



## A INCORPORAÇÃO DE METODOLOGIAS ATIVAS NO DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS PILOTOS

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5048

**Autores:** LAURA LUISA COELHO CASTRO, IDALMO MONTENEGRO DE OLIVEIRA, CARLA CRISTINA ARAUJO PARREIRA, JESSIKA KELLY DE OLIVEIRA NUNES, HUGO CESAR COELHO MICHEL, VICTOR LUCIO AMARAL NUNES, MARCELO CARDOSO

**Resumo:** *As rápidas mudanças nas interações sociais e a facilidade de acesso à informação trazidas pelo avanço da tecnologia exigem que os docentes repensem e modifiquem a forma de ensino de modo a garantir sua qualidade. Metodologias ativas de ensino têm sido usadas para assegurar o desenvolvimento de competências essenciais aos profissionais, para que consigam lidar com os desafios e as demandas atuais do mercado de trabalho. Este trabalho apresenta o emprego de metodologias ativas baseadas em projetos com alunos da graduação de Engenharia na Universidade Federal de Minas Gerais. São relatadas a implementação de uma planta piloto para a etapa de caustificação do Processo Kraft de papel e celulose, setor em crescente ascensão no Brasil, e o desenvolvimento do painel de controle para uso nesta planta piloto. As atividades foram essenciais para a formação profissional das pessoas envolvidas ao garantir o aprimoramento de habilidades e competências esperadas de profissionais da engenharia segundo as Diretrizes Curriculares Nacionais, como por exemplo a capacidade de trabalho em equipe. Os discentes foram capazes de aplicar o conhecimento técnico em situações reais, em um ambiente de colaboração interdisciplinar e multidisciplinar que fomenta a resolução de problemas complexos da engenharia de forma inovadora, com um viés holístico e humanista que considera também aspectos sociais e de sustentabilidade. Também demonstraram maior motivação e, além disso, vivenciaram a conexão da indústria com o meio acadêmico, essencial para demonstrar a aplicabilidade das técnicas aprendidas ao longo dos cursos*

**Palavras-chave:** *Planta piloto; Painel de controle; Ensino; Engenharia; Metodologia ativa; PjBL*

# A INCORPORAÇÃO DE METODOLOGIAS ATIVAS NO DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS PILOTO

## 1. INTRODUÇÃO

A sociedade contemporânea está imersa na rápida evolução da internet e da eletrônica em geral, resultando em novas formas de comunicação e interação social. A 4ª Revolução Industrial impulsiona essa mudança, tornando os meios tradicionais obsoletos. Com o acesso fácil à informação, os educadores enfrentam o desafio de manter o interesse dos estudantes, muitas vezes utilizando métodos tradicionais ultrapassados, como o famoso quadro branco. Assim, discutir e implementar metodologias de ensino ativas que se adaptem à realidade atual é crucial para garantir um ensino de qualidade (Felder, 1988; Kapranos, 2013; Santos *et al.*, 2021; Sukacké *et al.*, 2022).

No ensino superior, onde os estudantes frequentemente têm jornadas de trabalho além das obrigações educacionais, é essencial tornar o ambiente de aprendizagem mais colaborativo e atrativo. Especialmente em cursos como engenharia, que, apesar de uma natureza de atuação prática, historicamente se concentram em aulas teóricas, constituindo uma lacuna entre as demandas de mercado por profissionais multidisciplinares e proativos, e as práticas pedagógicas ofertadas pelas universidades (Belisário *et al.*, 2020). Nesse viés, faz-se necessário o uso de ferramentas como as plantas piloto, que proporcionam uma experiência prática com os desafios reais do mercado.

As plantas piloto, inseridas na metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos (PjBL) (Sukacké *et al.*, 2022), oferecem uma oportunidade para que discentes do ensino superior aprendam mediante projetos interdisciplinares e em equipe, por meio da simulação de ambientes industriais reais e em escala piloto (Ahmad; Ismail, 2019; Ortiz, 2019; Vega; Navarrete, 2019). Este trabalho propõe a implementação de um projeto de desenvolvimento de uma planta piloto na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), visando replicar um cenário fabril de uma unidade de celulose.

## 2. O USO DE METODOLOGIAS ATIVAS NO ENSINO DE ENGENHARIA

No meio acadêmico, várias metodologias ativas de ensino são consideradas, incluindo Aprendizagem baseada em problema (PBL), o PjBL e a Aprendizagem baseada em desafio (CBL). O PBL foca no desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas e conhecimento técnico a partir de desafios apresentados pelo professor, enquanto o PjBL é mais abrangente e robusto, envolvendo soluções para problemas reais e aplicando conhecimentos técnicos em projetos interdisciplinares (Noordin *et al.*, 2011; Sukacké *et al.*, 2022). Os projetos PjBL despontam como uma das estratégias mais relevantes e estudadas sobre a melhoria do aprendizado nas escolas de engenharia, dado que são centrados na aplicação de conhecimento técnico para soluções de problemas reais. Por fim, os projetos CBL envolvem a participação dos discentes e dos membros da comunidade na formulação de intervenções, promovendo soluções inovadoras e multidisciplinares, com apoio de tecnologias, reflexão e investigação. No CBL o professor apenas facilita e acompanha a aprendizagem (Sukacké *et al.*, 2022).

Nesse viés de aprendizagem, a implementação de plantas piloto surge como uma ferramenta crucial na formação técnica e acadêmica de estudantes de engenharia, pois aproxima os discentes ao mercado de trabalho e à indústria, facilitando a compreensão de fenômenos discutidos na graduação (Vega; Navarrete, 2019; Ortiz, 2019). Elas estão enquadradas na metodologia do tipo PjBL, uma vez que o aprendizado é focado na construção de projetos interdisciplinares e em equipes (Sukacké *et al.*, 2022).

No contexto dos cursos de engenharias, no qual o profissional é responsável por realizar inúmeras atividades, o desenvolvimento de sistemas que são semelhantes ao real é a melhor forma de capacitação relativo ao controle de engenharia (Ahmad; Ismail, 2019). Estudos como os de Ortiz (2019), e Ahmad e Ismail (2019) destacam os benefícios, como maior motivação, habilidades de trabalho em equipe e compreensão prática dos conceitos. Essas iniciativas promovem a transferência de conhecimento e habilidades entre academia e indústria, alinhando esforços de pesquisa com demandas sociais, ambientais e de mercado (Vega; Navarrete, 2019).

A indústria de celulose brasileira está em ascensão, especialmente devido ao baixo custo da madeira, comparado a outros países. Dividida em unidades de extração de celulose, papel e plantas integradas, o setor utiliza predominantemente o processo *Kraft* para fabricar a polpa celulósica, que opera em circuito fechado visando a recuperação de insumos (EPE; IBÁ, 2022). Apesar da consolidação desse processo produtivo, o setor enfrenta desafios como a qualidade da cal, a qualidade de licor verde e o controle da eficiência de caustificação (Albeche, 2008). Em resposta às preocupações ambientais, as empresas buscam práticas sustentáveis, incluindo a gestão de resíduos.

Diante dessa realidade vivenciada pelo setor de papel e celulose foi proposto, a um grupo de discentes da graduação em engenharia, o desenvolvimento de uma planta piloto da etapa de caustificação do processo *Kraft* para consolidação do aprendizado. O projeto foi desenvolvido com o apoio dos docentes, sempre no intuito de fomentar a proatividade e multidisciplinariedade dos discentes envolvidos. Além disso, a planta piloto foi concebida com o intuito de aproximar a universidade das indústrias, bem como colaborar no desenvolvimento e estudo dos gargalos vivenciados pela indústria de celulose.

Na próxima seção apresenta-se, portanto, um exemplo de inovação no ensino com uso de metodologia PjBL, em sala de aula, laboratório e tecnologias digitais. O relato apresenta os ganhos na formação de um grupo de graduandos em Engenharia Química e de um graduando de Engenharia de Controle e Automação, quando há incentivo pelo docente no uso da multidisciplinariedade na concepção de uma planta piloto.

### 3. O PROJETO DA PLANTA PILOTO

O curso de Engenharia Química da UFMG oferece a disciplina Laboratório de Operações e Processos (LOP) no nono período, equivalente ao Trabalho de Conclusão de Curso. Esta disciplina desafia os discentes a desenvolverem autonomamente um projeto prático, aplicando conceitos da Engenharia Química.

Entre o período de agosto a dezembro de 2023, um grupo de quatro estudantes iniciou a implementação de uma planta piloto no Laboratório de Operações e Processos (LabOP) para a etapa de caustificação do Processo *Kraft*. O projeto envolveu reuniões com os docentes para discutir a temática, elaboração de cronograma e encontros regulares para acompanhamento das atividades, tanto presencialmente quanto virtualmente.

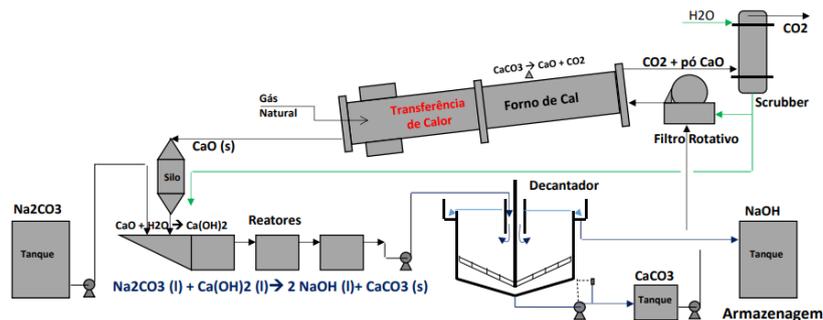
#### 3.1. O processo Kraft

O processo *Kraft* é constituído de várias etapas de processamento, tais como: polpação, branqueamento, evaporação, caldeiras, caustificação e forno de cal. Essas

etapas são cruciais para garantir a eficiência e qualidade do produto. A polpação, primeira etapa do processo, envolve a separação das fibras da madeira por meio de licor alcalino, como descrito por Kaur *et al.* (2020). Em seguida, o branqueamento é realizado para remover impurezas e melhorar a brancura da celulose (Mboowa, 2024). A evaporação é outra etapa essencial, na qual a água é removida para concentrar a polpa, como evidenciado por Biermann (1996). As caldeiras desempenham um papel essencial na geração de vapor necessário para diversas fases do processo (Hammett, 1994). A caustificação, como destacado por Sixta (2006), é responsável pela recuperação de produtos químicos e pela manutenção do pH adequado no processo. Por fim, o forno de calcinação é utilizado para a produção de cal, um dos componentes essenciais no processo de caustificação (Chai *et al.*, 2019). Essas etapas em conjunto garantem a eficiência e sustentabilidade da produção de celulose *Kraft*

A etapa de caustificação do Processo *Kraft* (Figura 1), alvo do projeto da planta piloto, caracteriza-se pela presença de uma série de tanques agitados que operam como reatores, um sistema de decantação e filtração, e um forno de calcinação. Diante da diversidade dos equipamentos, inicialmente os discentes realizaram uma revisão bibliográfica do setor de papel e celulose, em especial da etapa de caustificação, para conhecimento dos parâmetros essenciais para uma boa operação da planta piloto.

Figura 1 - Ilustração representativa do fluxo de equipamentos da etapa de caustificação



Fonte: Moraes, Lima e Bernardi (2018)

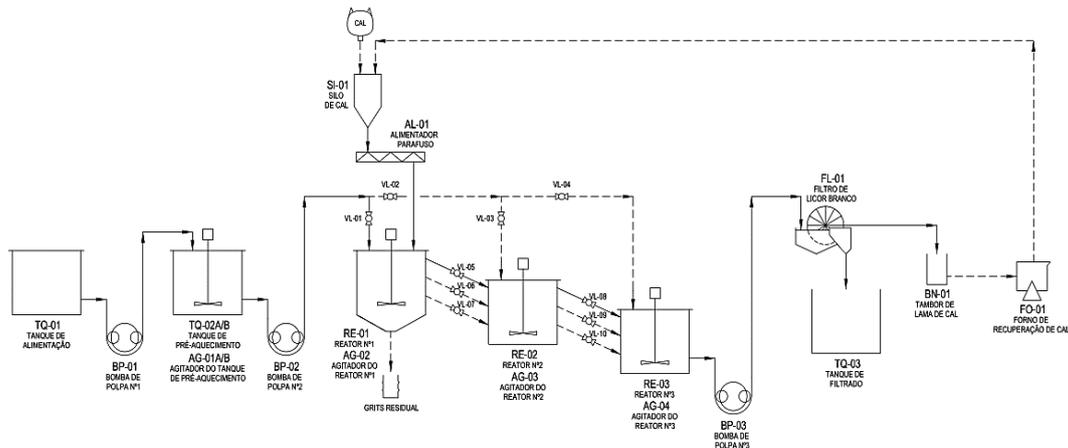
O processo industrial apresentado na Figura 1 tem como objetivo a recuperação do licor branco (solução NaOH + Na<sub>2</sub>S), que é responsável pela polpação da madeira, a partir de uma solução de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> e Na<sub>2</sub>S. Observe na Figura 1 que a solução de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> é bombeada para o primeiro caustificador, denominado de *slaker*, que recebe adição de cal (CaO). Após a reação entre Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> e CaO completar-se ao longo da série de reatores, obtém-se o CaCO<sub>3</sub> e NaOH. Esse fluido passa pelo decantador para que haja separação de fases, e conseqüentemente o NaOH retorna para a etapa de polpação da madeira. O CaCO<sub>3</sub> segue para um filtro e posteriormente é calcinado para geração da cal.

### 3.2. Desenvolvimento do PFD e do *layout* da planta piloto

Após a revisão bibliográfica e visita ao LabOP para conhecimento do espaço físico reservado à planta piloto, bem como dos equipamentos e instrumentos de controle disponíveis para uso no laboratório, os discentes realizaram a construção do fluxograma de processo (PFD – do inglês *Process Flow Diagram*) (Figura 2) e do *layout* da planta com auxílio da ferramenta AutoCAD (Figura 3). Essa etapa permitiu a aplicação e uso dos conhecimentos adquiridos em disciplinas anteriores como Desenho Técnico, Mecânica dos Fluidos e Processos Industriais, além de ter fomentado nos estudantes aprendizados relacionados a ergonomia e segurança de processos. Durante a etapa de construção do

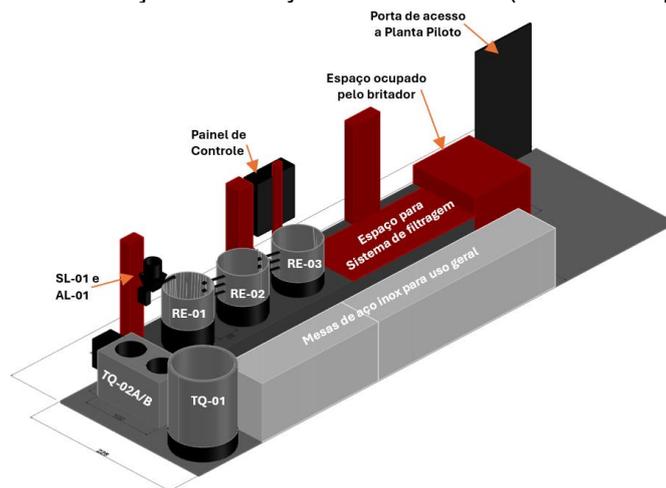
layout, os discentes avaliaram os efeitos de sedimentação nas tubulações utilizando o cálculo da velocidade crítica no MS Excel.

Figura 2 – Fluxograma de Processo desenvolvido<sup>1</sup>



Fonte: Elaboração própria

Figura 3 - Visualização 3D do layout desenvolvido (Sombreado posterior)<sup>2</sup>



Fonte: elaboração própria.

Observe que a Figura 2 apresenta o fluxo de equipamentos similar ao da Figura 1, com exceção do decantador. No projeto, os estudantes incorporaram um sistema para alimentação da solução de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , bem como de aquecimento, dado que a reação possui uma temperatura ideal próxima a  $80^\circ\text{C}$  (Andreola, 2000; Moraes; Lima; Bernardi, 2018). A Figura 3 apresenta a visão 3D construída com base no fluxograma da Figura 2, com exceção do sistema de filtragem, que será dimensionado em semestre letivos posteriores, e do forno de calcinação, no qual será utilizado um forno do tipo mufla localizado no LabOP. Além disso, a Figura 3 apresenta o painel de controle, bem como a via de acesso ao espaço da Planta Piloto, a ser isolada do restante do LabOP futuramente por placas de vidro.

### 3.3. Sistema de implantação do painel de controle da planta piloto

A montagem do painel de controle foi realizada no Laboratório de Validação de Sistemas (LVAS) do Departamento de Engenharia Eletrônica (DELT), como parte do

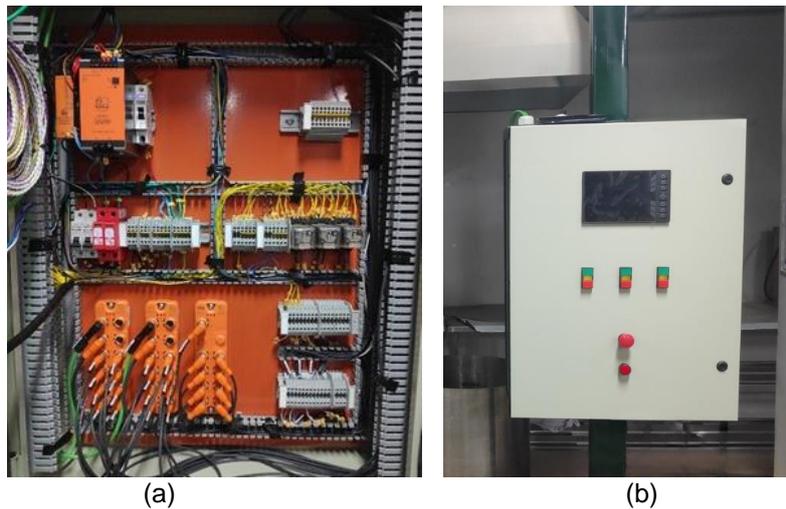
<sup>1</sup> Para o desenvolvimento do PFD e do layout, os alunos do LOP realizaram reuniões com um docente e um aluno de controle de automação, para assegurar integração entre as áreas, em prol da segurança e qualidade da operação

<sup>2</sup> No espaço reservado no LabOP para a Planta Piloto há um britador de mandíbulas que será mantido no local.

trabalho desenvolvido para as disciplinas Projeto Final de Curso I e II, do curso de Engenharia de Controle e Automação.

O painel concentra o Controlador Programável (CP), a Interface Humano-Máquina (IHM), os barramentos de campo e o módulo de entrada e saída. As conexões elétricas, por sua vez, baseiam-se nas especificações presentes nos diagramas elétricos e de comando elaborados preliminarmente, cujo resultado pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Painel de Controle: (a) visão interna; (b) visão frontal

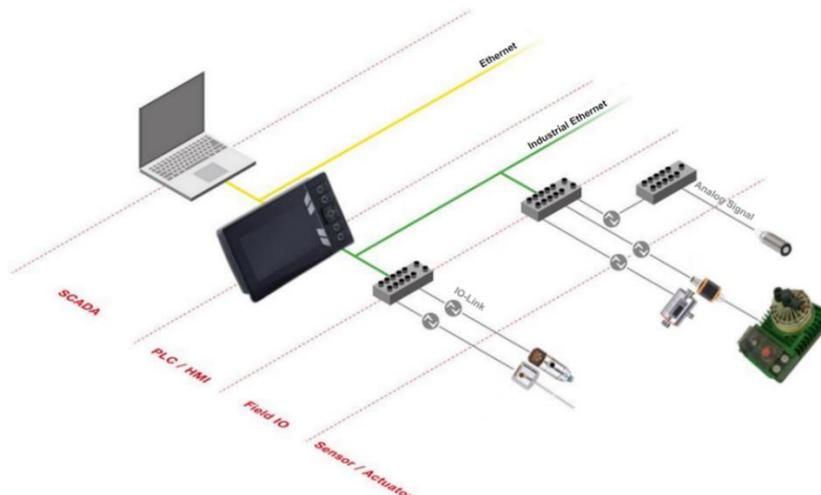


Fonte: Elaboração própria.

A Interface Humano-Máquina (IHM) (figura 4b) foi posicionada de maneira ergonômica e de fácil acesso, a uma altura de ~1,60m do chão, de forma que as informações e comandos principais estivessem em evidência. O painel supracitado integra a arquitetura de controle e automação cujo principal objetivo é viabilizar a operação da planta industrial em escala piloto e proporcionar um ambiente de aprendizado prático.

A partir da definição da arquitetura de automação, conforme a Figura 5, foi possível configurar o sistema de controle, aplicando os conhecimentos adquiridos em disciplinas como Informática Industrial, Instrumentação Industrial, Sistemas Distribuídos para Automação e Redes de Computadores.

Figura 5- Arquitetura de automação simplificada.



Fonte: Elaboração própria.

O discente de Controle e Automação ainda realizou reuniões com professores de Engenharia Química e alunos do LOP para compreensão do processo de caustificação, bem como dos parâmetros operacionais primordiais da planta. Em seguida, configurou-se a rede de instrumentação, possibilitando assim a parametrização dos sensores e, por conseguinte, a elaboração das lógicas necessárias para o controle e operação da planta. Para a supervisão do sistema, foram elaboradas interfaces dedicadas a simplificar o acompanhamento das informações medidas. Essas interfaces foram implementadas tanto na Interface Humano-Máquina (IHM) local, integrada ao Controlador Programável (CP), quanto em um software SCADA configurado durante o desenvolvimento do projeto.

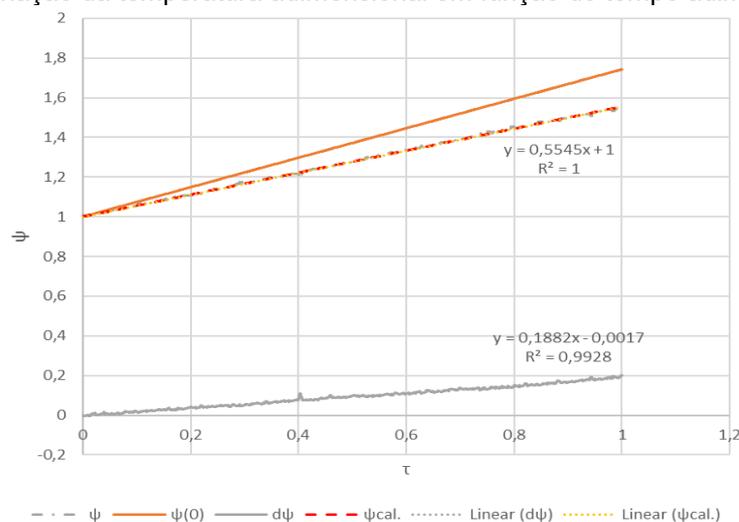
A arquitetura mencionada, será o ponto central para a leitura das variáveis de operação da planta, tais como: vazão, temperatura e nível, cujo objetivo é garantir que as informações provenientes dos sensores sejam tratadas e apresentadas de maneira intuitiva, facilitando assim sua incorporação aos estudos e ensaios a serem conduzidos na planta piloto.

### 3.4. Sistema de Aquecimento e de Bombeamento da planta piloto

Finalizada a primeira etapa do projeto, os discentes realizaram a instalação de um novo sistema elétrico nos tanques de aquecimento disponíveis no LabOP, que estavam inutilizados devido à fios desgastados e conexões rompidas. Nessa fase do projeto os discentes desenvolveram habilidades relacionadas à segurança de sistemas elétricos, funcionamento de dispositivos de controle como relé, chicote elétrico e termostato. Além disso, após a instalação do novo sistema elétrico, foi realizado o teste de funcionamento dos tanques de aquecimento com água. Foram obtidas curvas de operação dos tanques com análise do efeito de agitação sob a temperatura do fluido no tanque. A coleta dos dados de aquecimento possibilitou com o uso de métodos numéricos, especificamente do Método de Colocação Ortogonal (Oliveira, 2024), a construção de modelos para simulação e extrapolação de funcionamento do sistema de aquecimento (Figura 6).

A Figura 6 apresenta a relação linear entre a variação de temperatura com o tempo obtida com o experimento, onde  $\psi(0)$  representa o aquecimento ideal e curva ( $\psi$ ) demonstra o aquecimento. A curva ( $\psi$ ) apresenta os dados experimentais e a curva ( $\psi$  cal.) o modelo matemático proposto. Por fim, a curva ( $d\psi$ ) representa a perda de energia pelo sistema.

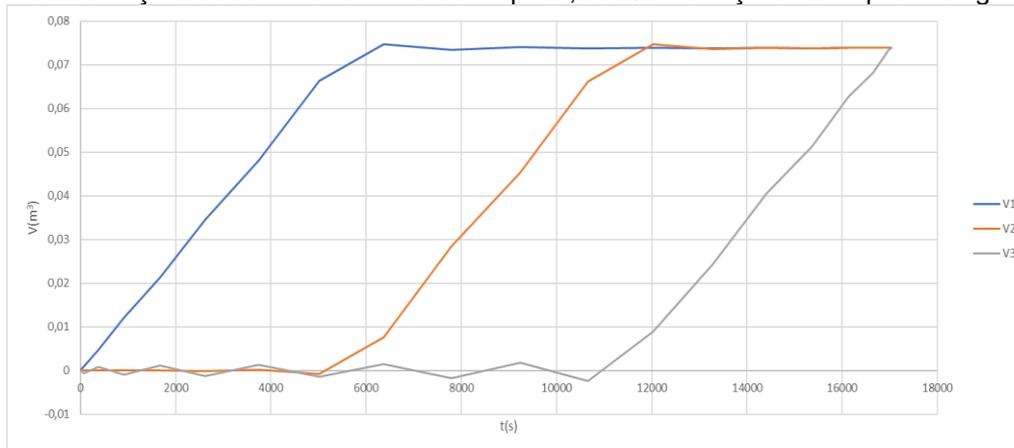
Figura 6 - Variação da temperatura adimensional em função do tempo adimensionalizado



Fonte: elaboração própria.

Não obstante, foram realizados testes com o sistema de bombeamento da planta piloto utilizando-se bombas do tipo peristálticas. Para esse sistema foi realizado a modelagem e simulação da operação de três bombas com três tanques em série utilizando o *software* MS Excel (Figura 7). As curvas apresentadas na Figura 7 apresentam informações relevantes quanto ao tempo demandado para que os tanques alcancem 80% de seu volume máximo: tanque 1 cerca de 6000s (cerca de 1,7h), tanque 2 cerca de 12000s (3,33h) e o tanque 3 cerca de 17000s (4,72h). Este comportamento da variação do volume de fluido é coerente diante do sistema proposto no *layout* da planta piloto, sendo necessário avaliar futuramente o comportamento da bomba com o uso do licor verde como fluido.

Figura 7 - Variação do volume de fluido no tanque 1, 2 e 3 em função do tempo em segundos<sup>3</sup>.



Fonte: Elaboração própria.

Os resultados permitiram validar a taxa de alimentação proposta pelos discentes, além de possibilitar a previsão de tempo de operação do processo mediante ao uso de um tanque pulmão. Não menos importante, o teste destacou a importância do estudo de queda de pressão em razão do atrito durante o transporte de fluidos, bem como consolidou os conhecimentos técnicos adquiridos na disciplina de mecânica dos fluidos.

Como etapa final os discentes efetuaram a escrita de um relatório técnico apresentando revisão bibliográfica, metodologia e todas as etapas realizadas ao longo do semestre. O trabalho foi arguido perante uma banca de professores de diferentes áreas dos cursos de Engenharia Química, Engenharia Eletrônica e Engenharia Controle e Automação. Foram realizadas discussões acerca de quesitos técnicos abordados nos relatórios que colaboraram com o escopo do projeto e definição de futuras etapas.

Dado o contexto de início de implementação do projeto, em especial em relação ao tempo curto para a sua implementação (~4 meses), os discentes realizaram adaptações no cronograma de atividades, como a substituição de análise do funcionamento do painel de controle pela avaliação do sistema de bombeamento.<sup>4</sup> Futuramente é previsto o uso da planta piloto por outras disciplinas da grade curricular de Engenharia Química (Operações e Processos e Cinética) e Engenharia de Controle e Automação (Instrumentação Industrial e Laboratório de Controle e Automação II). Portanto, a integração entre cursos, discentes e docentes ocorrerá de maneira gradativa, à medida que a planta piloto for desenvolvida. Não obstante, dado que a planta ainda está no início de seu desenvolvimento e aplicação, (estando limitada à disciplina do LOP e Projeto Final de Curso, da grade de Engenharia

<sup>3</sup> A modelagem considera o uso de cerca 80% da capacidade dos tanques em razão da altura pré-definida para as tubulações de conexão entre os tanques, além dos procedimentos de segurança para operação da planta dado o ambiente alcalino que se processa a etapa de caustificação.

<sup>4</sup> Em semestres posteriores é previsto a avaliação do painel de controle

Química e de Controle e Automação, respectivamente) depreende-se a baixa representatividade que uma análise estatística indicaria em relação aos impactos deste projeto.

#### 4. MATRIZ COMPETÊNCIAS GERAIS DO ENGENHEIRO: INTEGRAