimensionar uma resistência elétrica para evaporar 10% do mosto pré-fervura no tanque 3 (fervura) com vários volumes diferentes, de 70°C a 100°C (que é a temperatura de evaporação da água) em 1 hora.
- Será considerado o calor específico da água em todos os tanques a $4184 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}$ e a densidade da água a $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Para calcular a energia usou-se a fórmula do calor sensível e posteriormente calculou a potência:

$$Q = m * cp * \Delta T \quad (3.13)$$

$$P = \frac{Q}{t} \quad (3.14)$$

Onde:

Q é a quantidade de energia (J);

m é a massa do líquido (kg);

cp é calor específico da água ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}$);

ΔT é a variação da temperatura ($^\circ\text{C}$);

P é a potência da resistência (w);

t é o tempo para atingir a temperatura necessária (s).

A resistência elétrica indicada para esse processo é a resistência de imersão que é rosqueada no tanque, é feita de material cerâmico para não interferir na cocção do líquido, possui controle digital de temperatura e termostatos.

3.2. Materiais para a construção

De acordo com Reinold (2009) e Meyrellis *et al* (2016), os tanques, geralmente, são construídos em aço inox AISI 304, pela sua aplicabilidade em indústrias. Este material possui excelência em resistência de corrosão e oxidação com o contato com a água, capacidade de conformação, fácil soldabilidade, suporta a elevação da temperatura do processo, é facilmente esterilizada com água fervente e possui propriedades mecânicas.

3.3. Projeto Físico

A representação dos equipamentos foi feita com auxílio do software AutoCad versão 2017. Essa ferramenta auxilia na criação, desenho e arranjo da planta dos equipamentos dentro do espaço da produção (FIGURA 5).

3.4. Simulação do controle do processo por planilhas do Excel

Para controle e facilidade em obter os resultados dos parâmetros, foi utilizado a ferramenta do Microsoft Excel. Essa ferramenta nos deu o controle de todo o processo onde ao alterar os valores da quantidade de mosto cervejeiro todos os demais parâmetros também foram alterados de acordo com as premissas já citadas anteriormente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Dimensionamento dos tanques e das resistências elétricas

4.1.1. Volumes dos tanques

Para calcular o volume dos tanques deve se observar que em seu interior deve conter o líquido mais uma folga em topo para evitar transbordo. Primeiro foi calculado o volume do tanque 3 utilizando as equações (3.1) e (3.2) para 50L de mosto pós fervura. De forma semelhante foi feito para todos os outros volumes:

$$V_{pré-f} = \frac{50 + 1}{0,9}$$

$$V_{pré-f} = 56,67 \text{ L} \approx 60 \text{ L}$$

Tabela 4: Volumes pré fervura

Volume de mosto pós fervura (L)	Volume de Perdas (L)	Fator de evaporação	Volume de mosto pré fervura (L)		
50	1	0,9	56,67	≈	60
75	1,5	0,9	85,00	≈	85
100	2	0,9	113,33	≈	115
125	2,5	0,9	141,67	≈	145
150	3	0,9	170,00	≈	170
175	3,5	0,9	198,33	≈	200
200	4	0,9	226,67	≈	230

O volume no tanque de mosto pré fervura necessita ter uma quantidade de líquido maior que o de pós fervura por causa das perdas e do volume evaporado neste processo.

Com esta informação obteve-se a massa de grãos necessária para o processo. Utilizou-se as equações (3.3) a (3.6):

$$56,67 = 2,5 * m_g + (1,5 * 2,5 * m_g) - m_g$$

$$56,67 = 5,25 m_g \quad \Rightarrow \quad m_g = \frac{56,67}{5,25}$$

$$m_g = 10,79 \approx 11 \text{ kg}$$

Foi utilizado o valor do volume pré fervura calculado e não o valor arredondado para que os resultados fiquem dentro do ideal.

