

Estado da publicação: O preprint não foi submetido para publicação

# CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE APARELHO DE DESTILAÇÃO DIDÁTICO: UMA PROPOSTA COMO TEMA GERADOR PARA O ENSINO-APRENDIZAGEM

Adriano Ribeiro Pereira, Carlos Eduardo Crestani

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4979>

Submetido em: 2022-11-01

Postado em: 2025-03-13 (versão 2)

(AAAA-MM-DD)

Justificativa da versão: Atualização de referência bibliográfica citada

## CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE APARELHO DE DESTILAÇÃO DIDÁTICO: UMA PROPOSTA COMO TEMA GERADOR PARA O ENSINO-APRENDIZAGEM

ADRIANO RIBEIRO PEREIRA<sup>1</sup>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9547-0539>  
<[adriano.pereira44@etec.sp.gov.br](mailto:adriano.pereira44@etec.sp.gov.br)>

CARLOS EDUARDO CRESTANI<sup>2</sup>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7317-4683>  
<[ccecrestani@ifsp.edu.br](mailto:ccecrestani@ifsp.edu.br)>

<sup>1</sup> Escola Técnica Estadual Dr. José Luiz Viana Coutinho – ETEC. Jales, SP, Brasil.

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP. Rua Stéfano D'avassi, 625. Matão, SP, Brasil.

**RESUMO:** A proposta de ensino-aprendizagem descrita nesse trabalho pretende mobilizar habilidades e competências por meio de experimento gerador de práticas vivenciadas pelos estudantes. A operação de colunas didáticas de destilação e retificação de etanol como ferramenta pedagógica, aumenta a possibilidade de aprendizado, já que o estudante perceberá o processo análogo ao industrial usando todos os seus órgãos do sentido. Segundo os pensadores Piaget, Vygotsky, Morin, Charlot e Freire, o ensino através do trabalho em equipe, operação manual de equipamentos e aplicação no meio produtivo, objetiva uma ação fortemente geradora de aprendizado, com potencial mitigador da frustração dos estudantes, englobando além da formação técnica a formação humana e social. A agroindústria sucroenergética é um setor que necessita cada vez mais de profissionais com formação técnica específica. É proposta, então, a construção do aparelho didático supracitado, a partir de latas de atum, tubos de cobre, painéis de pressão, canos de PVC, conexões de latão, válvulas de retenção, termômetros digitais, manômetros analógicos, bomba d'água, cola epóxi, isolantes térmicos, mangueiras de silicone, estante para suporte das colunas e acessórios, fogareiro a gás GLP, entre outros componentes. A pretensão foi construir a coluna de destilação didática o mais semelhante possível dos destiladores clássicos industriais, com seus trocadores de calor, regeneradores, reservatórios, etc, além dos componentes internos das colunas como vertedores, barragens e borbulhadores. O manual de funcionamento do destilador, suas limitações tecnológicas e exemplos de atividades em uma sequência didática, são ferramentas adicionais que ajudam na incorporação de habilidades e competências inerentes ao processo industrial.

**Palavras-chave:** ensino, aprendizagem, coluna, destilação, etanol hidratado.

### CONSTRUCTION AND OPERATION OF DIDACTIC DISTILLATION APPLIANCE: A PROPOSAL AS A GENERATING THEME FOR TEACHING-LEARNING

**ABSTRACT:** The teaching-learning proposal described in this work intends to mobilize skills and competencies through an experiment that generates practices experienced by students. The operation of didactic columns of ethanol distillation and rectification as a pedagogical tool increases the possibility of learning since the student will perceive the process as analogous to the industrial one using all his sense organs. According to thinkers Piaget, Vygotsky, Morin, Charlot, and Freire, teaching through teamwork, manual operation of equipment, and application in the production environment, aims at a strongly generating action of learning, with the potential to mitigate students' frustration, encompassing beyond the technical training human and social training. The sugar-energy agribusiness is a sector that increasingly needs professionals with specialized training. The construction of the aforementioned didactic device is proposed, then, from tuna cans, copper tubes, pressure cookers, PVC pipes, brass connections, check valves, digital thermometers, analog pressure gauges, water pump, epoxy glue, thermal insulation, silicone

hoses, shelf to support columns and accessories, LPG gas stove, among other components. The intention was to build the didactic distillation column as similar as possible to the classic industrial distillers, with their heat exchangers, regenerators, andoires, in addition to the internal components of the columns such as spillways, dams, and bubblers. The distiller's operating manual, its technological limitations, and examples of activities in a didactic sequence are additional tools that help in the incorporation of skills and competencies inherent to the industrial process.

**Keywords:** teaching, learning, column, distillation, hydrated ethanol.

## 1. Introdução

O tema desta pesquisa é a produção de material didático de laboratório para aulas práticas experimentais. As pesquisas acadêmicas no campo da educação relacionadas à metodologia de ensino, produção de material didático, novas tecnologias no processo ensino e aprendizagem entre outras linhas de pesquisa, vem ganhando cada vez mais espaço nas escolas, institutos e universidades proporcionando uma melhoria no conhecimento acadêmico associada a experiência de trabalho de campo.

É inquestionável que a busca pela aprendizagem esteja intrinsecamente ligada a um ensino de práticas concretas e reais. A incorporação dos conhecimentos presentes nos livros didáticos e apostilas é muito mais eficiente na medida em que se faz trabalho manual com ferramentas que simulem em pequena escala processos industriais ou qualquer outro fenômeno de interação homem-ambiente.

O interesse por esse tema é desenvolver ferramentas práticas, para fins didáticos de aprendizagem, relacionadas à área química com ênfase no processo de produção de Etanol Hidratado, EH, assunto já estudado de forma teórica em termos de história da ciência (ANDRADE e SILVA, 2018), educação ambiental (GARCIA et al. 2019) e via software (PEREIRA et al. 2022), e na prática em uma aplicação mais simples para ensino de mudanças de fase da água no ensino médio (KREMER et al. 2022). Com uma visão mais moderna encontram-se estudos envolvendo metodologias ativas de instrução por pares (PEREIRA et al., 2021) e aprendizado baseado em projetos (CRESTANI e BENDER, 2023).

A oferta de ensino público, gratuito e de qualidade é uma exigência social e um marketing para instituição de ensino. A busca por melhor avaliação do curso, aumento da relação candidato/vaga, diminuição da evasão e retenção escolar, redução de conceitos insatisfatórios, bem como cumprimentos de metas de coordenação e supervisão, entre outras, são fatores extremamente importantes e que podem ser minimizados através de um ensino com aprendizagem significativa.

A falta de recursos financeiros, ausência de políticas educacionais consistentes na educação pública ou mesmo desinteresse por parte dos agentes públicos que trabalham nas secretarias de educação, autarquias de ensino técnico e instituição de ensino, são algumas das situações encontradas no dia-a-dia da educação básica nacional. Essas já são endógenas no sistema educacional brasileiro e se faz necessário buscar outras possibilidades para minimizar esses impactos negativos.

O grande mestre Paulo Freire, autor da obra mundialmente conhecida *Pedagogia do Oprimido*, acreditava que o educador deve se comportar como um provocador de situações, um animador cultural em um ambiente em que todos aprendem em comunhão (PELLEGRINI, 2011). Para ele, educar é um ato de conhecimento da realidade concreta das situações vividas, um processo de aproximação crítica da própria realidade (TOZONI-REIS, 2006).

O educador Paulo Freire diz que a busca pelo conteúdo programático de educação “[...] é o que inaugura o diálogo da educação como prática da liberdade. É o momento em que se realiza a investigação do que chamamos de universo temático do povo ou o conjunto de seus temas geradores” (FREIRE, 1987, p.50)

A partir dessas ideias e de vários outros pensadores como Piaget, Vygotsky, Morin, Charlot, chegou-se a um consenso, no qual o estudante deve ser protagonista do seu próprio desenvolvimento, para tanto a prática pedagógica deverá ter como ferramenta básica a construção de habilidades, atitudes e competências. Dessa forma, essas ferramentas devem organizar o processo de aprendizagem privilegiando a utilização de projetos, problemas e/ou questões geradoras que orientem e estimulem a investigação, o pensamento e as ações assim como, a solução de problemas.

Assim, houve a necessidade de se adaptar materiais para que utilizassem metodologias do aprendizado por competências e habilidades, e procurassem abordagens multi e interdisciplinar de fenômenos da natureza e do sistema produtivo, mas como se trata de uma quebra de paradigmas tanto para professores quanto para estudantes, essas mudanças tornaram-se um desafio.

O desafio desse trabalho é adaptar materiais ou ferramentas que utilizem metodologias para o aprendizado, capazes de interiorizar nos alunos tais competências e habilidades. Assim, o objetivo é a construção de colunas de destilação e retificação de etanol hidratado combustível, que sejam o mais parecido possível com o equipamento clássico encontrado nas destilarias do setor sucroenergético nacional. Logo, através do consenso entre os estudantes e o educador, iniciar a operação das colunas de destilação didática para produção de Etanol Hidratado Combustível EHC, como metodologia geradora de aprendizado.

## 2. Desenvolvimento

### 2.1 A proposta de ensino-aprendizagem

É observado entre educadores e estudantes que a experimentação científica, como trabalho manual, exerce ação que possibilita e auxilia os estudantes a compreender e superar interpretações exclusivamente empíricas sobre as relações entre natureza, ser humano e tecnologias existentes em seu cotidiano.

No andamento das atividades técnico-científicas em cursos técnicos de nível médio, fica amplamente evidenciada a preferência dos estudantes pelas aulas práticas em detrimento às teóricas, o trabalho coletivo na elaboração e/ou operação de um experimento técnico-científico proporciona atividade indutiva que fomenta a busca por fenômenos empíricos conclusivos.

A fase posterior ao estudo dos materiais e peças utilizadas na montagem do experimento, nesse caso, a coluna de destilação de Etanol Hidratado (EH), iniciam-se os testes de operação da coluna e discussões na busca por conclusões particulares dos fenômenos observados. O andamento dessas atividades experimentais proporciona aos estudantes serem os protagonistas do seu próprio desenvolvimento.

Para tanto, a adoção dessa prática pedagógica poderá ter como ferramentas básicas:

- a) a interiorização de habilidades, atitudes e competências;
- b) o aprendizado técnico-científico que consiste no processo industrial clássico estudado;
- c) a motivação por pesquisa, investigação de fenômenos e processos;
- d) o aprofundamento de laços de amizade;
- e) o fortalecimento pré-profissional em um ambiente de competição, na busca pela melhor eficiência, entre outros.

O objetivo geral é comprovar a eficácia do trabalho manual de operação de uma coluna de destilação didática, na interiorização de habilidades e competências inerentes ao processo industrial clássico de produção de EH.

Os objetivos específicos são:

- a) conhecer a composição química e as propriedades físico-químicas do fermentado de cana-de-açúcar, seja ele misto, caldo de cana ou melaço;
- b) compreender o processo de destilação do etanol como um fenômeno físico de separação de componentes em uma mistura e seus subprodutos;
- c) Identificar os nomes e as funções dos equipamentos: colunas, trocadores de calor e demais acessórios de um aparelho de destilação de EH;
- d) efetuar a construção e montagem a partir de peças e estruturas pré-montadas de uma coluna de destilação didática, similar a planta industrial de destilação de EH;
- e) após montagem, revisar todos os procedimentos de segurança e efetuar a partida e operação da coluna alimentada com solução hidroalcoólica 10% de etanol e funcionamento com vapor d'água direto;

f) controlar o processo de destilação durante seu funcionamento, quanto as variáveis vazão, pressão, temperatura e problemas operacionais;

g) analisar o destilado quanto a sua graduação alcoólica.

Em uma relação de conhecimento sobre o ensino-aprendizado, o suíço Jean W. F. Piaget, considerado um dos mais importantes pensadores do século XX, enfatiza o aprendizado por meio da interação com os objetos, e Lev S. Vygotsky, psicólogo Russo, pioneiro nos estudos relacionados às interações sociais, enfatiza que o desenvolvimento intelectual e o aprendizado ocorrem por meio da interação social. Outros dois grandes pensadores das últimas décadas, os franceses Edgar Morin e Bernard Charlot afirmam, respectivamente, que a educação deve favorecer a aptidão natural da mente em formular e resolver problemas com o livre exercício da curiosidade, e os indivíduos são sujeitos de sua própria história na medida em que sua relação com o saber, desperte o desejo de apreender o mundo (SANTOS e BARRA, 2012).

As ideias do brasileiro Paulo Freire e do russo Vygotsky para o processo de aprendizagem convergem na ação do professor como norteador da ação que possibilitará o desenvolvimento integral da pessoa. Portanto, partindo das afirmações dos pensadores Piaget, Vygotsky, Morin, Charlot e Freire entende-se que o desenvolvimento do aprendizado através do trabalho em equipe na operação manual de equipamentos industriais e sua aplicação no meio produtivo, tendo o professor como norteador dos objetivos é uma ação fortemente geradora de aprendizado (SANTOS e BARRA, 2012).

A abordagem dos conteúdos visando uma aplicação real na vida e trabalho dos estudantes é uma forma de cumprir o que diz a LDB (Leis de Diretrizes de Bases da Educação Nacional), pois o uso de tema gerador, segundo Paulo Freire, é uma metodologia libertadora da opressão, e que, por meio desta metodologia torna-se mais explícito a aquisição de competências e habilidades inerentes ao que a sociedade espera de um concluinte de curso técnico de nível médio.

O desejo de desenvolver um trabalho manual na operação e aplicação didática de aparelho de destilação, para obtenção de habilidades e competências no aprendizado da tecnologia de produção de etanol hidratado, não é justificada apenas pelos estudos dos cientistas citados no parágrafo anterior, mas na forma da lei (Lei federal nº 9.394, LDB) e de experiências com observações e análise de aprendizado dos alunos.

É fato que nas últimas décadas muitos dos jovens estudantes afirmaram não terem interesse ou não acharem importante ter habilidades e competências relacionadas à área de conhecimento da Química e Tecnologias relacionadas ao processo produtivo. Tais fatos, não ficam só no âmbito do ensino de Ciências Exatas e da Terra, aparece também em outras áreas específicas, como as disciplinas Matemática e Língua Portuguesa, pois é um fenômeno complexo de muitas variáveis e que pode mudar a visão do processo de ensino-aprendizagem da escola, do professor, do aluno, do sistema de ensino, e até a política educacional do país. O presente trabalho não pretende analisar o mérito da causa, mas sim, propor mecanismos de aprendizagens que possam vir a contribuir para melhorar a formação escolar dos cidadãos. Os títulos dos subtópicos devem vir alinhados à esquerda, e o negrito é o único recurso que deve ser utilizado para distingui-lo do restante do texto. Não numerar tópicos ou subtópicos.

### O tema gerador: contextualização

O tema gerador é um meio concreto e real. Ele é um ponto de partida para o aprendizado, podendo ser um setor importante da economia nacional, um fenômeno da natureza, a cozinha de nossa casa, o funcionamento do motor de um carro, o chá que se degusta no café da manhã, um processo industrial relevante para o modo de vida contemporâneo, entre muitos outros. O mais importante é ter o consenso dos estudantes sobre qual será o tema de estudo, suas especificidades, e até onde se pretende explorar para a apreensão de habilidades e competências inerentes ao aprendizado das ciências de interesse.

O educador Paulo Freire foi o arquiteto da metodologia dos temas geradores, pensada e executada na década de 1950. Segundo Freire, essa metodologia é um meio estratégico de conscientização da realidade opressora vivida nas sociedades desiguais, pois se trata de um ponto de partida para o

processo de construção da descoberta e oportunidade das pessoas se tornarem os protagonistas do seu aprendizado.

A decisão da escolha do tema gerador, como instrumento possibilitador de aprendizagem, ou seja, como mecanismo para contextualização de conceitos científicos é oriunda de uma mediação entre a responsabilidade do educador e o interesse do educando (FREIRE, 2011<sup>1,2</sup> apud SANTOS, 2015).

Tozoni-Reis (2006) cita que para Paulo Freire, educar é um ato de conhecimento da realidade concreta, das situações vividas, um processo de aproximação crítica da própria realidade. Os temas geradores são meios estratégicos para uma metodologia de conscientização, e que se torna um ponto de partida para o processo de construção da descoberta, com um aprendizado significativo e concreto para a vida dos educandos.

O grande mestre Paulo Freire acreditava que o educador deve se comportar como um provocador de situações, um animador cultural num ambiente em que todos aprendem em comunhão. Ele afirmava que ninguém ensina nada a ninguém e as pessoas não aprendem sozinhas (NOVA ESCOLA, 2001).

O termo contextualizar refere-se a uma estratégia fundamental para a construção de significados enraizados por meio do aproveitamento e da incorporação de relações vivenciadas e valorizadas no nosso meio (WARTHA; SILVA; BEJARANO, 2013). Também, podemos explicar a contextualização como uma ferramenta que traz significado aos conteúdos e que facilita o estabelecimento de ligações com outros campos de conhecimento (PCN+, 2002).

Os PCNEM (Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio) na área das Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, também citam que a interdisciplinaridade do aprendizado científico e matemático não dissolve nem cancela a indiscutível disciplinaridade do conhecimento, pois dentre muitas explicações é fato que o conhecimento científico, disciplinar é parte essencial da cultura contemporânea. Mesmo com tantas orientações e definições importantes por meio de documentos norteadores, o ensino de Química no ensino médio e técnico de nível médio ainda vem enfrentando problemas, principalmente com a dificuldade de aprendizagem e não compreensão dos conceitos químicos. Podemos dizer que tais fatos podem ter sua origem na ausência de contextualização dos conteúdos abordados, fato este que limita os educandos apenas à condição de memorizar conceitos (SANTOS 2015).

Ademais, ao longo de décadas, a química vem sendo ensinada nas escolas de educação básica com memorizações, fórmulas e conceitos logicamente organizados. Esta metodologia vem aos poucos sendo substituída por uma abordagem temática contextualizada e interdisciplinar, que possibilita aos estudantes ferramentas que possam levá-lo a participar ativamente da sociedade, utilizando seus conhecimentos em ciências para solucionar problemas sociais, desenvolvendo autonomia, valores e atitudes nas pessoas envolvidas. Assim o tema gerador proporciona mediante a contextualização de fenômenos e fatos sociocientíficos uma formação cidadã (SANTOS et al., 2010).

### A frustração dos estudantes

As frustrações dos estudantes quanto à instituição de ensino, curso técnico escolhido, o nível de conhecimento exigido nos conteúdos a serem estudados, a metodologia de ensino adotada pelos docentes no processo de ensino-aprendizagem, e sua própria vocação, podem ter múltiplas respostas. A partir de reflexões de quase duas décadas de docência, pode-se citar os fatores descritos abaixo, como algumas das possíveis respostas:

- a) a desestruturação familiar;
- b) o conflito de valores e ideais de vida entre gerações;
- c) a falta de emprego e o conformismo;
- d) a inversão de valores sociais e o não cumprimento de regras;

---

<sup>1</sup> FREIRE, Paulo. **Extensão ou comunicação?** 14 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2011.

<sup>2</sup> FREIRE, Paulo. **Educação como prática da liberdade.** 20. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2011.

e) a falta de condições de trabalho dos professores, devido a insuficiência de apoio por parte do Estado;

f) currículos extensos e muitas vezes desenvolvidos de forma superficial, sem observância das especificidades de cada aluno;

g) a desvalorização do trabalho docente, entre outros.

A partir de algumas das respostas ditas anteriormente, pode-se citar “a falta de condições de trabalho dos professores, devido à insuficiência de apoio por parte do Estado” e “currículos extensos e muitas vezes desenvolvidos de forma superficial, sem observância das especificidades de cada aluno”, como alguns dos fatores em que o professor será capaz de atuar e executar procedimentos didáticos que possam minimizá-los.

Uma forma de minimizar a falta de equipamentos didáticos convencionais é a adaptação desses a partir de materiais de baixo custo ou reciclável, objetivando a máxima relação de realidade entre o equipamento montado e o convencional utilizado no setor produtivo. Assim, espera-se que a abordagem dos conteúdos por meio de práticas experimentais (trabalho manual), tendo o professor como norteador do processo, possa vir a minimizar a frustração dos estudantes, proporcionando-lhes uma aplicação real na vida, no trabalho, instigando o trabalho em equipe, a criatividade, e o protagonismo como foco motivador e norteador da aprendizagem.

### O ensino-aprendizagem por habilidades e competências no âmbito educativo

Em 1990, na Tailândia, ocorreu a Conferência Mundial de Educação para Todos, nela foram definidos os quatro pilares da educação (aprender a conhecer, aprender a fazer, aprender a viver com os outros e aprender a ser) como meta norteadora da educação em todos os países signatários desse documento. Assim, fica evidente o quão complexo e amplo devem ser os objetivos da educação, o de englobar a formação humana e social de cada indivíduo, indo muito além do ensino de conteúdos de áreas de conhecimento.

Assim, o Brasil, como uma das nações signatárias, cria a Lei federal nº 9.394 (LDB: Lei de Diretrizes e Bases de Educação Nacional) publicada em Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Legislativo de 23 de dezembro de 1996, com publicação atualizada até março de 2017, com objetivo de alinhar a educação nacional atendendo aos quatro pilares da educação. E na Seção 1, p.27833 em seu artigo 1º, parágrafo 2º, dessa lei, decreta que a educação escolar deverá ser vinculada ao mundo do trabalho e à prática social.

A Resolução CNE (Conselho Nacional de Educação) /CEB (Câmara de Educação Básica) nº 2 publicada em Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo de 31 de janeiro de 2012, Seção 1, p.20, em seu artigo 4º, define e informa que as escolas que oferecem o ensino médio, etapa final da educação básica, devem estruturar seus projetos político-pedagógicos considerando as finalidades da Lei 9.394 (LDB). Ademais, a LDB atualizada até março de 2017, na seção IV-A, em seu artigo 36-B, inciso I e II, informa respectivamente que a educação profissional técnica de nível médio, deve ser articulada com o ensino médio e subsequente, em cursos destinados a quem já tenha concluído o ensino médio. Contudo, deve-se estabelecer a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática.

A Resolução CNE/CEB nº 2 citada no parágrafo anterior, também define em seu artigo 12º inciso 3º, alínea a) que a organização dos conteúdos, as metodologias e as formas de avaliação devem ser de tal forma que ao final do ensino médio o estudante demonstre domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna. E dessa forma entende-se que seja concomitante e/ou subsequente e necessária a educação profissional de nível médio.

As DCNEM (Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio) e PCNEM (Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio) em suas bases legais constituem um documento que estabelece os princípios da identidade, diversidade e autonomia, da interdisciplinaridade e da contextualização como princípios estruturantes do currículo, o qual é organizado por meio de competências e habilidades.

As Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Profissional Técnica de Nível Médio, parecer CNE/CEB nº 11/2012 e artigo 5º da Resolução CNE/CEB nº06/2012 dispõem a abordagem de ensino-aprendizagem por competências profissionais, associando-as a conhecimento e a saberes necessários ao exercício profissional e da cidadania, com base nos fundamentos científico-tecnológicos, sócio-históricos e culturais.

Dentre várias formas de se conceituar competência e habilidade, podemos definir competência como um conjunto de saberes, habilidades para solucionar desafios práticos ou teóricos, ou seja, propor solução aos desafios enfrentados. Já a habilidade pode ser entendida como a capacidade de saber fazer algo (SANTOS et al., 2010).

Como defende Freire (2004, p. 22), “(...) ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua produção ou a sua construção”. Analogamente como no pensamento freiriano, o ensino-aprendizagem no âmbito educativo da Educação Profissional Técnica de Nível Médio, define dentre outras, a necessidade de habilidades e competências, como processo que exercita o trabalho por meio de problemas, cria e desenvolve projetos com os alunos, busca saberes como recursos, a fim de mobilizá-los na integração, desenvolvimento e construção de um perfil profissional desejado.

Com relação às habilidades e competências profissionais a serem desenvolvidas com o tema “Construção e operação de uma coluna de destilação didática: uma proposta como tema gerador para o ensino-aprendizagem”, tem-se:

I- Habilidades:

- a) identificar as funções dos equipamentos e acessórios das operações e controle;
- b) identificar as características e propriedades dos álcoois produzidos;
- c) monitorar o processo de destilação;
- d) realizar análises para determinar grau alcoólico dos produtos dentro dos padrões ° INPM

(concentração na unidade % m/m).

II- Competências:

- a) monitorar e corrigir variáveis do processo;
- b) analisar e avaliar processo de destilação;
- c) interpretar a qualidade do efluente gerado frente aos padrões determinados pelos órgãos

de controle (CEEPEPS, 2015).

## 2.2 A agroindústria sucroenergética brasileira

De acordo com Nastari (2012), o setor sucroenergético no Brasil, consiste em todas as atividades agrícolas e industriais envolvidas com a produção de açúcar, bioetanol e bioeletricidade.

Nesta última década, este setor vem demonstrando elevado grau de sustentabilidade, sendo este percebido pela preservação de recursos naturais associados à produção de energia e alimento através da cana-de-açúcar.

Apesar da forte crise que o setor vem enfrentando nos últimos anos com o fechamento de várias usinas, ainda pode ser visto economicamente e socialmente estratégico para o desenvolvimento do Brasil. Mesmo em se tratando de uma monocultura, a cana-de-açúcar alimenta o único setor agroindustrial em que o Brasil tem domínio pleno da tecnologia, nos campos agrícola e industrial.

A história do setor é marcada por altos e baixos, podemos citar os 15 anos do Programa Nacional do Alcool (Proálcool) de 1975 a 1990 que foi um período muito fértil em pesquisas e desenvolvimento tecnológico relacionado ao setor que envolveu importantes universidades e institutos tecnológicos. Este período enraizou na cultura nacional, através do trabalho, emprego, inovação e pioneirismo a importância do setor para a economia regional. Logo após a total extinção do Proálcool e a crescente desconfiança quanto ao futuro do setor, este retoma fôlego em 2003 com o aumento do teor de etanol na mistura com gasolina e a nova demanda com carros bicombustíveis, os Flexfuel.

Nastari cita em 2012, que se tratando do campo econômico, a contribuição do setor tem sido expressiva, pelo seu enorme efeito multiplicador na economia. Nas regiões onde estão instaladas usinas e durante a safra são observados significativos incrementos financeiros na economia local.

Os números do setor no âmbito nacional são bastante expressivos. Segundo a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA, 2022) o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, etanol de cana-de-açúcar e açúcar do mundo. Também ocupa a segunda posição no ranking mundial na produção de bioetanol e atualmente detém 411 unidades produtoras em atividade no País (NOVACANA, 2022). Segundo dados do Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos, DIEESE de 30 de fevereiro de 2007, o setor sucroalcooleiro nacional fatura em suas atividades direta e indireta, aproximadamente 40 bilhões de reais por ano. Esse montante corresponde a aproximadamente 2,35% do PIB do país e emprega mais de 3,6 milhões de colaboradores de forma direta e indireta, também reúne mais de 72.000 agricultores (DIEESE, 2007).

### A matéria-prima açucarada, mosto e a composição do vinho

O etanol pode ser obtido por três diferentes vias, a destilação de líquidos alcoólicos, sintética e fermentativa. A via fermentativa, que consiste na fermentação de hidratos de carbono, açúcares da cana-de-açúcar e/ou melão é o processo mais utilizado no Brasil.

A cana-de-açúcar e o melão são classificados como matérias-primas açucaradas, do tipo mista, porque contêm sacarose (maior quantidade), glicose e frutose (em menores percentuais), ou seja, contêm açúcares diretamente fermentescíveis, os monossacarídeos e, açúcares indiretamente fermentescíveis, os dissacarídeos.

O processo de fermentação ocorre a partir do preparo do mosto, que pode ser de três tipos: caldo, melão e misto (melão e caldo). Independentemente do tipo de mosto, é necessário adequar o Brix (medida de concentração de sólidos dissolvidos em uma solução) entre 18° e 28° de forma a se obter um ART (concentração de Açúcares Redutores Totais) de 18%. Durante a fermentação, as leveduras, preferencialmente em processo de anaerobiose, “feito Pasteur” transformam açúcares em etanol em poucas horas de fermentação, em seguida efetua-se a centrifugação separando-se o vinho do leite de levedura, o qual, em geral, é tratado e retorna ao processo de fermentação. E o vinho é direcionado a uma dorna volante, onde aguardará o processo de destilação.

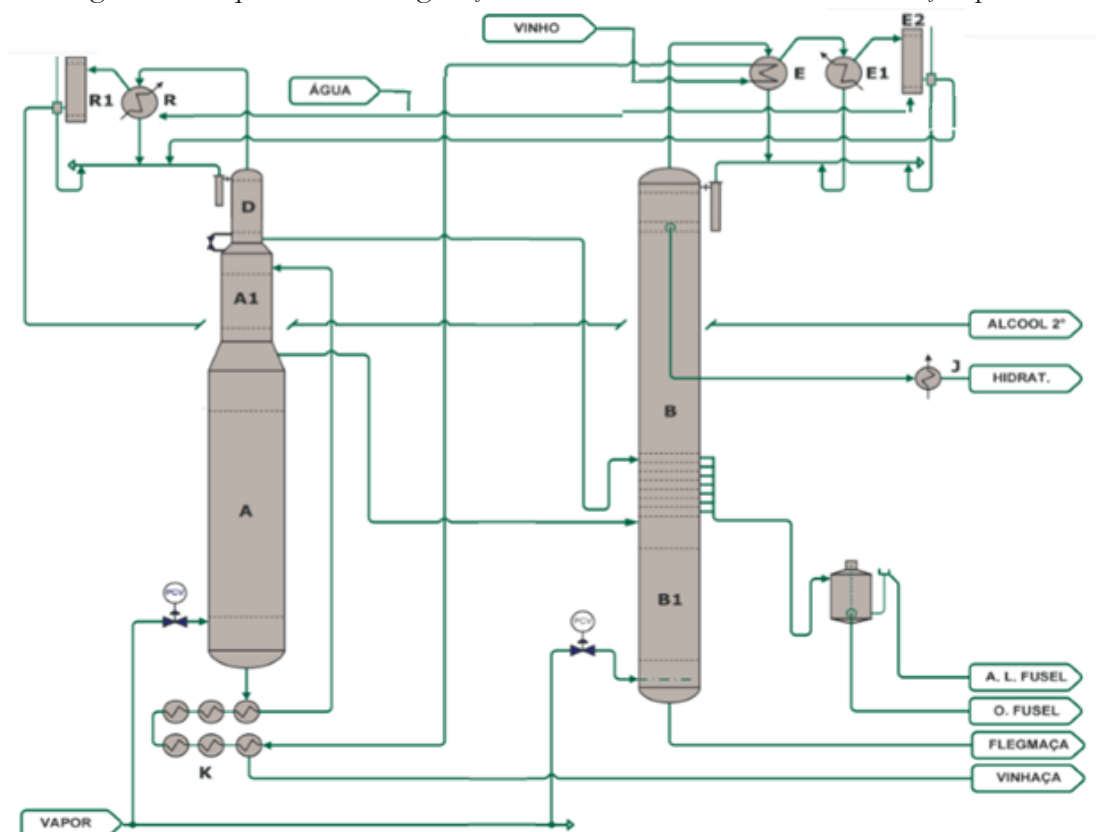
O vinho produzido pela fermentação do mosto de cana-de-açúcar é predominantemente constituído por água e etanol (7 a 11%), mas também contêm pequenas frações de outros componentes divididos nos estados sólido, líquido e gasoso. Segundo Meirelles (2006) a fração líquida também irá apresentar principalmente os álcoois metanol, propanol, isopropanol, butanol, isobutanol, álcool amílico, álcool isoamílico e glicerol; os aldeídos acetaldeído, butiraldeído e crotonaldeído; os ácidos carboxílicos, acético e propiônico; a cetona, propanona; os ésteres, etanoato de etila e butirato de etila; o éter, acetal. A fração sólida conterá bagacilho, levedura, bactérias, açúcares não fermentescíveis e não fermentados pelas leveduras, sais minerais, matérias albuminoides, etc. A fração gasosa apresentará principalmente dióxido de carbono e dióxido de enxofre (MADALENO, 2013).

### A destilação e retificação do EHC: descrição básica da coluna e acessórios clássicos

A destilação é um processo físico que se baseia no princípio da diferença de volatilidade dos componentes em uma mistura. Na destilação do vinho, o objetivo principal é recuperar o álcool obtido na fermentação do mosto, assim, ela consiste basicamente em um processo de separação e pode ser denominada concentração ou purificação (MADALENO, 2013).

De acordo com o esquema ilustrado na Figura 1, e a partir das explicações de Jardim (2014), Lora e Venturini (2012) e LIMA, et al. 2001, tem-se a configuração das cinco colunas: colunas de destilação A, A1 e D, e de retificação B1 e B.

Figura 1 - Esquema da configuração clássica de uma coluna de destilação para EHC.



Fonte: MEIRELLES, 2006 (adaptado)

A planta industrial supracitada é um esquema clássico de aparelho de destilação que opera na maioria das indústrias sucroalcooleiras e proporciona ao fim do processo de destilação o Etanol Hidratado Combustível, EHC, ou seja, etanol comercializado como combustível em veículos com motores ciclo Otto. Este etanol hidratado deve possuir um teor alcoólico entre 92,5% e 94,6% m/m (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2015). No entanto, para ser adicionado como aditivo à gasolina é necessária sua desidratação, já que a destilação convencional não pode ser empregada, pois o etanol e a água formam uma mistura azeotrópica.

Dentre os componentes, acessórios e as colunas da configuração clássica da Figura 1, devem constar as seguintes estruturas básicas (LIMA, et al. 2001; LORA e VENTURINI, 2012):

- a) coluna do setor de destilação: coluna de destilação (A) com 20 bandejas, coluna de epuração do vinho (A1) com 4 bandejas e coluna de concentração de produtos de cabeça (D) 6 bandejas;
- b) interior da coluna de destilação, nas partes (A), (A1) e (D) os borbulhadores tipo pratos com calotas, vertedouros, sifão, barragens entre outros;
- c) acessórios da coluna de destilação: 6 trocadores de calor, ou regeneradores (K), condensador parcial (R) e total (R1), reguladores de vapor, trombeta, medidores de pressão, temperatura e vazão, entre outros;
- d) coluna de retificação: coluna esgotadora de etanol (B1) com 13 bandejas e coluna concentradora de etanol (B) com 43 bandejas (de preferência com o número mínimo necessário para não dificultar ou inviabilizar sua confecção);
- e) interior da coluna de retificação, nas partes (B1) e (B) os borbulhadores tipo pratos com calotas ou malhas, vertedouros, sifão, barragens entre outros;
- f) acessórios da coluna de retificação: aquecedor de vinho, ou regenerador (E), condensador parcial (E1), condensador total (E2), resfriadeira de álcool (J), decantador de óleo fúsel (M), tanque de neutralizante (N), trombeta, medidores de pressão, temperatura e vazão, entre outros;

g) caixa d'água, caixa de vinho, dorna volante, tanque de etanol retificado, tanque de vinhaça e flegmaça, caldeira geradora de vapor direto ou uso de reboiler, entre outros.

