

**Desenvolvimento experimental de um equipamento manutenção e
conservação da água de processamento de maçãs**
**Experimental development of apple processing water maintenance and
conservation equipment**

Derimar Wegener¹, Marcelo Henkemeier¹, Vanessa Maria Carpes¹

¹ Universidade de Passo Fundo, Campus 1 Rod.BR 285, Km 292,7 Bairro São José – Passo Fundo, 99052-900.

* derimarw@gmail.com

** marceloh@upf.br

Resumo

As indústrias da cadeia produtiva da maçã (*packing house*) utilizam grandes volumes de água no transporte para os processos de seleção e classificação. Essa água apresenta, em pouco tempo, degradação de sua qualidade, apresentando cor e turbidez alteradas pela presença de matéria orgânica solúvel e sendo um meio de contaminação por fungos. Os sistemas de filtração com areia e carvão ativado adotados para o tratamento desse fluido têm sido ineficientes, pois recomendam a remoção de material em suspensão e não coloidal. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo estender o ciclo de vida da água na indústria de processamento de maçãs através da elaboração de um projeto experimental aplicando os princípios de eletrólise seguidos de um processo de filtração, tomando como base os estudos de condicionamento em laboratório. O sistema construído trabalhou de forma contínua a uma vazão de 250 l / h. Foram avaliadas cor, turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), sólidos sedimentáveis, pH e condutividade elétrica. Houve uma eficiência de 70% na remoção de cor, 96,4% na remoção de turbidez, 100% na remoção de sólidos sedimentáveis, redução de 59,5% na demanda química de oxigênio.

Palavras-chave: Tratamento eletrolítico, Reúso de água, Sustentabilidade hídrica; Projeto conceitual.

Abstract

The apple supply chain industries use large volumes of water for transportation for the selection and classification processes. This water presents, in a short time, in its quality degradation, presenting color and turbidity altered by the presence of soluble organic matter and being a means of fungi contamination. Sand and activated carbon filtration systems adopted for the treatment of this fluid have been inefficient because they recommend the removal of suspended and non-colloidal material. Therefore, the present work aims to extend the water life cycle in the apple processing industry through the elaboration of an experimental project applying the electrolysis principles followed by a filtration process, based on laboratory conditioning studies. The built system worked continuously at a flow rate of 250 l / h. Color, turbidity, chemical oxygen demand (DQO), sedimentable solids, pH and electrical conductivity were evaluated. There was a 70% efficiency in color removal, 96.4% in turbidity removal, 100% in removal of sedimentable solids, 59.5% reduction in chemical oxygen demand.

Keywords: Electrolytic treatment; Water reuse; Water sustainability; Conceptual project.

Introdução

A água é considerada como um bem de consumo essencial para a manutenção da vida em nosso planeta e indispensável para o andamento das mais diversas atividades, sendo fator determinante para o grau de desenvolvimento de uma determinada região e um provável gerador de futuros conflitos.

Uma atividade que se destaca no volume de água utilizado é a indústria de alimentos, sendo um de seus segmentos a indústria de classificação e distribuição de maçã. A cadeia da indústria da maçã, como qualquer cadeia produtiva, apresenta processos e procedimentos que se interligam entre si, englobando desde a indústria de insumos, a produção agrícola, indústrias de classificação e distribuição as quais destinam a produção ao consumidor final ou encaminha para as indústrias de processamento. (SIMIONI E PEREIRA [35]).

As indústrias de processamento de maçãs necessitam de um volume considerável de água para as diferentes etapas produtivas, com destaque para o transporte e o armazenamento sob refrigeração. Esta água deve apresentar qualidade potável e tem sua origem vinda de fontes superficiais, subterrâneas, da rede pública de abastecimento ou captação da água de chuvas. No Brasil, a produção de maçãs foi de 1,1 milhões toneladas na safra de 2017-2018. (HFBRASIL[18]). Sendo consumido para o processamento de um quilo de maçã aproximadamente 822 l de água (MEKONNEN E HOEKSTRA [27]).

As unidades de armazenagem e processamento (*packing house*) de maçãs recebem os bins (caixas devidamente identificadas para rastreabilidade) com as frutas colhidas. Os bins são submersos em tanques de água com volumes variáveis conforme capacidade produtiva de cada empresa. As maçãs são transportadas em calhas por meio da corrente de água eliminando a necessidade de serem manuseadas frequentemente, evitando assim possíveis deformações e contaminações (KIST [21]). Durante o processo, as maçãs passam por um equipamento de classificação, o qual realiza a separação das maçãs pelos seus atributos e são encaminhadas a um tanque final com água, onde novamente são acondicionadas em bins. Os bins são destinados ao processo de embalagem final ou para as câmaras frias, das quais posteriormente as maçãs serão destinadas à comercialização.

As indústrias de maçãs realizam o descarte da água de processo por meio de análise do aspecto visual, causado por interferências como presença de cor, aumento da turbidez e elevada presença de sólidos. A deterioração da qualidade da água reduz o ciclo de vida útil no processo e compromete a qualidade das maçãs, pois a água se torna um veículo de contaminação fúngica (ANTONIOLLI [1]; BRASIL [7]; GIRARDI, [16]; KOVALESKI; RIBERIRO; [22]; SANHUEZA, [32]). A Tabela 1 apresenta as características do efluente do processamento da maçã.

Os efeitos negativos do aspecto da água no decorrer dos processos podem ser minimizados. Algumas indústrias de processamento de maçãs adotam sistemas de filtração com leitos de areia e

carvão ativado, contudo, esses sistemas de filtração são ineficientes para a remoção de material coloidal e de matéria orgânica natural (CHENG [11]; MATILAINEN; VEPSÄLÄINEN; SILLANPÄÄ, [25]; SÄRKKÄ; VEPSÄLÄINEN; SILLANPÄÄ, [33]; WANG [37]; WENG [38]; XIAO [39]). Nesse sentido, os tratamentos eletroquímicos, como eletrocoagulação (EC) e eletroxidação (EO) apresentam vantagens quando comparados aos tratamentos convencionais, pois utilizam equipamentos compactos e de fácil operação, reduzem o uso de produtos químicos adicionados, possuem rápida separação dos flocos e baixa produção de lodo (CAN [8]; ELAZZOUI; HABOUBI; FENG [13]; GARCÍA-MONTOYA [14]; GÓMEZ-LÓPEZ [17]; HENQUÍN [19]; YOON; KIM; LUU [24]; MOOK, AROUA; ISSABAYEVA, [28]; ZHU [40]).

Contudo, o tratamento eletrolítico isolado apresenta limitações na constituição de agregados na forma de micropartículas, tornando difícil a separação destes por processos tradicionais de sedimentação, centrifugação, filtração e flotação (CHEN [10]; JIN; GONG; WANG, [20]; LIU [23]; MOLLAH [29]; RAJKUMAR; PALANIVELU, [31]; TANNERU; CHELLAM, [36]).

Nessa perspectiva, destacam-se os processos de separação por membranas (PSM) que são sistemas físicos que separam com facilidade os flocos formados na eletrólise (BAGGA; CHELLAM; GAMAGE[15]; CHELLAM, [5]; MEHRPARVAR; RAHIMPOUR; JAHANSHAH, [26]; MOLLAH [29]; RAJKUMAR; PALANIVELU, [31]; SILLANPÄÄ, [34]; TANNERU; CHELLAM, [35]; YAN [41]; YANG [42]).

Parametro	Unidade	Método de análise	BALTAR [4]	CARPES [9]
Aspectos primários (visual)				
Cor	Hanzen	Espectrofotométrico 2120C	260,0	49,42
Turbidez	NTU	Espectrofotometria - 2130	20,6	57,99
Aspectos secundários				
DQO	mg/L	Espectrofotometria em refluxo fechado - 5220 D	26,0	60,28
pH		Eletrômetro - 4500-H*B	7,7	6,93
SST	mg/L	Gravimetria - 2540 B	14,6	49,83
Sólidos Sedimentáveis	mL/L	Método do Cone Imhoff - 2540 F	2,2	N/A

Tabela 1 - Características físico-químicas de efluentes do processamento da maçã.

Fonte: Adaptado de Carpes [9] e Baltar[4].

Os resultados referentes a esses estudos demonstram o potencial para a aplicação de sistemas híbridos compostos por tratamento eletrolítico e PSM em efluente do processamento de maçãs, no entanto não há parâmetros para o desenvolvimento deste sistema.

O desenvolvimento de um sistema híbrido de eletrólise e microfiltração pode ser realizado através da construção de um equipamento experimental, capaz de reunir os resultados das pesquisas realizadas e os requisitos indispensáveis para o desenvolvimento do projeto. Inúmeros autores buscam trazer metodologias para ordenar o processo criativo da elaboração de um projeto, tendo como destaque a metodologia proposta por Pahl[30]. Esta metodologia propõe que o desenvolvimento do projeto a ser executado siga fases pré-definidas, que auxiliam na construção do pensamento criativo, sendo elas: especificação do projeto, projeto conceitual, anteprojeto e projeto detalhado.

O objetivo desta pesquisa é o desenvolvimento de um equipamento experimental capaz de melhorar a qualidade da água, para o reúso direto no processo de transporte da maçã, contribuindo desta forma para a sustentabilidade hídrica da indústria processadora de maçãs.

Material e métodos

Estudo de Caso

O estudo de caso foi realizado numa indústria de processamento de maçãs localizada na cidade de Vacaria norte do estado do Rio Grande do Sul/Brasil. A indústria possui instalações com capacidade de consumir 230m³ de água por dia. A água é obtida de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, sendo tratada por processos convencionais para atingir padrões de potabilidade.

Desenvolvimento do projeto conceitual

Para o desenvolvimento do projeto conceitual utilizou-se das seguintes fases propostas na metodologia de Pahl [30]: especificação do projeto, projeto conceitual, anteprojeto e projeto detalhado.

A etapa inicial do projeto, definida como especificação do projeto, foi composta por um conjunto de metodologias que possuem o objetivo de determinar todas as especificações necessárias para o desenvolvimento do projeto. Como resultado desta etapa, obteve-se uma lista de requisitos necessários para o adequado funcionamento do equipamento. Esta lista, conforme Pahl [30], deve acompanhar toda a vida do projeto, sendo composta por itens desejáveis e exigidos, os quais não poderão ser descartados do projeto.

A etapa seguinte foi a do projeto conceitual, que transformou a lista de requisitos, através da utilização de ferramentas específicas, definidas por Pahl [30] em várias concepções de projeto que

contemplam a lista de requisitos. A primeira etapa desta fase encarregou-se da obtenção da função global do equipamento. Esta função global é o cerne do equipamento e contém o objeto principal do equipamento, representado pelas variáveis de entrada e saídas, assim como as fronteiras do equipamento com o meio ambiente e suas interações com o ser humano.

Para o atendimento da função global conforme Pahl [30] foi necessário desmembrar a função global em subfunções de 1º e 2º grau. Tal desmembramento visou simplificar a busca de soluções. Para cada subfunção foram levantadas duas ou mais soluções, as quais são interligadas entre si, formando as mais diversas soluções para a função global. Cada projeto conceitual gerado para a solução da função global é avaliado de maneira qualitativa e quantitativa, sendo a concepção que obtiver maior pontuação será a concepção a ser desenvolvida.

Avaliação da eficiência da implantação do projeto experimental.

Após o desenvolvimento e construção do equipamento experimental, instalou-se o mesmo em campo, realizando-se os devidos testes práticos para avaliação do equipamento, sendo caracterizado inicialmente pelos critérios de aparência cor e turbidez, considerados como critérios primários, responsáveis pelo aspecto visual, sendo secundariamente avaliados os valores de DQO, pH, condutividade elétrica e sólidos sedimentáveis.

Os testes em campo foram realizados, utilizando-se duas combinações distintas das variáveis de processo, sendo todas amostras avaliadas na primeira e segunda hora do processo, nos seus devidos locais, sendo eles, reator eletrolítico, decantador e efluente filtrado. As combinações de variáveis foram definidas, sendo vazão de 250 l/h e corrente de 80 A para a primeira etapa de testes e vazão de 150 l e corrente de 60 A, para a segunda etapa de testes

A caracterização do efluente bruto e tratado foi realizada a partir de cor e turbidez, considerados como primários, sendo responsáveis pela aparência do efluente, determinantes para definir a eficiência do processo. Os demais itens de caracterização do efluente foram definidos como sendo secundários, sendo os mesmos: Demanda Química de Oxigênio (DQO), sólidos sedimentáveis, pH e condutividade elétrica. Os ensaios foram realizados em réplica para garantir a confiabilidade dos dados obtidos. A DQO determina a possibilidade de proliferação de fungos e bactérias, enquanto que os sólidos sedimentáveis representam a capacidade do equipamento em segregar as partículas contaminantes e por fim os fatores de pH e condutividade elétrica influenciam no desempenho do equipamento. Todos os parâmetros foram obtidos utilizando a metodologia descrita por APHA[2].

Resultados e discussões

Os resultados apresentados nesta pesquisa podem ser divididos em dois grandes segmentos. Primeiramente estão segmentados os resultados obtidos pela aplicação do método de elaboração de projeto elaborado conforme Pahl [30] e na sequência a avaliação e a validação dos resultados obtidos com a utilização do equipamento experimental projetado e construído.

Elaboração do projeto conceitual

A Figura 1 é definida como sendo a linha mestra de desenvolvimento, a qual contém os requisitos de desenvolvimento adaptados da metodologia desenvolvida por Pahl [30], os quais deverão ser observados durante a elaboração do projeto.

O Quadro 1 é um recorte da ramificação da lista mestra de desenvolvimento e apresenta os requisitos necessários para o desenvolvimento do projeto dentro de cada linha mestra. Destaca-se nesta lista a existência dos itens de controle, nos quais constam todas as variáveis pertinentes ao processo de eletrólise e microfiltração utilizadas.

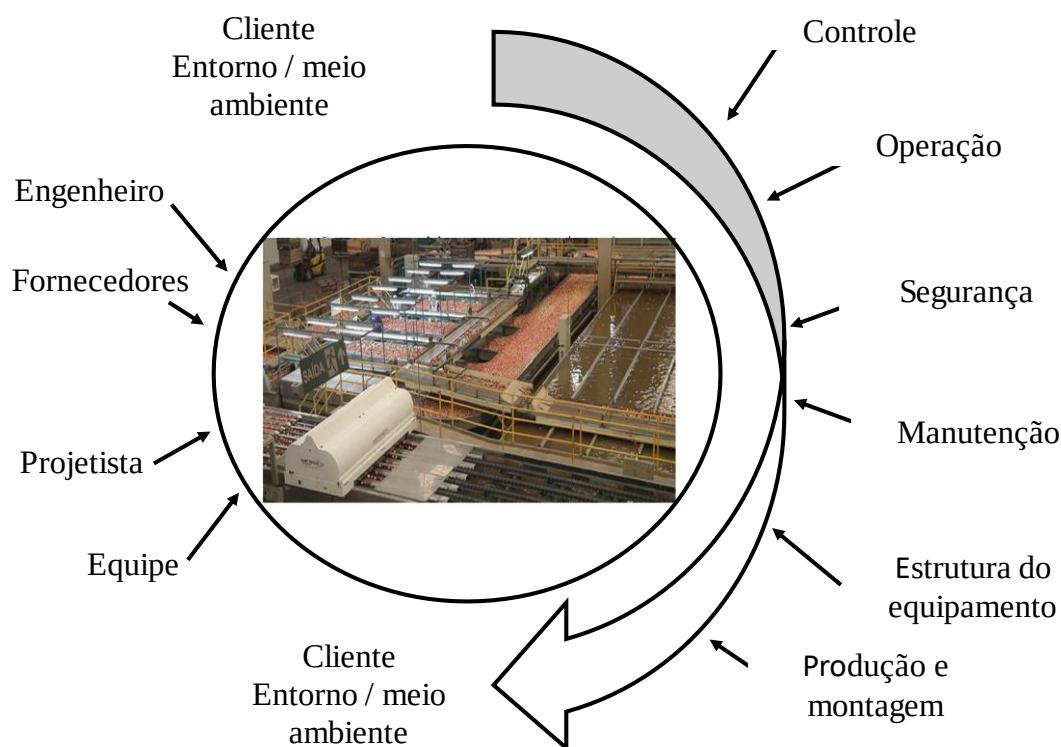


Figura 1 – Linha mestra contendo principais fronteiras para desenvolvimento do equipamento

Fonte: Autor (2019)

A lista de requisitos elaborado para o projeto em estudo é composta de requisitos segmentados como sendo desejáveis (D) ou exigidos (E), seguida da coluna do responsável ou mentor do requisito.

Pahl [30] sugere que a montagem de uma estrutura, na qual delimitamos a função global do equipamento, que possua variáveis de entrada e saída, conversão e transformação, sendo que tal função deve ser a mais simples possível, produzindo consequentemente um sistema simples e viável no sentido econômico, financeiro e operacional

A elaboração da função global (Figura 2) foi realizada com foco nas principais funções do equipamento, com base na lista mestra, tendo como variáveis de entrada o efluente bruto e o consumível, sendo sinal de entrada o volume do efluente a ser tratado. A função global foi definida como tratar efluente do transporte de maçã. As variáveis de entrada foram definidas como sendo o efluente a ser tratado e o consumível a ser utilizado, tendo como sinal de entrada o volume de efluente.

A variável de saída definida como o volume de efluente e quantidade de coagulante gerado, já o sinal de saída estabelecido sendo o desgaste dos eletrodos. Após a elaboração da função global, a mesma foi dividida em subfunções que tiveram como objetivo atender e garantir a função global e a compatibilidade com soluções conhecidas.

Lista de requisitos		
Projeto: Sistema de tratamento água de maçã		
LINHA MESTRA	Requisito	D/E
Controle	Monitorar volume de entrada efluente	E
	Monitorar volume de saída efluente	D
	Controlar PH do efluente	D
	Controlar temperatura do efluente	D
	Controlar tensão do tratamento (V)	E
	Controlar corrente do tratamento (A)	E
	Controlar volume dos reservatório	E
	Monitorar desgaste dos eletrodos	D
Operação	Prover boa interface homem máquina	D
	Monitora on-line	D
	Possibilitar regulagem parametros	E
	Operação Manual	E
	Operação Automática	E
Segurança	Atender normativas existentes (NR 10,12)	E
	Garantir segurança aos operadores	E

Quadro 1 – Recorte da lista de requisitos desejáveis e exigidos obtida para o desenvolvimento do projeto.

Fonte: Autor (2019)

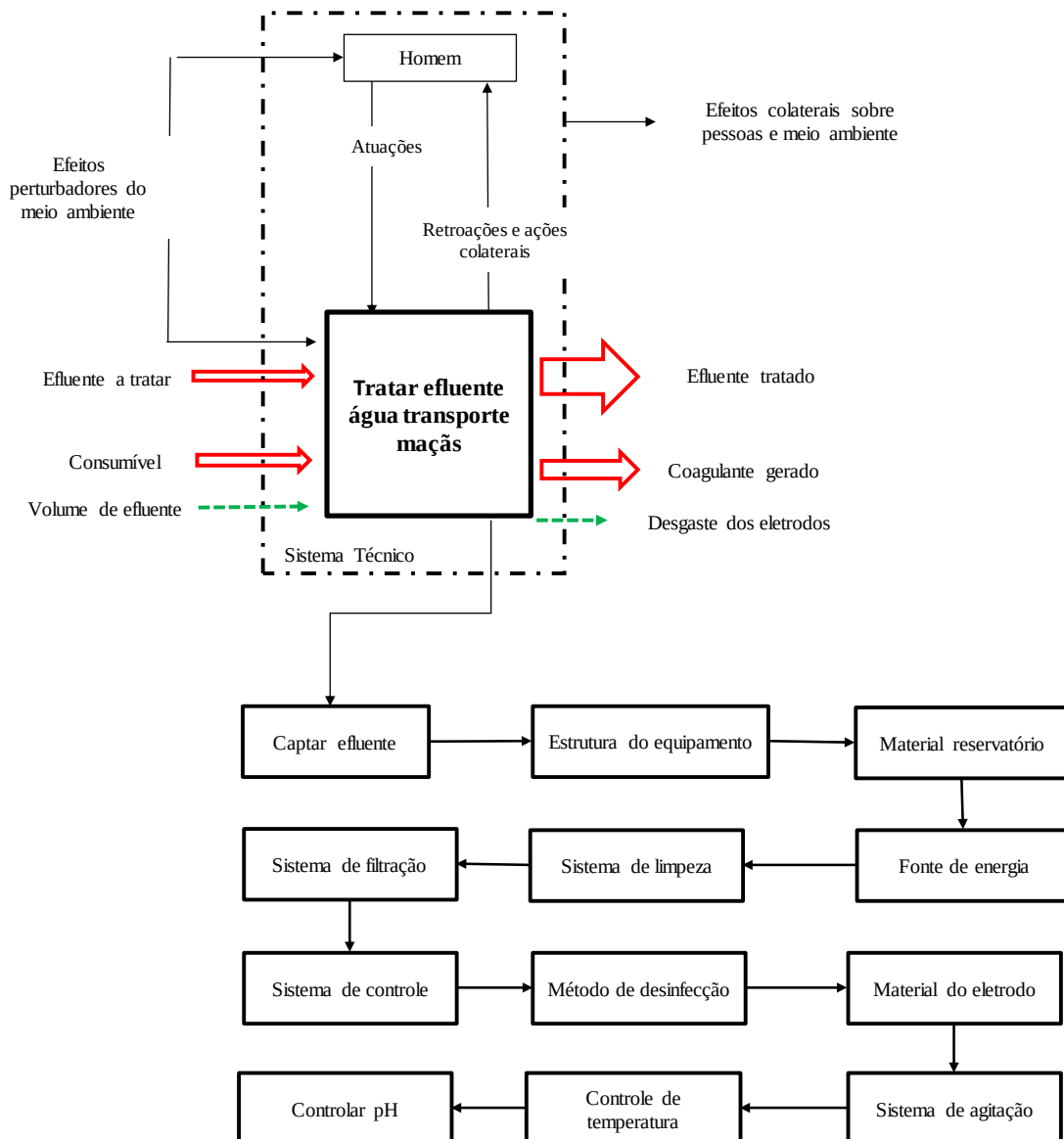


Figura 2 – Especificação da função global com suas fronteiras e subfunções do equipamento

Fonte: Autor (2019)

Como etapa posterior, para cada subfunção criada, atribui-se no mínimo duas soluções, as quais são reunidas em um Quadro 2 e ligadas entre si, formando assim uma lista de projetos conceituais para o equipamento em desenvolvimento. Para o projeto em desenvolvimento foram elaborados ao todo dez concepções, consideradas como sendo executáveis e que atenderiam a lista mestra de desenvolvimento do projeto.

Após realizar-se uma série de metodologias de avaliação quantitativa e qualitativa proposta por Pahl [30]. A concepção desenvolvida para o projeto deverá ser composta por uma bomba centrífuga que realizará a captação do efluente e destiná-lo ao reator eletrolítico, uma colmeia de eletrodo fabricados de alumínio e uma fonte com corrente contínua.

Concepções alternativas				
Sub Funções/ Componente	Solução			
	Descrição	A	B	C
1	Sistema de captação do efluente	 Bomba Centrífuga	 Bomba Submersa	 Bomba Pneumática
2	Estrutura do equipamento	 Alumínio	 Aço	
3	Material do reservatório	 Fibra	 Polipropileno	 Vidro
4	Fonte de energia	 Fonte chaveada	 Fonte regulável	
5	Sistema de limpeza	 Mecânico	 Pneumático	
6	Sistema de filtração	 Carvão Ativado	 Filtração por membrana	
7	Sistema de controle	Manual	 CLP	
8	Método de desinfecção	 Ultravioleta	 Cloração	Sem desinfecção
9	Material dos eletrodos	 Aço	 Alumínio	
10	Sistema de agitação	 Mecânica	 Pneumática	
11	Controle de temperatura	Sem	 Terno Par	
12	Controle do PH do efluente	Sem	 Com	

Quadro 2 – Processo de ligação entre funções para criação das concepções alternativa.

Fonte: Autor (2019)

Após a passagem pelo reator eletrolítico, o efluente será armazenado no decantador. Estes dois reservatórios serão confeccionados em polipropileno, sendo o efluente captado do decantador para o

sistema de filtração por membranas novamente por uma bomba centrífuga. No fundo do reator eletrolítico será instalado um agitador mecânico, que tem como objetivo aumentar a velocidade de aglutinação das partículas coloidais. O monitoramento da vazão será feito através de rotâmetros, nos quais estarão acoplados registros que farão a regulação da vazão.

O sistema de filtração por membranas deverá ser dimensionado para a vazão nominal do equipamento e prever a retrolavagem para a limpeza das membranas de filtração. Do sistema de filtração sairão dois tipos de efluentes, o tratado e o rejeito, sendo o tratado reintroduzido ao sistema de classificação de maçãs e o efluente rejeito reintroduzido no reator eletrolítico.

A estrutura deverá desenvolvida em alumínio e estar apoiada sobre rodízios, para facilitar a sua movimentação. O sistema de limpeza será composto por um motor de baixa potência, o qual acionará uma correia dentada, onde estará acoplada a lâmina de limpeza, a qual realizará a remoção da espuma gerada durante o processo.

Desenvolvimento do equipamento experimental

Conforme Back[3], a realização na fase do projeto preliminar de um protótipo tem como intuito a realização de uma análise técnica e econômica, avaliando os pontos fortes, fracos, necessidades de melhoria do produto e processo de manufatura. Sendo assim, decidiu-se pela elaboração customizada do equipamento, apresentado nas Figuras 3 e 4.

Nesta proposta de customizada do projeto, buscou-se a utilização de equipamentos e materiais disponíveis de baixo custo para a construção de um protótipo que siga as linhas gerais definidas no projeto conceitual, trabalhando com vazões mais baixas e volume de efluente a tratar menor.

O equipamento desenvolvido experimentalmente (Figuras 3 e 4) é composto por:

- a) Dois reservatórios confeccionados utilizando-se bombonas de plástico com capacidade de 60 l cada, um sendo o reator eletrolítico e outro o decantador;
- b) Uma colmeia de eletrodo fabricado em alumínio, sendo as placas interligadas em série, com massa de 5.5 kg e 0,84m² de área;
- c) Uma fonte inversora de solda, responsável pelo fornecimento de corrente aos eletrodos, com variação de 0 a 200 A, sendo a tensão escrava da corrente;
- d) Um filtro de membrana com malha de 1 micra;
- e) Um rotâmetro com capacidade de medição de 100 l/h a 1200 l/h;
- f) Tubulação em pvc rígido e mangueiras flexíveis;
- g) Dois registros para ajuste das vazões;
- h) Duas bombas centrífugas.