Tabela 5: Massas de grãos para cada volume

Volume de mosto pré fervura (L)	Massa de grãos (kg)
56,67	10,79 ≈ 11
85,00	16,19 ≈ 17
113,33	21,59 ≈ 22
141,67	26,98 ≈ 27
170,00	32,38 ≈ 33
198,33	37,78 ≈ 38
226,67	43,17 ≈ 44

O volume de água da mostura é então calculado utilizando a equação (3.4):

$$V_{wm} = 2,5 * 11 \text{ kg}$$

$$V_{wm} = 27,5 \text{ L}$$

Neste caso foi calculado o volume de água da mostura usando o valor arredondado da massa de grãos visto que de fato será a quantidade a ser utilizada.

Tabela 6: Volume da água de mostura para cada massa de grãos

Massa de grãos (kg)	Volume de água mostura (L)
11	27,50
17	42,50
22	55,00
27	67,50
33	82,50
38	95,00
44	110,00

De acordo com a massa de grãos se conhece o volume da água necessária para a mostura.

Posteriormente foi calculado o volume de mosto gerado no tanque 2, utilizando as equações (3.7) e (3.8):

$$V_w = \frac{11 \text{ kg}}{1,3 \frac{\text{kg}}{\text{L}}} + 27,50 \text{ L}$$

$$V_w = 35,80 \text{ L}$$

Tabela 7: Volume de mosto para cada massa de grãos

Massa de grãos (kg)	Volume de água mostura (L)	Volume de mosto (L)
11	27,50	35,80
17	42,50	54,95
22	55,00	71,61
27	67,50	88,26
33	82,50	107,41
38	95,00	124,06
44	110,00	143,21

E então o volume da água de lavagem no tanque 1 é por fim calculado através da equação

(3.5):

$$V_{wl} = 1,5 * 27,50 \text{ L}$$

$$V_{wl} = 41,25 \text{ L}$$

Tabela 8: Volume de água de lavagem para cada volume de água de mostura

Volume de água mostura (L)	Volume de água de lavagem (L)
27,50	41,25
42,50	63,75
55,00	82,50
67,50	101,25
82,50	123,75
95,00	142,50
110,00	165,00

A água para a lavagem dos grãos filtrados no processo de mostura finaliza o dimensionamento dos volumes dos tanques.

4.1.2. Tamanho dos tanques

O tanque 1 foi para armazenar a água de lavagem. De acordo com Meyrellis *et al* (2016) o tanque cilíndrico o mais adequado e seguro para esse processo deve ter as dimensões para ocupar o volume de mosto pós fervura. Seu diâmetro é calculado pela equação (3.9):

$$D_{T1} = \sqrt[3]{\frac{3 * 0,05 m^3}{\pi}}$$

$$D_{T1} = 0,36 m$$

E sua altura pela equação (3.10):

$$H_{T1} = \frac{4 * 0,36 m}{3}$$

$$H_{T1} = 0,48 m$$

Com os valores de diâmetro e altura do tanque podemos então calcular a altura que a água de lavagem ocupou no tanque utilizando a equação (3.11):

$$H_{w1} = \frac{4 * 0,04125 m}{\pi * (0,36^2) m}$$

$$H_{w1} = 0,40 m$$

E então de posse das alturas do tanque e do líquido em seu interior foi possível calcular a folga no topo do tanque utilização a equação (3.12):

$$H_{f1} = 0,48 m - 0,40 m$$

$$H_{f1} = 0,08 m$$

Tabela 9: Dimensões do tanque 1 (água de lavagem)

Volume de mosto pós fervura (L)	D_{T1} (m)	H_{T1} (m)	H_{w1} (m)	H_{f1} (m)
50	0,36	0,48	0,40	0,08
75	0,42	0,55	0,47	0,08
100	0,46	0,61	0,50	0,11
125	0,49	0,66	0,53	0,12
150	0,52	0,70	0,58	0,12
175	0,55	0,73	0,60	0,14
200	0,58	0,77	0,63	0,13

Para o cálculo do tanque 2 de mostura as dimensões deverão ser iguais a do tanque 1, porem o volume ocupado pelo mosto é diferente e altura do líquido e da folga deverão ser calculados utilizando as equações (3.11) e (3.12).