Após a partida do processo podemos descrevê-lo resumidamente da seguinte maneira (JARDIM,2014; MADALENO, 2013; LIMA, et al. 2001):

a) a coluna A irá fazer o esgotamento do etanol;  
 b) a coluna A1 fará a epuração do vinho, removendo os componentes mais voláteis;  
 c) a coluna D é a concentradora de impurezas, produtos mais voláteis denominados produtos de cabeça (são substâncias que precisam ser removidas do processo, pois interferem na qualidade do EHC);

d) na sequência essas impurezas (produtos de cabeça) são condensadas nos trocadores de calor R (condensador parcial) e R1 (condensador total), sendo uma parte removida na corrente de álcool de segunda (em torno de 10%) e a outra parte retorna como refluxo para o topo da coluna D;

e) o vinho (líquido) é bombeado por bombas hidráulicas até a caixa de vinho que irá alimentar o sistema, daí é conduzido por gravidade e pré-aquecido no trocador, ou regenerador E (que pertence a coluna B), na sequência é aquecido novamente nos trocadores, ou regenerador K, que ficam debaixo da coluna A. Em seguida ele irá alimentar a coluna A1 em fase líquida com temperatura próxima de 94°C;

f) no fundo da coluna A sai a vinhaça (< 0,03% de etanol), que troca calor com o vinho nos regeneradores K;

g) no fundo da coluna D sai a flegma líquida, e no fundo da coluna A1 sai a flegma vapor com 35 a 65% v/v de etanol, ambas irão alimentar a coluna B, responsável pela retificação do etanol;

h) abaixo da coluna B encontra-se a coluna B1 que atua no esgotamento do etanol;

i) no fundo da coluna B1 sai a flegmaça, um resíduo da retificação do etanol;

j) nos pratos inferiores da coluna B é feita a retirada do óleo fúsel, composto principalmente por álcool isoamílico;

k) o EHC é retirado alguns pratos abaixo do topo da coluna B, devido à presença de resíduos de produtos de cabeça, principalmente aldeídos, ésteres e metanol;

l) após a saída do EHC (com teor alcoólico entre 92,5% e 94,6% m/m) da coluna B, ele vai para dentro do trocador de calor chamado de resfriadeira J e dali para o armazenamento;

m) antes do líquido refrigerante, a água, chegar na caixa d'água (para efetuar as trocas térmicas dentro dos condensadores R, R1, E1 e E2) na parte superior do aparelho, ela passa em contracorrente com o EHC dentro da resfriadeira J;

n) no topo da coluna B são condensados os vapores do álcool de segunda, também chamado de álcool bruto, os quais saem no topo da coluna em direção ao regenerador E, e aos condensadores (E1 e E2);

o) o pré-aquecedor, ou regenerador de vinho E (vinhos aquecidos de 65 a 70°C) e o condensador E1, condensam parcialmente o vapor que vem do topo da coluna B, o E2 é o condensador total, uma parte do condensado retorna para a coluna retificadora B e/ou para a coluna D, processo conhecido como retrogradação, e a outra parte é retirada como álcool bruto (92 a 96% v/v);

p) os condensadores R1 da coluna D e E2 da coluna B possui uma trombeta para degasagem dos gases incondensáveis (escape de gases que não se condensam), principalmente CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>;

q) nas bandejas 1 a 5 da coluna B1 é separado o óleo fúsel pesado com graduação alcoólica de 40 a 50% v/v, e nas bandejas 6 a 11 é separado o óleo fúsel leve com graduação alcoólica de 70 a 80% v/v;

r) na sequência o óleo fúsel é encaminhado para o decantador vertical M ou decantador horizontal DHL, onde é lavado com água para recuperar o etanol que será enviado a coluna B1 e o óleo fúsel armazenado em um tanque (SANTOS, BOREM, CALDAS, 2012; MADALENO,2013).

#### Alguns possíveis problemas operacionais da coluna e acessórios na produção do EHC

Após a partida e operação em regime permanente (chamado popularmente de marcha) do aparelho com vapor de água e alimentação com vinho de cana-de-açúcar, é possível ocorrer alguns problemas operacionais com suas causas e medidas de correção. Exemplos de problemas em marcha, segundo Germek (1982), manual do destilador:

- a) perda de etanol na vinhaça: possíveis causas – excesso de vinho na alimentação, falta de vapor na coluna, contrapressão da coluna B1, incrustações nas bandejas ou regenerador de calor K furado;
- b) falta de vinho na coluna: possíveis causas – caixa de vinho vazia, balão flutuador com boia desregulado, regenerador de calor K ou aquecedor de vinho E incrustados;
- c) queda de grau do álcool de segunda: possíveis causas – vazamento no condensador R1 ou arraste de vinho da coluna A1;
- d) perda de álcool na flegmaça: possíveis causas – falta de vapor na coluna B1 ou excesso de carga;
- e) queda de grau do etanol hidratado combustível, EHC: possíveis causas – coluna B, bandeja nº 4 com temperatura elevada (acima de 92°C), excesso de pressão na coluna B1, excesso de retirada de álcool do topo da coluna, ou vazamento nos condensadores, pre-aquecedores de vinho e resfriadeira J;
- f) perda de álcool nos condensadores: possível causa – temperatura muito elevada nos condensadores auxiliares (LIMA, et al. 2001).

### 2.3 As colunas de destilação e retificação didáticas

As colunas didáticas de destilação e retificação de Etanol Hidratado Combustível, EHC foram confeccionadas a partir de latas de atum compradas em supermercados, os demais materiais e peças foram comprados em lojas de departamentos elétricos e hidráulicos e/ou em site de compras.

A Figura 2, é uma foto do destilador, ou seja, das colunas de destilação e retificação didáticas, montada e em fase de testes no laboratório do IFSP.

Figura 2 – As colunas de destilação e retificação didáticas de EHC.



Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 1 apresenta uma lista geral dos componentes utilizados para construção das colunas de destilação e seus custos.

Tabela 1 – Componentes, peças e equipamentos das colunas de destilação.

<b>Componentes, peças e equipamentos da coluna</b>	<b>Custo</b>		
	<b>Valor unitário</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor total</b>
latas de atum em conserva	R\$ 4,00	70 unidades	R\$ 280,00
tubo de cobre flexível 1/2 polegadas	R\$ 12,90	1 metro	R\$ 12,90
tubo de cobre flexível 3/8 polegadas	R\$ 9,50	1 metro	R\$ 9,50
tubo de cobre flexível 3/16 polegadas	R\$ 12,90	29 metros	R\$ 374,10
isolante térmico de fibra cerâmica	R\$ 64,00	1 metro quadrado	R\$ 64,00
isolante térmico de espuma	R\$ 2,50	2 metros	R\$ 5,00
tubo de cobre flexível 1/4 polegadas	R\$ 7,90	3 metros	R\$ 23,70
válvulas de retenção de 1/8 polegadas	R\$ 18,90	8 unidades	R\$ 151,20
mangueiras de plástico de 3/4 polegadas	R\$ 7,59	5 metros	R\$ 37,95
silicone de alta temperatura 280g	R\$ 23,00	4 unidades	R\$ 92,00
canos de PVC azul de 4 polegadas	R\$ 21,92	1 metro	R\$ 21,92
canos de PVC de 6 polegadas	R\$ 37,90	2 metros	R\$ 75,80
fio de solda de estanho/chumbo	R\$ 7,90	8 unidades	R\$ 63,20
cola epóxi	R\$ 14,98	4 unidades	R\$ 71,92
tee de compressão 3/16 polegadas c/ anilha	R\$ 17,00	7 unidades	R\$ 119,00
niple de compressão 3/16 polegadas c/ anilha	R\$ 5,00	23 unidades	R\$ 115,00
panelas de pressão de 7 litros	R\$ 149,00	2 unidades	R\$ 298,00
manômetros analógicos de 1/8" - 0 a 4 Bar	R\$ 18,00	2 unidades	R\$ 36,00
termômetros digitais	R\$ 17,90	8 unidades	R\$ 136,00
fogareiro a gás GLP	R\$ 69,90	1 unidade	R\$ 69,90
porcas para parafusos de 1/4 polegadas	R\$ 0,25	100 unidades	R\$ 25,00
barra de parafuso de 1/4 polegadas	R\$ 3,70	7 unidades	R\$ 25,90
estante para sustentação do aparelho	R\$ 450,00	1 unidade	R\$ 450,00
bomba d'água submersa para 240L/h	R\$ 37,00	1 unidade	R\$ 37,00
tinta de zincagem a frio spray colorar 300ml	R\$ 19,50	4 unidades	R\$ 78,00
tampão fêmea para canos de PVC 6 pol.	R\$ 19,51	4 unidades	R\$ 78,04
tampão macho para canos de PVC 4 pol.	R\$ 6,00	2 unidades	R\$ 12,00
mangueira gasolina transparente 8 x 12mm	R\$ 3,50	3 metros	R\$ 10,50
mangueira de silicone incolor 8 x 12mm	R\$ 4,90	4 metros	R\$ 19,60
braçadeiras nylon enforca gato 4,8 x 400mm	R\$ 0,24	50 unidades	R\$ 12,11
cola para canos de PVC 75g	R\$ 6,00	2 unidades	R\$ 12,00
<b>Total dos custos</b>			<b>R\$ 2.838,66</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

As ferramentas adquiridas para construção de peças e montagem do destilador de EHC são listadas na Tabela 2:

Tabela 2 – Lista de ferramentas

<b>Ferramentas</b>	<b>Custo unitário</b>
ferro de solda de 750w	R\$ 120,00
alicate de pressão	R\$ 35,00
jogo de chaves de boca	R\$ 37,50
serra para corte metálico	R\$ 59,40
chave inglesa	R\$ 24,00
chave de fenda	R\$ 19,90
corta tubos mini, 1/8 a 5/8 cobre	R\$ 15,00
flangeador para tubos de cobre	R\$ 39,90
<b>Total</b>	<b>R\$ 350,70</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

O destilador ilustrado na Figura 2 foi montado em um período de 6 meses. Durante esse tempo também ocorreu a construção do suporte que sustenta o destilador, produzido por um serralheiro a partir de uma planta ilustrativa com instruções e medidas pré-estabelecidas.

A inspiração e motivação que levou à construção e operação desse destilador veio do desafio e curiosidade de se produzir um material didático viável para ser integrado as práticas laboratoriais do curso técnico de açúcar e álcool da ETEC Bento Carlos Botelho do Amaral, no componente curricular Tecnologia de produção de etanol II, do eixo tecnológico produção industrial.

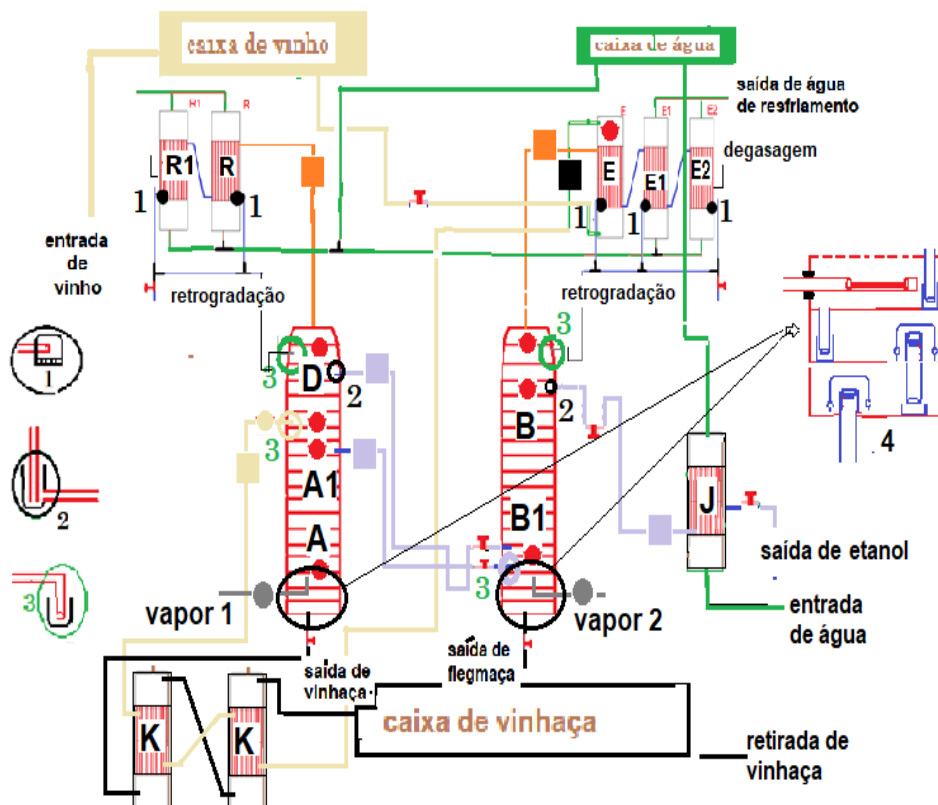
### O projeto e construção das colunas didáticas de destilação e retificação do EHC

A montagem e construção das peças do destilador teve início logo após a definição dos tipos de materiais a serem usados nas colunas e seus acessórios. Não foi objetivo desse projeto realizar cálculos como o de balanço de massa, de energia e a relação de equilíbrio de fases necessários para determinar o número de estágios das colunas (sua eficiência) e área de troca térmica dos regeneradores E e K, condensadores R, R1, E1 e E2, e resfriador J.

O projeto e construção foram empíricos, baseados em informações da literatura e do conhecido prévio do autor com intuito de propiciar aos estudantes uma ferramenta prática e inovadora do funcionamento do destilador industrial, ou seja, do processo industrial de produção de EHC existentes nas usinas do setor sucroalcooleiro. Assim, foi necessário construir o destilador o mais similar possível daquele encontrado em atividade nas usinas, para atingir as habilidades e competências inerentes ao componente curricular Tecnologia de produção de etanol II.

A Figura 3 é um esboço inicial do projeto, muitos dos componentes internos das colunas e trocadores de calor, vistos na Figura 3, foram adaptados na tentativa de reduzir os custos e possibilitar um melhor funcionamento do destilador.

Figura 3 - Esboço do projeto



Fonte: Elaborado pelo autor

O vapor d'água, responsável por fornecer calor à coluna para que ocorresse transferência de massa e energia entre as fases líquida e vapor, possibilitando a separação do componente mais volátil do líquido gerador (vinho), foi gerado utilizando duas panelas de pressão de 7,0 litros com pressão máxima de trabalho 80 kPa, como ilustrado na Figura 5. O vapor saturado produzido a fogo brando é injetado nas colunas, de forma direta, passa por tubulação de cobre com diâmetro de 3/16 polegadas conectada as colunas por meio de solda estanho/chumbo na proporção 35% Sn e 65% Pb. Também se utilizou mini registros tipo esfera e alavanca, conexão tipo niple e tee, ambos com anilha e feitos de liga metálica latão com 1/8 polegadas, por onde se parafusou os manômetros analógicos horizontais de pressão máxima de trabalho 400 kPa e diâmetro de 1/8 polegadas, como mostrado na Figura 4 (a). As panelas de pressão foram aquecidas por meio da queima de gás GLP em um fogareiro de alta pressão, Figura 4 (b).

Figura 4 - Sistema de vapor e conexões (a) e panelas de pressão e fogareiro a gás (b).



(a)



(b)

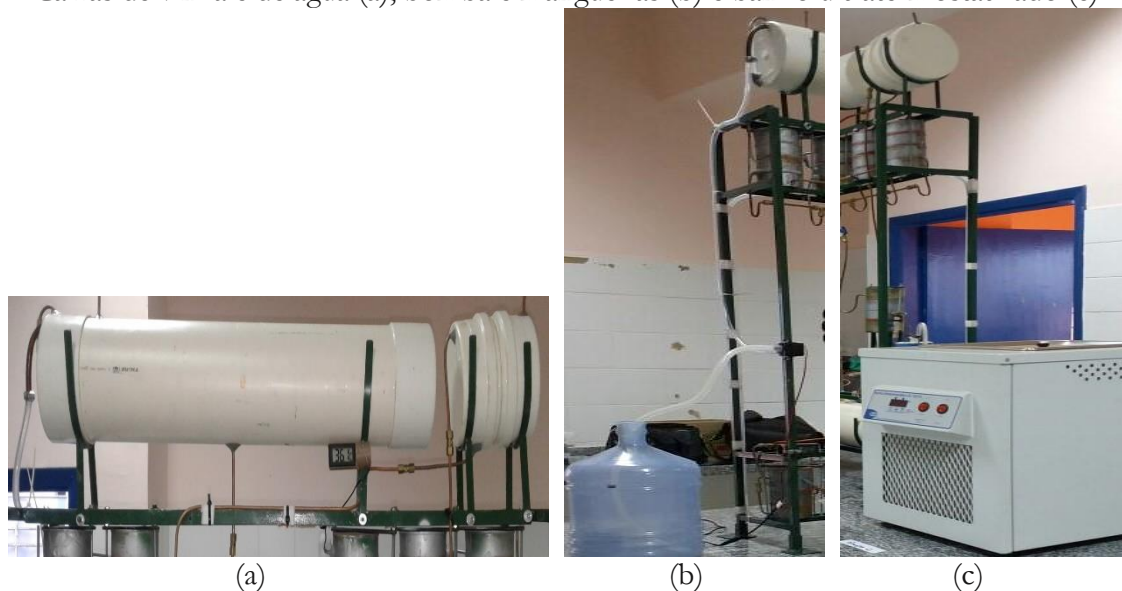
Fonte: Elaborado pelo autor

O vinho de alimentação (mistura hidroalcoólica com 10% v/v de etanol) da coluna A, de destilação, é bombeado da dorna volante (recipiente de plástico de volume 10 litros) até a caixa de vinho, no alto das colunas de destilação. Também ocorre o bombeamento de água de resfriamento dos condensadores R, R1, E1 e E2 para caixa de água. No projeto foram utilizados tubo de PVC de 6 polegadas e tampões fixos com cola na construção das caixas de vinho (volume aproximado de 30 litros) e água (volume de 2 litros), conforme ilustrado na Figura 5 (a). A Figura 5 (c) mostra o banho ultratermostatizado utilizado para recirculação da água de resfriamento.

O sistema de bombeamento do líquido gerador, aqui chamado de vinho (mistura hidroalcoólica com 10% v/v de etanol), até a caixa de 30L, contou com o trabalho de uma bomba d'água submersa com capacidade de vazão nominal de 240L/h e mangueira de silicone incolor 8 x 12mm, como mostrado na Figura 5 (b).

O vinho de fermentação alcoólica com 8 a 10% de etanol e outros componentes, entre estes, ácidos e íons minerais constituem um meio aquoso potencialmente corrosivo, assim, optou-se pela substituição do vinho por solução hidroalcoólica 10% v/v de etanol para preservação da coluna didática feita em latão, pouco resistente ao ataque eletroquímico e químico de substâncias redutoras. Tal solução, já citada anteriormente, foi feita de água destilada e etanol anidro absoluto na concentração 10% v/v.

Figura 5 – Caixas de vinha e de água (a), bomba e mangueiras (b) e banho ultratermostatizado (c)



Fonte: Elaborado pelo autor

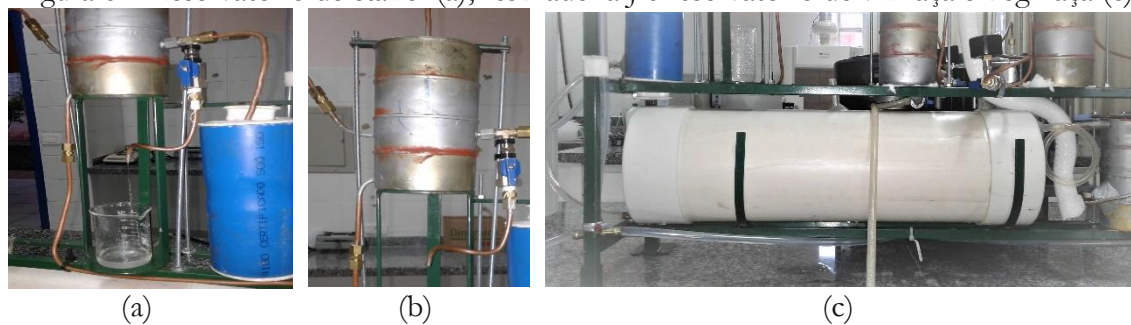
A água de resfriamento que chega até a caixa d'água realiza recirculação por meio de um aparelho de banho ultratermostatizado (vide Figura 5 (c)) na temperatura aproximada de 10°C. Inicialmente a água passa pelo trocador de calor denominado de resfriadeira J, ilustrado na Figura 6 (b), onde ocorre o resfriamento do etanol que passa em contracorrente com a água que sobe dentro da resfriadeira até chegar na caixa d'água e segue para os condensadores R, R1, E1 e E2. A água é recirculada pelo banho térmico. O etanol sai do topo da coluna B, passa pela resfriadeira J e chega no reservatório de etanol, ilustrado na Figura 6 (a), no estado líquido a uma temperatura pouco superior a 30°C.

Na base da coluna de retificação, coluna B1, sai a flegmaça, líquido que desce pelos vertedores da coluna até chegar no fundo da coluna com menos de 0,03% v/v de etanol. De forma similar na base da coluna de destilação A, sai a vinhaça com menos de 0,03% de etanol, e como a flegmaça, tem como destino o reservatório de aproximadamente 25 L ilustrado na Figura 6 (c).

O reservatório de vinhaça e flegmaça da Figura 6 (c) foi construído de tubo de PVC com diâmetro de 6 polegadas e tampões fixos com cola apropriada e com saída de mangueira de silicone incolor 8 x 12mm para esvaziamento. A entrada desses dois efluentes no reservatório ocorre por meio

de mangueira de gasolina transparente 8 x 12mm, nas temperaturas aproximadas de 55°C (vinhaça) e 80°C (flegmaça), temperaturas estas obtidas experimentalmente com a operação da coluna.

Figura 6 – Reservatório de etanol (a), resfriadeira J e reservatório de vinhaça e flegmaça (c)



Fonte: Elaborado pelo autor

Os principais acessórios das colunas são os trocadores de calor, condensadores R, R1, E1, E2 e resfriador J, e os regeneradores K e E, que são todos do tipo casco e tubos. Nestes foram utilizados latas de atum perfuradas e soldadas aos tubos de cobre 3/16 polegadas, por meio de derretimento de fio solda de estanho/chumbo. Os condensadores e os regeneradores são feitos de quatro latas de atum encaixadas e coladas com silicone de alta temperatura, como a Figura 7 (b), e 32 tubos de cobre 3/16 polegadas que forma o feixe de tubos dentro dos cascos dos trocadores de calor como na Figura 7 (a).

A área ativa de troca térmica entre os fluidos quente e frio ocorrem dentro das duas latas centrais, as de números 2 e 3 como ilustra a Figura 7 (b). A base da lata número 2 tem a mesma função das chicanas ou defletores como no trocador casco e tubos industrial. Já o fundo das latas números 1 e 3 estão soldados os 32 tubos de cobre que tem a função de possibilitar a troca térmica entre os fluidos quente e frio, como ilustra a Figura 7 (a). As latas com números 1 e 3 também tem a função de junta de vedação entre o espelho e cabeçote do trocador de calor casco e tubos.

Figura 7 - Imagem do interior (a) e estrutura física externa (b) dos trocadores de calor



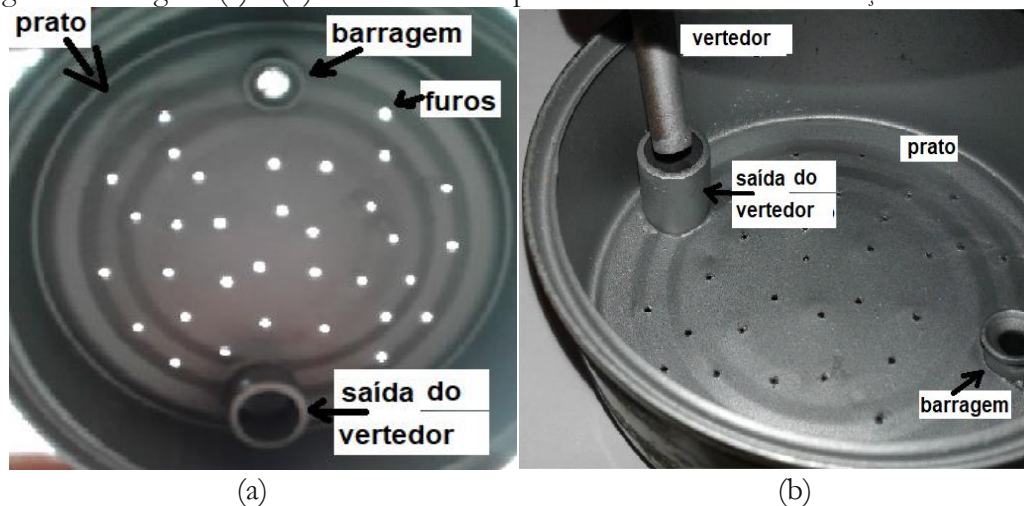
Fonte: Elaborado pelo autor

As colunas de destilação, ilustradas na Figura 10 (a) e retificação, ilustradas na Figura 10 (b), foram construídas com as mesmas latas de atum utilizadas nos trocadores de calor. As colunas de destilação A, A1 e D, detêm 19 latas de atum, o mesmo número de latas fora utilizado nas colunas de retificação B1 e B.

As latas funcionam como pratos (ou estágios de equilíbrio) nas colunas, como ilustrado nas Figuras 9 (a) e (b), coladas com silicone de alta temperatura uma sobre a outra. Cada lata funciona como um estágio de equilíbrio entre as fases líquida e vapor (Equilíbrio Líquido-Vapor, ELV). O fundo de cada

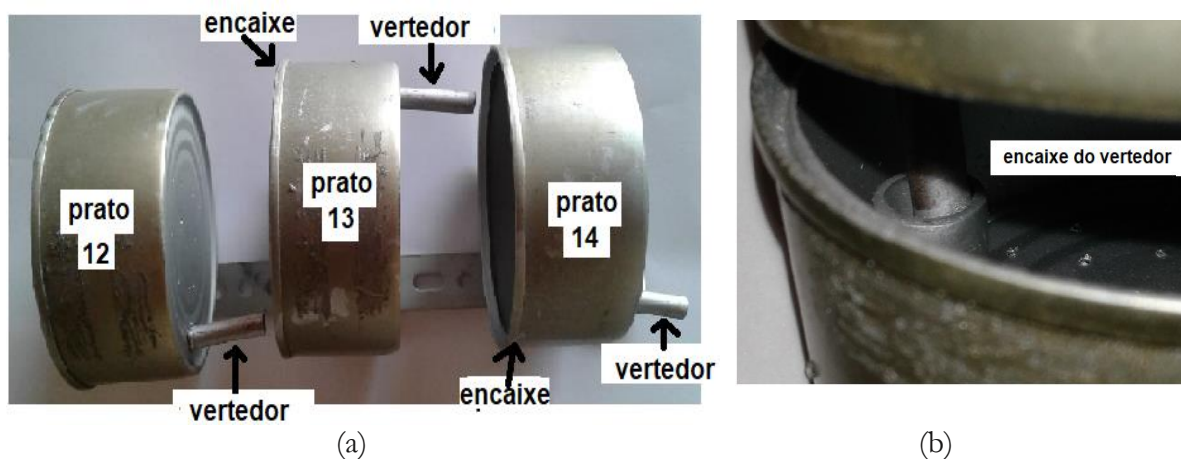
lata recebeu cerca de 32 perfurações com broca de aço de 1 milímetro de diâmetro, formando um sistema de malhas ou peneiras como borbulhadores para o processo de borbotagem líquido/vapor. O escoamento do líquido gerador por barragem e vertedores foi feito com tubos de cobre com diâmetro de 1/4 polegada encaixados em tubos de cobre com diâmetro de 1/2 polegada, como mostram as Figuras 8 (a) e (b).

Figura 8 - Imagens (a) e (b) do interior dos pratos das colunas de destilação e retificação.



Fonte: Elaborado pelo autor

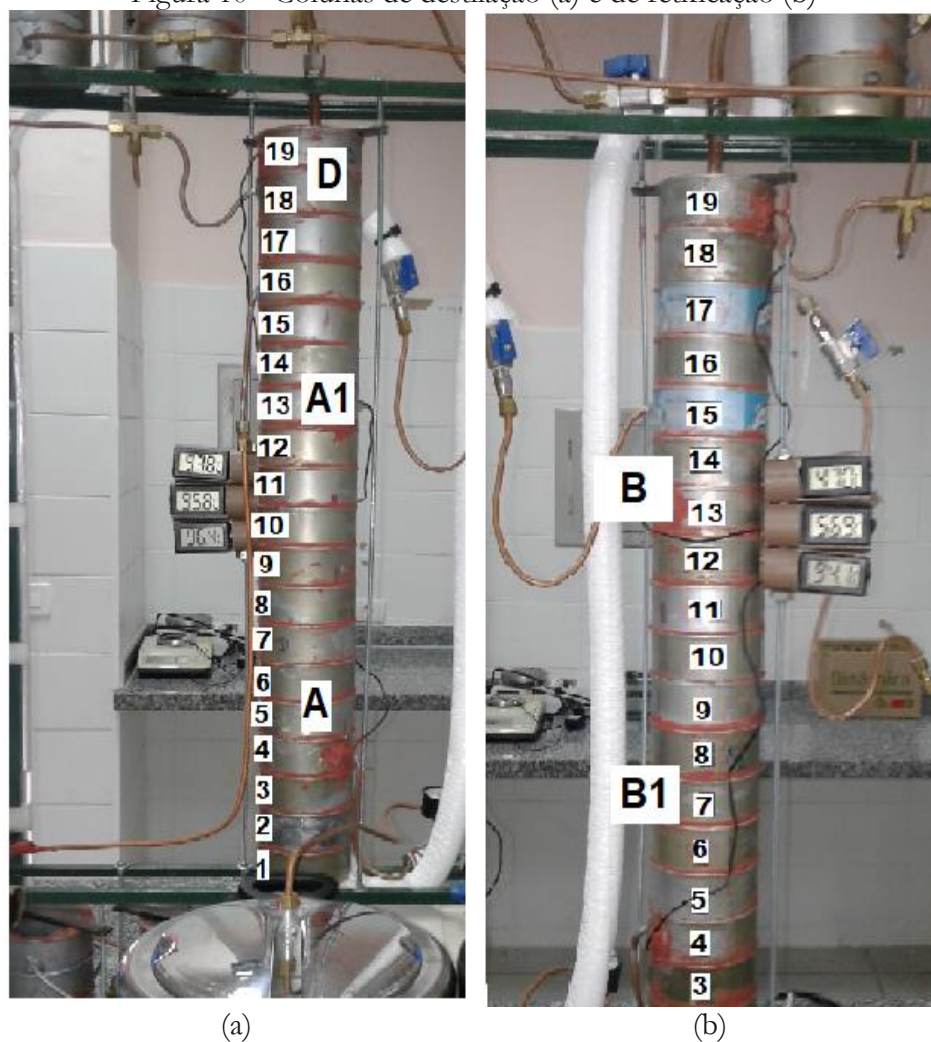
Figura 9 - Imagem dos encaixes dos pratos ou bandejas das colunas (a) e dos vertedores (b)



Fonte: Elaborado pelo autor

A base das colunas de destilação e retificação contém 3 latas (ou seja, 3 pratos) com sistema de contenção de vapor com barragens que acumulam líquido nos três primeiros pratos inferiores e impedem a saída pela base das colunas dos vapores saturados injetados pelas panelas de pressão nos pratos com o número 4, como ilustram as Figuras 10 (a) e (b).

Figura 10 - Colunas de destilação (a) e de retificação (b)



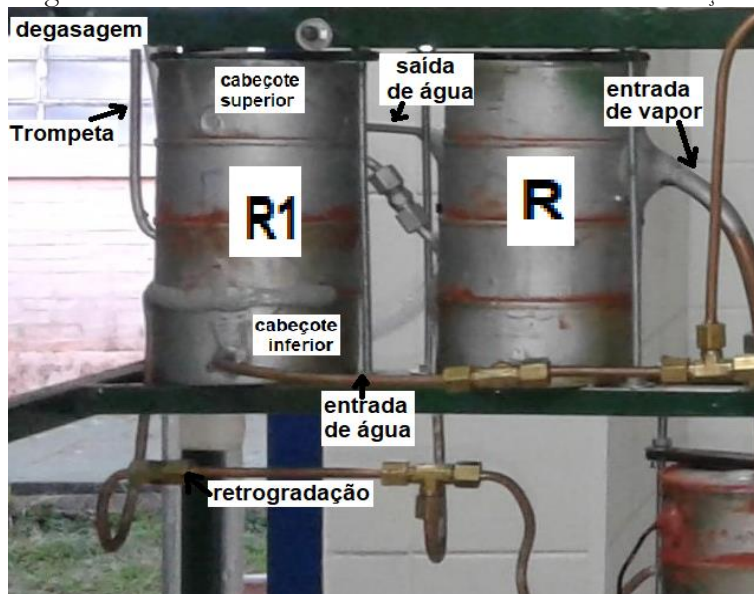
Fonte: Elaborado pelo autor

A mistura hidroalcoólica 10% v/v de etanol que alimenta a coluna de destilação no prato número 15, e os pratos subsequentes 16, 17, 18 e 19 compõem a seção de concentração de etanol. Não existe na prática epuração do vinho nessa coluna, já que se trabalha com mistura etanol/água, e supostamente não existirão condensados de cabeça (principalmente aldeídos, ésteres e metanol). Os vapores de etanol hidratado sobem do prato 19 para o interior do condensador R, onde são parcialmente condensados e retrogradam (retornam) ao prato 18, a condensação total ocorre no condensador R1 e os gases não condensados sofrem degasagem pela trombeta, ilustrada na Figura 11.

A retrogradação do etanol condensado nos condensadores R e R1 é de 100%, e retorna ao topo da coluna de destilação, seção nomeada de coluna D, como ilustrado da Figura 10 (a) (coluna concentradora de compostos leves do álcool, também conhecida como coluna de aldeídos), e segue a partir daí como flegma líquida por tubo de cobre 3/16 polegadas até o prato 15 da coluna de retificação, como na Figura 10 (b).

No interior dos condensadores R e R1, o líquido refrigerante “água” entra pelo cabeçote inferior e passa pelos tubos em uma corrente ascendente até o cabeçote superior do condensador, Figura 11, em seguida sai pelo ladrão e retornam ao aparelho de banho ultratermostatizado para recirculação.

Figura 11 - Condensadores R e R1 da coluna de destilação.



Fonte: Elaborado pelo autor

Os pratos 4 a 14 abaixo da alimentação, colunas A e A1, como ilustrado na Figura 10 (a), compõem a região da coluna didática denominada esgotadora de etanol, e leva a mistura etanol/água (vinho no aparelho industrial) ao empobrecimento de etanol e formação de efluente (vinhaça) com teor alcoólico inferior a 0,03%, como mostrado na Figura 10 (a). O mesmo raciocínio deve ser considerado para as colunas B1 e B de retificação, ressaltando apenas que o afluente que alimenta o prato 15 é a flegma e o efluente que sai do prato 1 da coluna B1 é a flegmaça, como ilustra a Figura 10 (b).

O teor alcoólico 0,03% de etanol citado nos efluentes vinhaça e flegmaça, não foi determinado experimentalmente, esse valor faz uma referência as perdas de etanol nas colunas do processo industrial.

O controle de temperatura na coluna de destilação da Figura 10 (a) é feito por meio de termômetros digitais nos pratos: 15 (o prato de alimentação do afluente etanol/água com 10% v/v de etanol), 4 (o prato de alimentação de vapor d'água saturado) e 19 (onde ocorre a saída dos vapores de etanol). As temperaturas de trabalho nesses pratos medidas experimentalmente são aproximadamente de 98°C, 96 °C e 84 °C respectivamente, já a pressão de vapor obtida por aquecimento de água destilada não pode ser determinada, pois os manômetros (de escala 0 a 4 Bar) conectados a tubulação de vapor registravam 0,8Bar até 0,9Bar (ou aproximadamente 80kPa até 90kPa), mas quando o vapor era liberado para as colunas os manômetros indicavam pressão de 0 bar, portanto seria necessário a substituição destes manômetros por outros com escala manométrica menor para quantificar a pressão de vapor que alimentam as colunas.

No entanto, mesmo indispondo-se de dados preciso de pressão é possível dizer que na temperatura de 84°C com pressão atmosférica de 760 mmHg (ou aproximadamente 1,0Bar) pode-se obter na fase líquida, etanol com alto teor alcoólico, já que a temperatura de ebulição (TE) do etanol puro é 78,35°C. Do mesmo modo, no fundo da coluna, a temperatura de 98°C mostra que devemos ter praticamente água pura no fundo da coluna, porque a água tem TE 100°C na pressão supracitada.

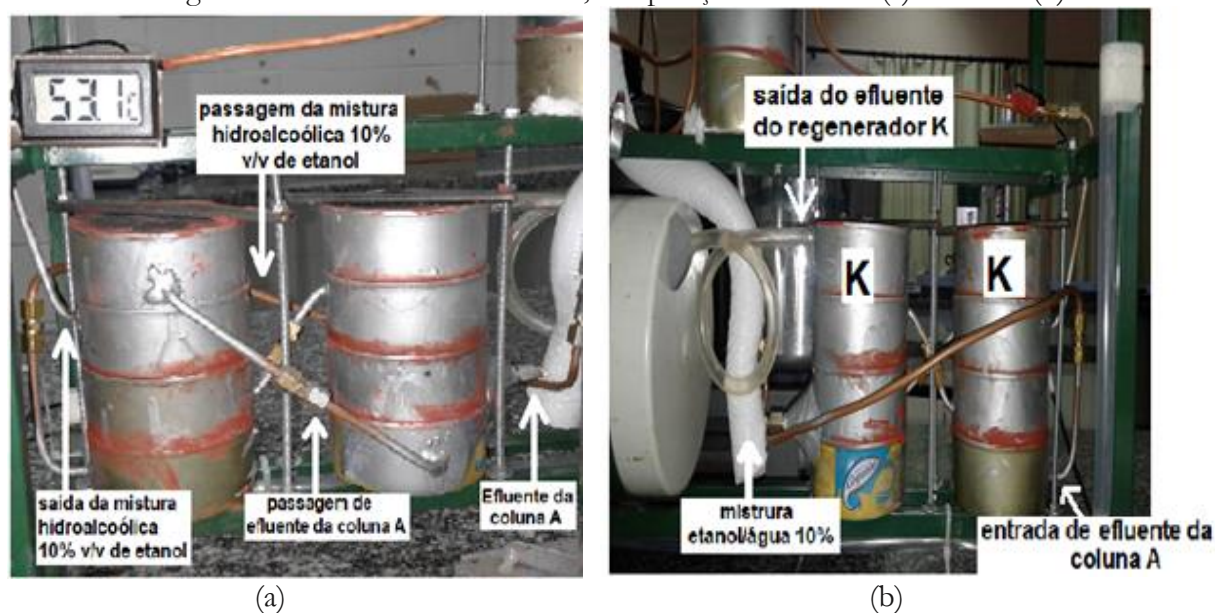
O controle de temperatura na coluna de retificação, Figura 10 (b), também é feito por meio de termômetros digitais nos pratos: 15 (o prato de alimentação da flegma), 4 (o prato de alimentação de vapor saturado) e 19 (onde ocorre a saída dos vapores de etanol). As temperaturas de trabalho nesses pratos são de aproximadamente 99°C, 95°C e 80°C respectivamente. Nessa coluna o efluente obtido é a flegmaça, resíduo gerado a partir do esgotamento de etanol.

A opção por usar água destilada na produção de vapor foi importante para retardar a corrosão química e/ou eletroquímica dos materiais metálicos das colunas e acessórios.

A saída do efluente de destilação pelo prato 1 da coluna A, ocorre por meio de tubos de cobre 3/16 polegadas até a primeiro trocador de calor K, também chamado de regenerador K. Nas

colunas de destilação clássicas do setor são utilizados 6 regeneradores K, no entanto, nesse projeto didático foram utilizados apenas 2 regeneradores K, ilustrados nas Figuras 12 (a) e (b).

Figura 12 - Trocadores de calor K, nas posições de frente (a) e de trás (b)



Fonte: Elaborado pelo autor

A mistura hidroalcoólica 10% v/v de etanol (que simula o vinho do processo industrial) que desce por gravidade do pré-aquecedor E, entra pelo casco do regenerador K, Figura 12 (a), em contracorrente com o efluente que sai da base da coluna A a 95 °C (que simula a vinhaça do processo industrial) circula dentro dos tubos do regenerador K, Figura 12 (b), fazendo com que boa parte da energia térmica armazenada no efluente seja recuperada pela mistura hidroalcoólica que vai alimentar a coluna A1 no prato 15 com temperatura aproximada de 55°C. Os vapores alcoólicos que sobem da cabeça da coluna B para o pré-aquecedor de vinho E, ilustrado na Figura 13, entram pelo casco desse regenerador em contracorrente com a mistura hidroalcoólica que sobe pelos tubos recebendo calor desses vapores. A mistura hidroalcoólica aquecida segue para o próximo regenerador K que fica debaixo da coluna de destilação. Os vapores supracitados que não se condensaram no pré-aquecedor E, vão para o condensador parcial E1 e, posteriormente, para o condensador total E2, ilustrados na Figura 13. Em ambos ocorre a saída de condensados, que na indústria, são chamados de álcool de segunda, álcool bruto ou impurezas leves de cabeça, e são prontamente retrogradados ao topo da coluna B. Essa retrogradação deve ser mínima para evitar o desperdício de calor e proporcionar o mínimo possível de impureza no etanol combustível.

Figura 13 - Trocadores de calor: aquecedor de vinho E, condensador E1 e E2.



Fonte: Elaborado pelo autor

No presente projeto optou-se por efetuar a retrogradação em 100%, já que não está sendo utilizado o vinho de fermentação de cana, como ocorre no processo industrial, então não existirão impurezas leves de topo da coluna, como aldeídos, ésteres, metanol entre outros, como existem no processo clássico de destilação industrial.

As colunas de destilação, retificação, o regenerador K, as tubulações por onde passa a mistura hidroalcoólica 10% v/v de etanol e a tubulação de cobre que transmitem o vapor d'água das panelas de pressão até as caldeiras das colunas, receberam isolante térmico de fibra cerâmica, fixos com braçadeiras de Nylon® tipo enforca gato.

### Manual de funcionamento da coluna didática

A seguir é descrito o passo a passo do funcionamento do aparelho, de acordo com a ilustração da Figura 14:

Figura 14 - O passo a passo do funcionamento do aparelho



Fonte: Elaborado pelo autor

Proceder da seguinte forma:

- a- Carregar a caixa de vinho com mistura hidroalcoólica 10% v/v de etanol;
- b, c- Iniciar a queima de GLP para aquecer as panelas de pressão e dar início a injeção de vapor saturado na base inferior da coluna de destilação e retificação;

d- Ligar o banho termostaticado a 10°C para encher a caixa de água e iniciar a recirculação pelo feixe de tubos dos condensadores R, R1, E1 e E2;

e, f - Aguardar um tempo para acúmulo de condensado na base inferior das colunas de destilação e retificação. Abrir o registro de saída de vinhaça e flegmaça, atentando-se a uma temperatura média aproximada de 90°C para a coluna de destilação e para a coluna de retificação;

g- Abrir totalmente o registro de alimentação da caixa de vinho;

h, i - Abrir o registro de saída de flegma da coluna de destilação para coluna de retificação;

J- Abrir o registro de saída do Etanol Hidratado EH.

Na sequência deve-se controlar a intensidade da chama para evitar aumento de pressão e temperatura no interior das colunas. Também é necessário controlar o fluxo de água nos condensadores para evitar o transbordamento de água, pois os ladrões de saída de água têm diâmetro 3/16 polegadas. Também prestar atenção no nível da caixa de vinho e caixa de vinhaça para acompanhar a velocidade do fluxo de carga de entrada (afluente) e saída (efluente).

As temperaturas na coluna de destilação devem conter os seguintes valores: fundo da coluna 98°C, prato de alimentação 95°C e topo da coluna não exceder 84°C. A coluna de retificação deve possuir os valores: fundo da coluna 99°C, prato de alimentação 95°C e topo da coluna não exceder 80°C.

As temperaturas do pré-aquecedor de vinho E fica com valores aproximados de 50°C e o regenerador K com valores aproximados de 55°C. O etanol hidratado chega no reservatório com temperatura de aproximadamente 30°C.

#### As limitações da coluna didática

O Etanol Hidratado EH obtido pelas colunas didáticas, tem baixa graduação alcoólica, em torno de 25% v/v de etanol a partir da destilação de uma mistura hidroalcoólica de 10% v/v de etanol. Para obter esse resultado utilizou-se o densímetro alcoômetro Gay Lussac de escala 0% v/v até 100% v/v, comprimento 320mm e calibrado a 20°C. O destilador durante seu funcionamento com vapor d'água saturado e alimentado com mistura hidroalcoólica apresentou grandes oscilações de temperatura no topo das colunas, sendo difícil o controle e/ou estabilização a partir de regulagem da chama de gás GLP, já que seria perigoso regular a vazão de vapor das panelas de pressão, por ser um utensílio doméstico pouco resistente a pressões que excedem a 80 kPa. A baixa graduação alcoólica do EH, no destilador didático, pode ser explicada dentre várias situações, pelas oscilações de temperatura nas partes mais altas das colunas (com valores acima de 92°C), também pode se supor a existência de pressão elevada nessa coluna, já que a coluna didática é de pequena dimensão medindo 80mm de diâmetro interno e 665mm de altura, ou devido a pequenos vazamentos de água de resfriamento nos condensadores R, R1, E1 e E2, nos pré-aquecedores de vinho, na resfriadeira J. Também não podemos descartar a possibilidade de a coluna ter ficado em atividade por tempo insuficiente para atingir um regime de estabilidade permanente de destilação. Os condensadores R e R1 da coluna de destilação mostraram-se parcialmente suficientes na condensação dos vapores alcoólicos, na medida em que se observa degasagem de vapores alcoólicos pela trombeta, a qual não tem regulagem de vazão de gases e/ou vapores. Assim a excessiva degasagem de vapores alcoólicos também pode ter contribuído para a redução na %v/v de etanol. O sistema de alimentação da mistura hidroalcoólica 10%v/v não contém medidor de vazão, isso impossibilita o controle constante da temperatura no topo da coluna por meio da redução do fluxo de alimentação. A temperatura da mistura hidroalcoólica de alimentação na coluna A1, não passa de 60°C, o que revela baixa eficiência do pré-aquecedor E e dos dois regeneradores K que ficam debaixo da coluna A. O destilador cumpre bem o seu papel quanto à demonstração didática do processo de produção de etanol hidratado, no entanto, o tempo de destilação em uma demonstração excede muito o tempo de aula, sendo necessário colocar o equipamento em funcionamento pelo menos uma hora antes do início da aula prática. Após algumas horas de funcionamento apareceram alguns vazamentos no aparelho, justamente em pontos vulneráveis como nos encaixes entre as latas de atom e em pontos de solda das tubulações, entretanto foram feitos reparos que corrigiram esses problemas.

Com relação aos efluentes vinhaça e flegmaça não se encontrou presença de álcool por meio de análise experimental com densímetro alcoômetro Gay Lussac de escala 0% v/v até 100% v/v, comprimento 320mm e calibrado a 20°C. O aparelho tem suas similaridades com o industrial, no entanto, é um experimento de bancada feito com material reciclado e com adaptações que limita sua eficiência no processo de separação etanol/água, por outro lado tem mostrado ser eficiente como ferramenta didática.

Ainda que prevaleça suas limitações, a coluna didática e seus acessórios constituem um equipamento prático, versátil e potencializador de aprendizado, podendo ser utilizado como importante ferramenta didática no ensino-aprendizado sobre:

- a- a estrutura física da coluna e seus acessórios;
- b- a função e aplicação de cada um dos equipamentos e componentes do destilador;
- c- a dinâmica de separação da mistura combustível por meio de troca de energia e massa em um sistema líquido-vapor;
- d- o funcionamento correto da coluna e acessórios a partir dos eventuais problemas operacionais que existam no destilador;
- e- a importância do controle das variáveis termodinâmicas pressão, temperatura e vazão de fluidos líquido/vapor no sistema destilador;
- f- a resolução de problemas experimentais em equipes para um fim comum, a partir do mal funcionamento do sistema destilador em analogia ao processo industrial, preparando o futuro profissional técnico para tomada de decisões em situações reais.

### 3. Considerações Finais

É fato que as escolas de ensino médio ou técnico profissionalizante de nível médio, em sua maioria, não tem em suas propostas pedagógicas, principalmente na área de ciências da natureza e suas tecnologias, projetos de ensino-aprendizagem com atividades que fomenta a produção de experimentos inovadores que possam reproduzir ou remodelar processos produtivos em escala laboratorial. A inexistência de recursos financeiros e a inflexibilidade da grade curricular são alguns dos principais entraves para inclusão dessa proposta de ensino-aprendizagem.

A motivação para construção da coluna didática foi o de produzir um material didático baseado numa proposta de ensino/aprendizagem, a qual o aluno fosse o protagonista do seu conhecimento, isso o ajudaria a quebrar a inércia das aulas teóricas, onde muitas vezes se faz necessário imaginar o funcionamento de processos industriais complexos.

A abordagem prática a ser desenvolvida com essa ferramenta didática também tinha que ser pensada com cuidado, pois existiam algumas limitações tecnológicas na coluna didática construída a partir de material reciclado, contudo, foi percebido durante as aulas práticas com os alunos o entusiasmo e a curiosidade em ver e entender o seu funcionamento. Assim as atividades de manipulação e controle da coluna didática e seus acessórios durante seu funcionamento contribuíram satisfatoriamente para a concentração, e o envolvimento dos estudantes em uma dinâmica construtiva de aprendizagem de conceitos técnico/práticos sobre o processo industrial.

A indução de analogias entre a coluna didática e a coluna industrial foram pertinentes, e segundo os estudantes facilitou o entendimento das funções dos equipamentos, acessórios, colunas de destilação e retificação do etanol hidratado.

Assim, a proposta de ensino supracitada demonstrou-se promissora, pois incorporou satisfatoriamente as habilidades e competências de conhecimentos técnicos e tecnológicos exigidos ao Técnico de açúcar e álcool, além de contribuir para uma formação humana e social.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. F. D.; SILVA, F. Destilação: uma sequência didática baseada na História da Ciência. **Química Nova Escola**, vol. 40, n° 2, p. 97-105, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160110>

BRASIL. Resolução CNE/CEB nº 2 de 30 de janeiro de 2012. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 31 de janeiro, 2012, Seção 1, p.20.

BRASIL. Lei federal nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 23 de dezembro 1996, Seção 1, p.27833.

BRASIL. Ministério da Educação. **Secretaria da Educação Média e Tecnológica**. Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2002.

BRASIL, Resolução ANP nº19, de 15 de abril de 2015. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 abril 2015, Seção 1, Nº 73, p44-46.

BRASIL. Ministério da Educação. **Secretaria de Educação Média e Tecnológica**. Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. Brasília: MEC/SEMTEC, 1999.

CRESTANI, C.E.; MACHADO, M. B. Aprendizagem baseada em projetos na educação profissional e tecnológica como proposta ao ensino remoto forçado. **Revista Brasileira de Educação**, v. 28, 2023.

<https://doi.org/10.1590/S1413-24782023280048>

DIEESE, **Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos/Estudos e Pesquisas**, Ano 3 nº 30-fevereiro de 2007/ Desempenho do setor sucroalcooleiro brasileiro e os trabalhadores. Disponível em:< [https://www.dieese.org.br/estudosepesquisas/2007/estpesq30\\_setorSucroalcooleiro.pdf](https://www.dieese.org.br/estudosepesquisas/2007/estpesq30_setorSucroalcooleiro.pdf)> Acesso em 01 maio de 2022.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do Oprimido**, 17ª. ed. Rio de Janeiro, Editora:Paz e Terra, 1987.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia. Saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Editora Paz e Terra, 2004.

GARCIA, R.; CARVALHO, V. B. de; CARNEIRO, W. Práticas em Educação Ambiental no ensino médio: o uso e destilação de fermentado de caldo de cana de açúcar como ferramenta didática para a educação básica. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 268–276, 2019. DOI: 10.34024/revbea.2019.v14.6830.

JARDIM, H.A.S.P.M. **Projeto, construção e desenvolvimento metodológico de um aparelho de destilação. Estudo de caso: produção de etanol anidro via destilação extrativa utilizando glicerol**, 2014. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2014. Disponível em:<<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4142>> Acesso em 10 jun. 2022.

KREMER, D. P.; BORGES, J. de O. A.; ALVES, A. C. T. Materiais alternativos no ensino de química: o uso do destilador artesanal para ensinar mudanças de fases da água. **Gnosis Carajás**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. e22005, 2022. DOI: 10.55723/gc.v2i1.24.

LIMA, U. De. A., et al. **Biotecnologia Industrial Volume III, Processos Fermentativos e Enzimáticos**. Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 2001. p.593.

LORA, E. E. S., VENTURINI, O. J. **Biocombustíveis V.1**, ed. Interciência, 2012. Rio de Janeiro RJ, p.588.

MEC. Ministério da Educação e Cultura. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM). Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**, Brasília. Disponível em: <

<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>. Acesso em: 13 março 2022

MADALEMO, L.L. **Produção de Bioetanol: Processo Fermentativo e de Destilação**, 2013. 96f. Apostila (Tecnologia em Biocombustíveis) – Centro Paula Souza, Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal-SP.

MEIRELLES, A. J. A. Expansão de produção e melhoria tecnológica da destilação alcoólica. In FAPESP. **Workshop do Projeto Diretrizes de Políticas Públicas para a Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo: Produção de etanol**. Lorena, 2006. Disponível em< <http://www.apta.sp.gov.br/cana>>. Acesso em 10 jun. 2022.

MEC/CNE/CEB. **Resolução nº06 de 20 de setembro de 2012**. Define Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Profissional Técnica de Nível Médio. Disponível em:<

[http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=11663-rceb006-12-pdf&category\\_slug=setembro-2012-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=11663-rceb006-12-pdf&category_slug=setembro-2012-pdf&Itemid=30192)> Acesso em 16 março de 2022.

MEC/CNE. **Parecer CNE/CEB nº 11, aprovado em 9 de maio de 2012** - Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Profissional Técnica de Nível Médio. Disponível em:<

[http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=10804-pceb011-12-pdf&category\\_slug=maio-2012-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=10804-pceb011-12-pdf&category_slug=maio-2012-pdf&Itemid=30192). Acesso em 16 março de 2022.

NASTARI, P.M. Produção Sustentável: A importância do setor sucroenergético no Brasil. *Revista Agroanalysis, A revista de Agronegócio da FGV*, v.32, N.03, p16-17, 2012.

NOVACANA, **As usinas de açúcar e etanol do Brasil**. Disponível em:<  
[https://www.novacana.com/usinas\\_brasil/](https://www.novacana.com/usinas_brasil/)> Acesso em 15 de maio de 2022.

PALOMARES, Denise Oliveira Amorim. **Educação: como a relação aluno-professor influencia na deficiência do aprendizado?** Disponível em: < <http://www.uel.br/grupo-estudo/gaes/pages/arquivos/GT3%20Artigo%20Denise%20Palomares%20Educacao%20como%20a%20relacao%20aluno%20professor.pdf> >. Acesso em 10 jun. 2022.

PELLEGRINI, D. Aprenda com eles e ensine melhor. *Nova Escola*, janeiro/fevereiro, 2001. Disponível em:<  
<http://revistaescola.abril.com.br/formacao/aprenda-eles-ensine-melhor-423205.shtml> >. Acesso em: 21 fev. 2022.

PEREIRA, Walysson Gomes; NASCIMENTO, Rogério José Melo; DO NASCIMENTO, Tássio Lessa. Uso da metodologia ativa instrução por pares assistida pelo aplicativo plickers: uma experiência no ensino de química.

**Conexões - Ciência e Tecnologia**, [S.l.], v. 15, p. e021018, 2021. ISSN 2176-0144. DOI:  
<https://doi.org/10.21439/conexoes.v15i0.2078>.

PEREIRA, M. D.; SOUSA E SILVA, I.; SIQUEIRA, A. M. de O. Estudo de uma planta de destilação industrial utilizando o software livre ChemSep. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, Viçosa/MG, BR, v. 8, n. 3, p. 14209–01e, 2022. DOI: 10.18540/jcecvl8iss3pp14209-01e.

GERMEK, H.A., Manual do destilador. **PLANALSUCAR**, Piracicaba, 1982. p.31

SANTOS, W. L. P. dos, et al., **Química Cidadã. V.3**. Nova Geração: São Paulo, 2010. p.382

SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de Açúcar: Bioenergia, Açúcar e Etanol – Tecnologia e perspectivas**. Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2ª edição, Viçosa, 2012 p.637

SANTOS, A. H. dos. **Temas Geradores no Ensino de Química: Uma análise comparativa entre duas metodologias aplicadas ao ensino de química em duas escolas da Rede Estadual de Sergipe**. 2015.81f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2015. Disponível em: <[https://bdtd.ufs.br/bitstream/tede/2726/2/ANTONIO\\_HAMILTON\\_SANTOS.pdf](https://bdtd.ufs.br/bitstream/tede/2726/2/ANTONIO_HAMILTON_SANTOS.pdf)>. Acesso em: 21 fev. 2022.

SANTOS, M. C.; BARRA, S. R. O Projeto Integrador como Ferramenta de Construção de Habilidades e Competências no Ensino de Engenharia e Tecnologia. In: **COBENGE – XL Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**, Belém – Pa, 2012. Disponível em:<  
<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2012/artigos/104305.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2022.

TOZONI-REIS, M.F.de C. Temas ambientais como “temas geradores”: contribuições para uma metodologia educativa ambiental crítica, transformadora e emancipatória. **EDUCAR EM REVISTA**, Curitiba, n.27, p.93-110, 2006. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/er/n27/a07n27.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2022.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **O Raio X do Setor Sucroenergético**, São Paulo. Disponível em: <  
<http://www.unica.com.br> > Acesso em: 20 mar. 2022.

WARTHA, E. J.; SILVA, E. Lida.; BEJARANO, N.R.R. Cotidiano e Contextualização no Ensino de Química. **Química Nova na Escola**. São Paulo, vol. 35, nº 2, p. 84-91, 2013. Disponível em:<[http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35\\_2/04-CCD-151-12.pdf](http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35_2/04-CCD-151-12.pdf)>. Acesso em 04 abr. 2022.

## Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.