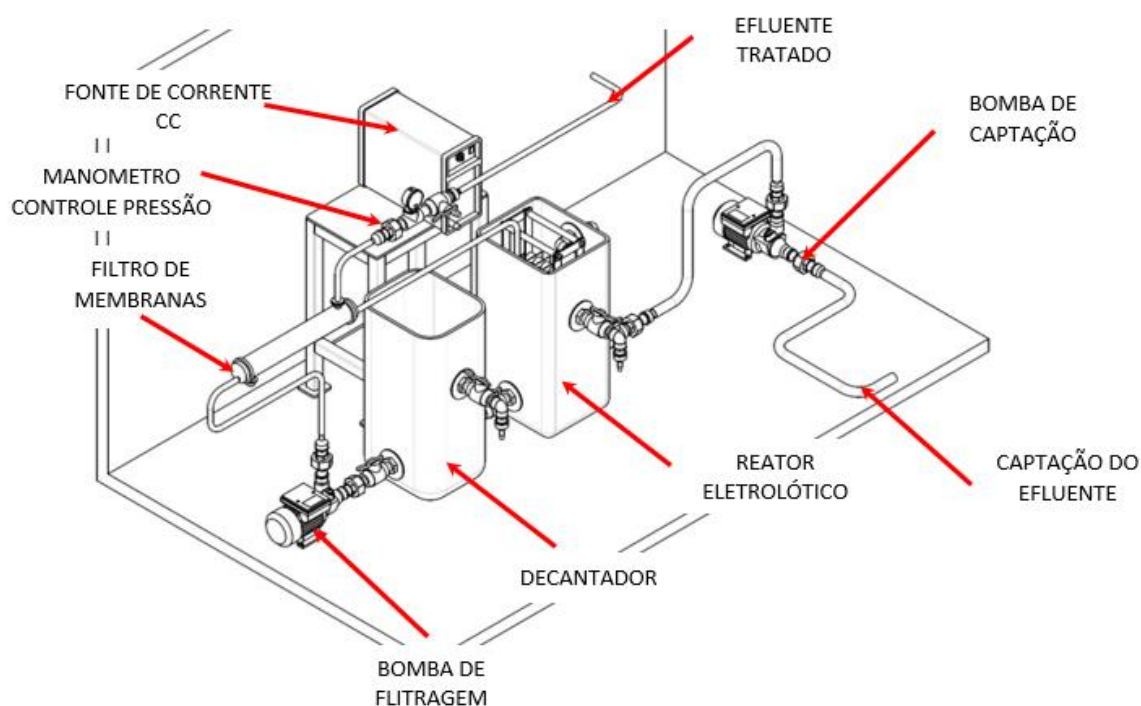


Figura 3 – Vista isométrica projeto experimental

Fonte: Autor (2019)

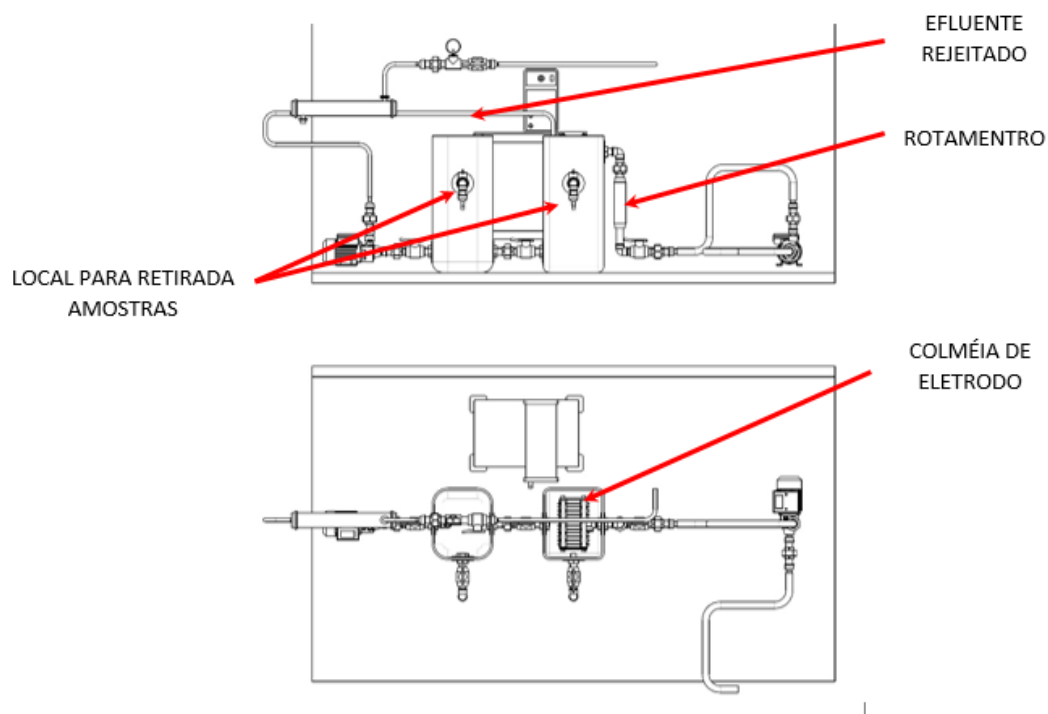


Figura 4 – Vista frontal e superior do projeto experimental

Fonte: Autor (2019)

Ensaaios com equipamento experimental em campo

Os ensaios em campo tiveram como objetivo a verificação da eficácia da aplicação da metodologia de projeto, na elaboração do equipamento experimental, determinar se as variáveis de controle do processo são as mais adequadas par ao monitoramento e determinar a eficácia do processo.

Condições gerais dos ensaios e caracterização do efluente bruto

As condições encontradas no dia do ensaio foram consideradas ideais, o efluente a ser ensaiado estava para ser descartado, uma vez que não apresentava aspecto visual adequado, tendo alta turbidez e cor. Este efluente estava em seu quinto dia de residência no processo e conforme Basso [6] e Baltar [4], o tempo máximo de permanência deste efluente é de sete dias.

A caracterização da amostra da água bruta apresentou os resultados apresentados na Tabela 2. Os valores de cor e turbidez medidos atestaram a condição visual negativa do efluente, assim como apresenta uma carga orgânica (DQO) alta.

Caracterização água bruta	
Item	Valor
Aspectos primários (Visual)	
Trubidez (NTU)	66
Cor (HANZEN)	25
Aspectos secundários	
Ph	7,7
Condutividade elétrica ($\mu S/cm$)	937.4
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	1,6
DQO (mg/L)	429,392

Tabela 2 - Caracterização da água bruta

Fonte: Autor (2019)

Eficiência de tratamento do equipamento piloto

As amostras caracterizadas foram analisadas comparando-se o tempo de processo e as condições de ensaio. Os resultados visuais obtidos na primeira hora de ensaio foram considerados positivos, sendo possível ver, que tanto no reator eletrolítico quanto no decantador, a formação de flocos de material coloidal. No reator eletrolítico houve formação de duas fases, tendo material floculado e decantado. No decantador houve a presença de material decantando apenas. Em ambos

houve uma significativa melhora na turbidez e cor do efluente. Já a amostra do efluente filtrado, apresentou aspecto visual excelente.

Avaliação dos aspectos visuais do efluente tratado (cor e turbidez)

O resultado do ensaio de turbidez (Figura 5) indica uma alta eficiência do processo, atingindo uma média de 96,4% na redução da turbidez nas duas condições de testes realizados. Em ambas as condições de ensaio houve um aumento do valor da turbidez na segunda hora de ensaio. Tal condição ocorre devido à grande formação de material aglutinado. Este fenômeno nos demonstrou a eficiência do processo eletrolítico na produção de coagulante em um tempo de residência muito baixo. Este tempo reduzido acaba por encaminhar uma quantidade maior de material aglutinado ao filtro de membranas. Mesmo com esta carga maior no filtro de membranas, obteve-se uma alta eficiência no processo.

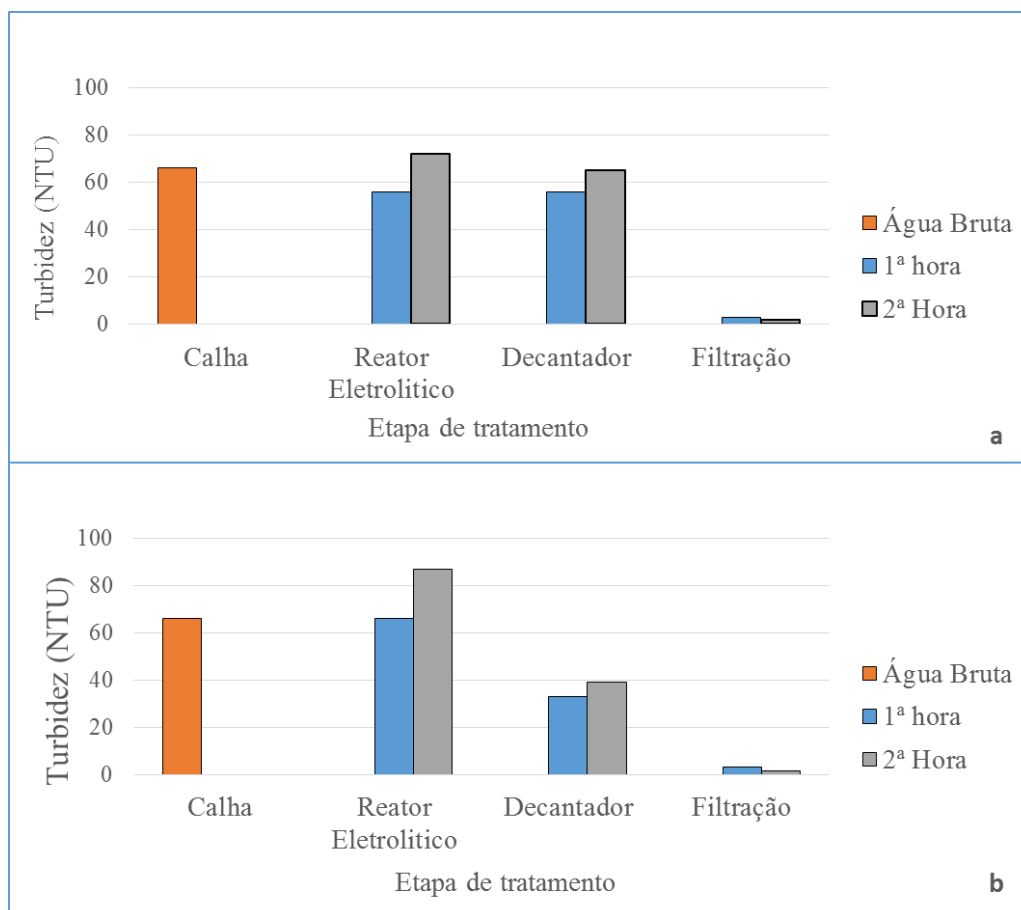


Figura 5 – Eficiência do equipamento piloto na remoção de turbidez

Legenda: a) Vazão de 250l/h e intensidade de corrente de 80A; b) Vazão de 150l/h e intensidade de corrente de 60A.

Fonte: Autor (2019)

Ao analisar o efluente filtrado, em ambas as condições de ensaio, observam-se resultados similares, o que indica que o agente coagulante é suficiente para o processo, porém acabará por levar a uma taxa de saturação mais rápida do filtro de membrana em função do tempo de residência muito baixo.

A redução de cor obteve uma eficiência média de 70% no processo (Figura 6), observa-se um aumento da cor no reator eletrolítico, tal situação ocorre devido a formação e arraste de material aglutinado. A presença de um segundo decantador resolveria este problema, porém o resultado encontrado evidencia a eficiência deste equipamento. Este comportamento nos indica também a necessidade de retirada do material flotado e/ou decantado do reator eletrolítico.

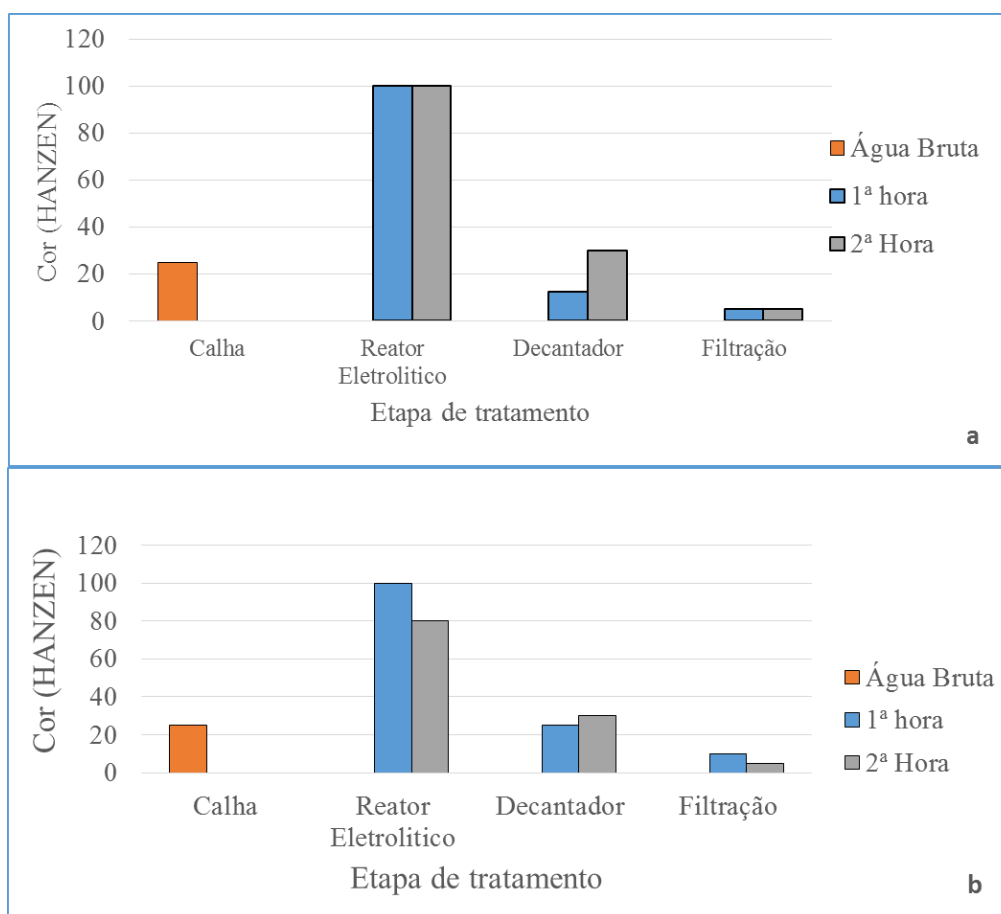


Figura 6 - Eficiência do equipamento piloto na remoção de cor

Legenda: a) Vazão de 250l/h e intensidade de corrente de 80A; b) Vazão de 150l/h e intensidade de corrente de 60A.

Fonte: Autor (2019)

Ao analisar o efluente filtrado, em ambas as condições de ensaio, observam-se resultados similares, o que indica que o agente coagulante é suficiente para o processo, porém acabará por levar a uma taxa de saturação mais rápida do filtro de membrana em função do tempo de residência muito baixo. A redução de cor obteve uma eficiência média de 70% no processo (Figura 6), observa-se um

aumento da cor no reator eletrolítico, tal situação ocorre devido a formação e arraste de material aglutinado. A presença do decantador resolveu este problema, evidenciado na eficiência deste equipamento. Este comportamento indica a necessidade de retirada do material flotado e/ou decantado do reator eletrolítico.

Avaliação dos parâmetros secundários de caracterização do efluente

O pH caracterizado nas amostras do efluente, mesmo apresentando uma pequena variação entre as etapas, manteve-se numa condição de um efluente de pH básico, aproximando-se de valores de neutro. Essa condição, conforme ESSADKI [12] favorece na remoção da DQO e turbidez do efluente. A condutividade elétrica apresentou valores similares em todas as etapas do processo de tratamento.

Como apresentado nos resultados dos ensaios de cor e turbidez, observa-se uma ótima redução nos sólidos sedimentáveis, inclusive entre os estágios do tratamento, sendo eliminado totalmente no processo de filtração. O equipamento obteve uma eficiência de 100% na remoção de sólidos sedimentáveis após o processo de filtração por membranas.

O ensaio de DQO apresentou uma eficiência média de 59,5%. O valor final encontrado nas duas condições de ensaio, nos mostram que a eletrólise seguida filtração produzem uma queda na DQO, porém a mesma permaneceu no efluente tratado. Isto poderia ao longo do tempo se tornar uma fonte de nutrientes para fungos. Conforme Carpes [9], fungos e microrganismos são eliminados pelo processo de eletrólise seguido de microfiltração, portanto esta preocupação pode ser minimizada. Esta carga orgânica pode estar associada a material solúvel, como açúcares de baixo peso molecular (frutose e sacarose). Um fato que sustenta esta hipótese é a baixa eficiência da microfiltração, não sendo capaz de remover DQO além do processo eletrolítico.

Considerações Finais

A utilização de uma metodologia específica para o desenvolvimento do projeto se mostrou como uma ferramenta eficiente para a organização e gerenciamento do processo criativo, conduzindo todas as ações do projeto a um fim comum, o atendimento da função global do equipamento. Ao final da aplicação da metodologia obteve-se o projeto conceitual de um equipamento capaz de testar todos os requisitos e variáveis envolvidas no processo e necessários para a construção de um equipamento em escala industrial. Também auxiliou para a determinar as variáveis a serem aplicadas no equipamento experimental desenvolvido, ao qual teve uma simplificação em relação ao projeto conceitual.

O equipamento experimental composto por tratamento eletrolítico seguido de microfiltração foi capaz de melhorar a qualidade da água de transporte da maçã, para possibilitar o reúso direto no processo fabril, contribuindo desta forma para a sustentabilidade hídrica da indústria da maçã.

Referências

- [1] ANTONIOLLI, L. R. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Embrapa Uva e Vinho. Circular Técnica 94: Ocorrência de dano mecânico por impacto nas operações de colheita e pós-colheita de maçãs. Bento Gonçalves – RS, versão eletrônica ISSN 1808-6810, 2012.
- [2] APHA.AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 ed. Washington: IWWA, 2012.
- [3] BACK, N. 2008. Metodologia de projetos de produtos industriais. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 389 p.
- [4] BALTAR, A. A. S. Tratamento físico-químico para água residuária da classificação de maçãs. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental), Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEAR), Universidade de Passo Fundo (UPF), Passo Fundo – RS, 2015.
- [5] BAGGA, A.; CHELLAM, S.; CLIFFORD, D. A. Evaluation of iron chemical coagulation and electrocoagulation pretreatment for surface water microfiltration. Journal of Membrane Science, v. 309, p. 82-93, 2008.
- [6] BASSO, D. E. Avaliação do controle de fungos no sistema de tratamento de água do processamento de maçãs. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental), Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEAR), Universidade de Passo Fundo (UPF), Passo Fundo – RS, 2015.
- [7] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento (MAPA). Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal – DIPOA. Portaria nº. 368 de 04 de setembro de 1997. Regulamento técnico sobre as condições higiênico - sanitárias e de boas práticas de elaboração para estabelecimentos elaboradores/industrializadores de alimentos. Brasília – DF, 1997. Disponível em: <http://www.diariodasleis.com.br/busca/exibelink.php?numlink=1-7729-1997-09-04-368>. Acesso em: 15 de setembro de 2019.
- [8] CAN, O. T. COD Removal from fruit-juice production wastewater by electrooxidation electrocoagulation and electro-Fenton processes. Desalination and Water Treatment, v. 52, p. 65-73, 2014.
- [9] CARPES, Vanessa Carpes. Sistema híbrido de eletrólise e microfiltração para o tratamento de água de processamento de maçãs. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo 2017.
- [10] CHEN, G. Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology, v. 38, p. 11-41, 2004.
- [11] CHENG, M.L.; HO, H.-Y.; HUANG, Y.-W.; LU, F.-J.; CHIU, D. T.-Y. Humic acid induces oxidative DNA damage, growth retardation, and apoptosis in human primary fibroblasts. Experimental Biology and Medicine, v. 228(4), p. 413-423, 2003.

- [12] ESSADKI, A. H. et al. Electrocoagulation/electroflotation in an external loop airlift reactor – Application to the decolorization of textile dye wastewater: A case study. *Chemical Engineering and Processing* (2007).
- [13] FENG, C.; SUZUKI, K.; ZHAO, S.; SUGIURA, N.; SHIMADA, S.; MAEKAWA, T. Water disinfection by electrochemical treatment. *Bioresource Technology*, v. 94, p. 21-25, 2004.
- [14] GARCÍA-MONTOYA, M. F.; GUTIÉRREZ-GRANADOS, S.; ALATORRE-ORDAZA, A.; GALINDO, R.; ORNELAS, R.; PERALTA-HERNÁNDEZ, J. M. Application of electrochemical/BDD process for the treatment wastewater effluents containing pharmaceutical compounds. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 31, p. 238-243, 2015.
- [15] GAMAGE, N. P.; CHELLAM, S. Aluminum electrocoagulation pretreatment reduces fouling during surface water microfiltration. *Journal of Membrane Science*, v. 379, p. 97-105, 2011.
- [16] GIRARDI, C. L.; SANHUEZA, R. M. V.; BENDER, R. J. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Embrapa Uva e Vinho. Circular Técnica 31: Manejo Pós-Colheita e Rastreabilidade na Produção Integrada de Maçãs. Bento Gonçalves – RS, versão eletrônica: ISSN 1516-5914, 2002. Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/circular/cir031.pdf>>. Acesso em 03 de outubro de 2015.
- [17] GÓMEZ-LÓPEZ, V.; GOBET, J.; SELMA, M. V.; GIL, M. I.; ALLENDE, A. Operating conditions for the electrolytic disinfection of process wash water from the fresh-cut industry contaminated with *E. coli* o157:H7. *Food Control*, v. 29, p. 42-48, 2013.
- [18] HortifrutiBrasil, Edição Especial – Ano 17, nº185 – Dez/2018 - Jan/2019 - ISSN 1981-1837. Anuário 2018 - 2019. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/anuario-2018-2019.aspx>. Acessado em setembro de 2019.
- [19] HENQUÍN, E. R.; COLLI, A. N.; BERGMANN, M. E. H.; BISANG, J. M. Characterization of a bipolar parallel-plate electrochemical reactor for water disinfection using low conductivity drinking water. *Chemical Engineering and Processing*, v. 65, p. 45-52, 2013.
- [20] JIN, Z.; GONG, H.; WANG, K. Application of hybrid coagulation microfiltration with air backflushing to direct sewage concentration for organic matter recovery. *Journal of Hazardous Materials*, v. 283, p. 824-831, 2015.
- [21] KIST, B. B. et al. Anuário brasileiro da maçã 2015. Santa Cruz do Sul – RS: Editora Gazeta Santa Cruz, 72 p., 2015.
- [22] KOVALESKI, A.; RIBEIRO, L. G. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Embrapa Uva e Vinho. Circular Técnica 34: Manejo de Pragas na Produção Integrada de Maçãs. Bento Gonçalves – RS, versão eletrônica: ISSN 1516-5914, 2002. Disponível em: <http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/circular/cir034.pdf>. Acesso em: 05 de outubro de 2015.
- [23] LIU, T.; CHENA, Z.-L.; YU, W.-Z.; SHEN, J.-M.; GREGORY, J. Effect of two-stage coagulant addition on coagulation ultrafiltration process for treatment of humic-rich water. *Water Research*, v. 45, p. 4260-4268, 2011.

- [24] LUU, T. L.; KIM, J.; YOON; J. Physicochemical properties of RuO₂ and IrO₂ electrodes affecting chlorine evolutions. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 21, p. 400-404, 2015.
- [25] MATILAINEN, A.; VEPSÄLÄINEN, M.; SILLANPÄÄ, M. Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 159, p. 189-197, 2010.
- [26] MEHRPARVAR, A.; RAHIMPOUR, A.; JAHANSHAHI, M. Modified ultrafiltration membranes for humic acid removal. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, v. 45, p. 275-282, 2014
- [27] MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems*, v. 15, n. 3, p. 401–415, 2012.
- [28] MOOK, W.T.; AROUA, M. K.; ISSABAYEVA, G. Prospective applications of renewable energy based electrochemical systems in wastewater treatment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 38, p. 36-46, 2014.
- [29] MOLLAH, M. Y. A.; MORKOVISKY, P.; GOMES, M. K.; KESMEZ, M.; PARGA, J.; COCKE, D. L. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, v. B114, p. 199-210, 2004.
- [30] PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang; FELDHUSEN, Jörg; GROTE, H.Karl. *Projeto na Engenharia*. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.
- [31], PALANIVELU, K. Electrochemical treatment of industrial wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, v. B113, p. 123-129, 2004.
- [32] SANHUEZA, R. M. V. Desinfecção de água e das câmaras frigoríficas para diminuição do inóculo de *Penicillium expansum*. Pelotas – RS: Embrapa Clima Temperado, 1991. 20 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 21).
- [33] SÄRKKÄ, H.; VEPSÄLÄINEN, M.; SILLANPÄÄ, K. Natural organic matter (NOM) removal by electrochemical methods – A review. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, v. 755, p. 100-108, 2015.
- [34] SILLANPÄÄ, M.; NCIBI, M.C.; MATILAINEN, A.; VEPSÄLÄINEN, M. Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. *Chemosphere*, v. 190, p. 54-71, 2018
- [35] SIMIONI, F. J., PEREIRA, L. B. Cadeia agroindustrial da maçã: uma análise da estrutura de governança sob a ótica da economia dos custos de transação. In: XLII CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 2004, Cuiabá - MT. Cuiabá (MT): SOBER, 2004.
- [36] TANNERU, C. T.; CHELLAM, S. Mechanisms of virus control during iron electrocoagulation e microfiltration of surface water. *WaterResearch*, v. 46, p. 2011-2120, 2012
- [37] WANG, X.; LI, B. Q.; ZHAI, H. L.; XIONG, M. Y.; LIU, W. An efficient approach to the quantitative analysis of humic acid in water. *Food Chemistry*, v. 190, p. 1033-1039, 2016.
- [38] WENG, Y. H; LIA, K. C.; CHAUNG-HSIEH, L. H.; HUANG, C. C. Removal of humic substances (HS) from water by electro-microfiltration (EMF). *Water Research*, v. 40, p. 1783-1794, 2006.

- [39] XIAO, P.; XIAO, F.; ZHANG W.; ZHAO, B.; WANG, D. Insight into the combined colloidal-humic acid fouling on the hybrid coagulation microfiltration membrane process: The importance of aluminum. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, v.461, p. 98-104, 2014.
- [40] ZHU, B.; CLIFFORD, D. A.; CHELLAM, S. Virus removal by iron coagulation microfiltration. *Water Research*, v. 39, p. 5153-5161, 2005.
- [41] YAN, T.; YE, Y.; MA, H.; ZHANG, Y.; GUO, W.; DU, B.; WEI, Q.; WEI, D.; NGO, H.H. A critical review on membrane hybrid system for nutrient recovery from wastewater. *Chemical Engineering Journal*, v. 348, p. 143–156, 2018.
- [42] YANG, T.; QUIAO, B.; LI, G. C.; YANG, Q. Y. Improving performance of dynamic membrane assisted by electrocoagulation for treatment of oily wastewater: Effect of electrolytic conditions. *Desalination*, v. 363, p. 134-143, 2015.