Tabela 10: Dimensões do tanque 2 (mostura)

Volume de mosto pós fervura (L)	D_{T2} (m)	H_{T2} (m)	H_{w2} (m)	H_{f2} (m)
50	0,36	0,48	0,35	0,14
75	0,42	0,55	0,41	0,15
100	0,46	0,61	0,44	0,17
125	0,49	0,66	0,46	0,19
150	0,52	0,70	0,50	0,20
175	0,55	0,73	0,52	0,21
200	0,58	0,77	0,55	0,22

O tanque 3 será utilizado para o processo de fervura do mosto e se faz necessário, a título de segurança, que se tenha uma capacidade maior do que a do volume de mosto pré fervura. De acordo com os cálculos de Meyrellis *et al* (2016), a proporção de 1,23 e relação ao volume dos tanques 1 e 2 é suficiente para este dimensionamento.

O tanque 3 é então calculado, semelhantemente ao 1 e ao 2, utilizando as equações (3.9), (3.10), (3.11) e (3.12).

Tabela 11: Dimensões do tanque 3 (mosto pré fervura)

Volume com capacidade maior	D_{T3} (m)	H_{T3} (m)	H_{w3} (m)	H_{f3} (m)
74	0,41	0,55	0,45	0,10
105	0,46	0,62	0,50	0,11
141	0,51	0,68	0,56	0,13
178	0,55	0,74	0,60	0,14
209	0,58	0,78	0,63	0,14
246	0,62	0,82	0,67	0,15
283	0,65	0,86	0,70	0,16

4.1.3. Equacionamento das resistências elétricas

Seguindo os princípios do item 3.1.2, e utilizando as equações (3.13) e (3.14) foi dimensionado as resistências elétricas para cada volume e cada tanque. Foi calculado com o volume de 50L de mosto pós fervura no tanque 1 e de forma semelhante foi feito para todos os outros volumes e para os demais tanques.

Primeiro é necessário se saber a carga de energia para o aquecimento necessário:

$$Q = 41,25 \text{ kg} * 4184 \text{ J} * (\text{kg}^{-1} * ^\circ\text{C}) * 51 ^\circ\text{C}$$

$$Q = 8802090 \text{ J ou } 8802,09 \text{ KJ}$$

E então calculamos a potência da resistência:

$$P = \frac{8802090 \text{ J}}{3600 \text{ s}}$$

$$P = 2445 \text{ W}$$

Porém devemos ajustar para a potência de uma resistência comercial, neste caso seria uma resistência de 2500 W. Então o tempo é reajustado com a potência comercial:

$$t = \frac{Q}{P}$$

$$t = \frac{8802090 \text{ J}}{2500 \text{ W}}$$

$$t = 3521 \text{ s ou } 58 \text{ m e } 41 \text{ s}$$

Tabela 12: Resistências para todos os volumes no tanque 1

Volume do tanque (l)	Varição da Temperatura (°C)	Massa de água (kg)	Calor específico (J*kg ⁻¹ *°C)	Quantidade de Energia (J)	Tempo definido (s)	Potência calculada (W)	Potência comercial (W)	Tempo ajustado (s)
50	51	41,25	4184	8802090	3600	2445	2500	3521
75	51	63,75	4184	13603230	3600	3779	4000	3401
100	51	82,50	4184	17604180	3600	4890	5000	3521
125	51	101,25	4184	21605130	3600	6001	6500	3324
150	51	123,75	4184	26406270	3600	7335	7500	3521
175	51	142,50	4184	30407220	3600	8446	8500	3577
200	51	165,00	4184	35208360	3600	9780	10000	3521

Tabela 13: Resistências para todos os volumes no tanque 2

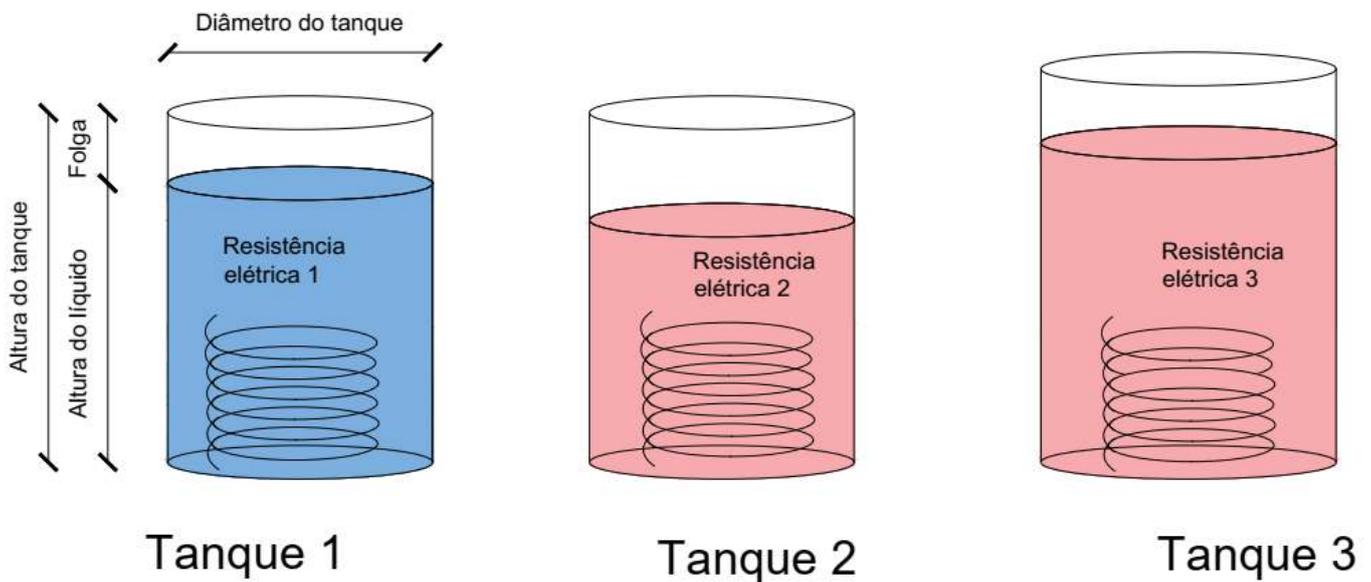
Volume do tanque (l)	Varição da Temperatura (°C)	Massa de água (kg)	Calor específico (J*kg ⁻¹ *°C)	Quantidade de Energia (J)	Tempo definido (s)	Potência calculada (W)	Potência comercial (W)	Tempo ajustado (s)
50	51	35,80	4184	7639746	3600	2122	2500	3056
75	51	54,95	4184	11726350	3600	3257	3500	3350
100	51	71,61	4184	15279493	3600	4244	5000	3056
125	51	88,26	4184	18832636	3600	5231	5500	3424
150	51	107,41	4184	22919239	3600	6366	6500	3526
175	51	124,06	4184	26472383	3600	7353	7500	3530
200	51	143,21	4184	30558986	3600	8489	8500	3595

Tabela 14: Resistências para todos os volumes no tanque 3

Volume do tanque (l)	Varição da Temperatura (°C)	Massa de água (kg)	Calor específico (J*kg ⁻¹ *°C)	Quantidade de Energia (J)	Tempo definido (s)	Potência calculada (W)	Potência comercial (W)	Tempo ajustado (s)
74	51	60,00	4184	12803040	5400	2371	2500	5121
105	51	85,00	4184	18137640	5400	3359	3500	5182
141	51	115,00	4184	24539160	5400	4544	5000	4908
178	51	145,00	4184	30940680	5400	5730	6000	5157
209	51	170,00	4184	36275280	5400	6718	7000	5182
246	51	200,00	4184	42676800	5400	7903	8000	5335
283	51	230,00	4184	49078320	5400	9089	10000	4908

Observa-se que em alguns tanques em determinado volume desejado, a resistência elétrica é a mesma, o que pode reduzir o custo, visto que uma resistência elétrica menos potente é mais barata que uma mais potente.

4.2. Projeto físico (FIGURA 5)



4.3. Simulação do controle do processo por planilhas do Excel

Encontra-se no Anexo A

4.4. Gráficos

Para análise dos dados foram gerados gráficos para a devida interpretação. A linha do tanque 3 é a que mais elevada pois neste processo o líquido sofre evaporação e reduz para então alcançar o volume desejado. Observa-se que em alguns volumes a linha do tanque 3 reduz o seu ângulo de inclinação e isso infere que há uma redução do gasto de água em relação aos demais volumes.

Gráfico 2: Comparativo entre os volumes nos tanques

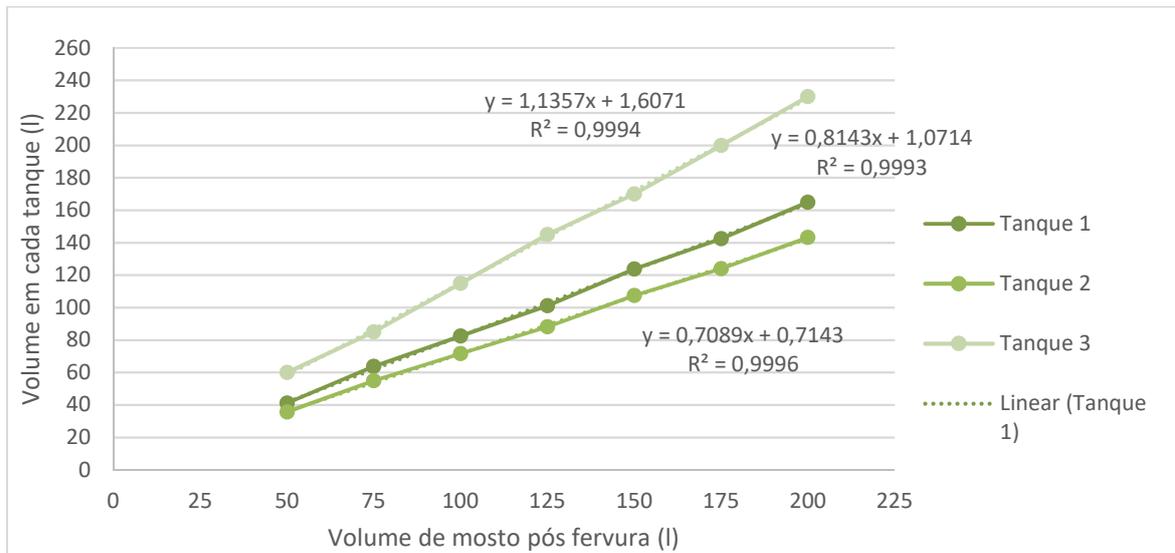
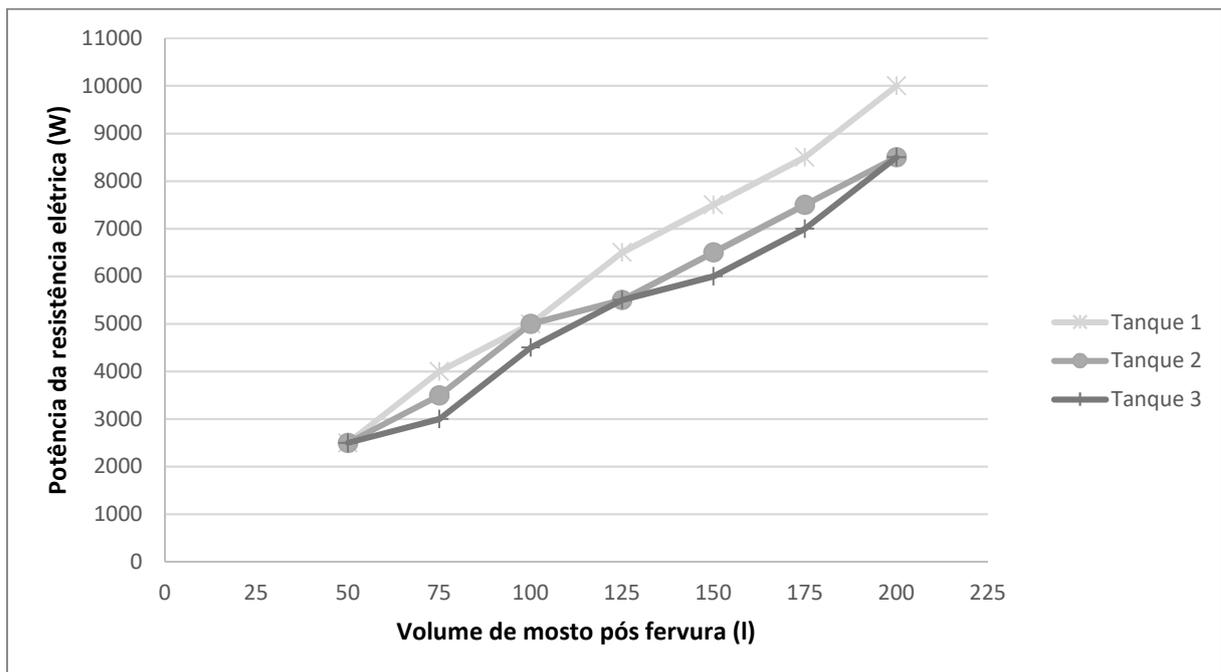


Gráfico 3: Comparativo entre os volumes produzidos e as resistências elétricas utilizadas



O que se observa é que em alguns casos pode se usar a resistência de mesma potência mesmo sendo volumes diferentes no tanque pois o que se deve ser controlado é o tempo.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que objetivo foi atingindo, pois, o dimensionamento se mostrou eficaz e pode ser utilizado como parâmetro para a produção de mosto cervejeiro uma vez que os critérios de produção e de segurança foram obedecidos.

Observasse que a produção de menores quantidades necessita de resistências elétricas menos potentes, ou seja, possuem um gasto de energia menor, e isto pode alterar de forma significava no custo da produção.

Vários critérios devem ser observados antes da tomada de decisão, como custos, quantidade a ser produzida, quantidade a ser armazenada e destino final da bebida, para depois se iniciar o processo.

REFERÊNCIAS

AMBEV. **Produção de cerveja.** Disponível em: <http://www.tapintoyourbeer.com/become_beermaster.cfm>. Acesso em 29 de maio de 2018.

BAMFORTH, C.W. **Beer – Tap Into The Art And Science Of Brewing.** 2. Ed. New York: Oxford University Press, 2003. 233p

BARCELOS, A. C.; TREGELLAS, B.; XAVIER, K. R. **Produção e análise de cerveja artesanal.** 2015. 38 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências e Tecnologia) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI, Ouro Branco.

BARTH-HASS. **The Barth Report.** The Wizard of Hops. Hops, 2009/2010. 32p. Pg.7. Disponível em: <<https://www.barthhaasgroup.com/en/>>. Acesso em 29 de maio de 2018.

CERVBRASIL - **Associação Brasileira da Indústria da Cerveja. Anuário,** 2016. Disponível em: <http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/> Acesso em 29 de maio de 2018.

MARCUSSO, E. F. **As Microcervejarias no Brasil Atual: Sustentabilidade e Territorialidade.** Dissertação (Mestrado) Programa de PósGraduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2015.

BOTELHO, B. G. **Perfil e teores de amins bioativas e características físico-químicas em cervejas.** Faculdade de Farmácia, UFMG, Belo Horizonte, MG, 2009.

BRASIL. **Decreto Nº 6.871, de 4 de junho de 2009. Diário oficial da União.** Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2009/decreto/d6871.htm>. Acesso em 29 de maio de 2018.

BRIGGS, Dennis E. **Brewing Science and Praticce.** Boca Raton: CRC Press, 2004. 881p.

BRIGGS, Dennis E. **Malts and Malting.** New York: Springer, 1998. 796p.

CARVALHO, L. G. Dossiê Técnico. **Produção de cerveja**. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, mar. 2007. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTc=>>. Acesso em 29 de maio de 2018.

HORNSEY, Ian S. **Brewing**. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1999. 231p.

KLING, K. **Bier selbst gebraut**. Göttingen: Verlag Die Werkstatt GmbH 3. Auflage 2012. P. 206.

KUNZE, Wolfgang. **Technology Brewing and Malting**. 3 ed. Berlin. 2004. 948p.

MATOS, R. A. G. **Cerveja: Panorama do mercado, produção artesanal, e avaliação de aceitação e preferência**. 2011. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MEYRELLIS, D. C.; DANTAS, J. R. D.; SOUZA, P. C. **PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE UNIDADE DE PRODUÇÃO DE MOSTO CERVEJEIRO**. 2016. 120 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Química) -, UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE, Niterói, 2016. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/handle/1/2858>>. Acesso em 01 de junho de 2018.

PALMER, J. **How to Brew: Everything You Need to Know to Brew Beer Right the First Time**. 3 ed. Brewers, 2006. 347 p.

PALMER, J. **How to Brew**. 1999. Disponível em: <http://howtobrew.homebrewer.com.br/index.php/P%C3%A1gina_principal>. Acesso em 02 de junho de 2018.

PRIEST, F. G.; STEWART, G. G. **Handbook of Brewing**. 2 ed. Boca Rat: CRC Press, 2006. 289p.

REINOLD, Mathias. **Reações enzimáticas e físico-químicas que ocorrem durante a malteação da cevada**. Veículo: Revista Indústria de Bebidas– ano 9 – nº 55. Data/Edição: 2010.

REINOLD, Mathias R. **Água: uma boa base para cerveja**. 3 ed. Bier Life, 2009. Disponível em: <<https://www.cervesia.com.br/artigos-tecnicos/downloads/artigos-tecnicos.html>>. Acesso em 25 de maio de 2018.

REINOLD, Mathias. **Reações enzimáticas e físico-químicas que ocorrem durante a malteação da cevada**. Veículo: Revista Indústria de Bebidas– ano 9 – nº 55. Data/Edição: 2010.

SILVA, A. E.; COLPO, E.; OLIVEIRA, V. R.; HERBST JUNIOR, C. G.; HECKTHEUER, L. H. R.; REICHER, F. S. **Elaboração de cerveja com diferentes teores alcoólicos de processo artesanal**. *Revista de Nutrição*. Araraquara, v.20, n.3, p.369-374. 2009. Disponível em: <<http://servbib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/article/viewFile/1129/832>>. Acesso em 08 junho de 2018.

Anexos

ANEXO A – Controle do processo por planilhas do Excel

Controle do processo											
Volume de mosto pré fervura (L)											
Volume de mosto pós fervura (L)	Volume de Perdas (L)	Volume evaporado (L)	Volume ideal do líquido	Valor aprox	Volume do tanque com folga	Massa de grãos (kg)	Volume de água mostura (L)	Volume de mosto	Volume de água de lavagem		
50	1	0,9	57	115	141	11	27	35	40		
TANQUE 1 (água de lavagem)											
dt1	hwt1	hft1	dt2	ht2	hwt2	hft2	dt3	ht3	hwt3	TANQUE 3 (Tanque de fervura)	
0,36	0,39	0,09	0,36	0,48	0,34	0,14	0,51	0,68	0,56	0,13	
TANQUE 2 (Tanque de mostura)											
TANQUE 3 (Tanque de fervura)											
Variação de temperatura (°C)											
Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3	Calor específico (J/kg·°C)	Quantidade de energia (J)	Tempo necessário (s)	Potência necessária (W)	Potência comercial (W)	Tempo ajustado (s)			
51	51	51	4184	8686971	3600	2399	2500	3465			
			4184	7529667	3600	2092	2500	3012			
			4184	24539160	5400	4544	2500	9816			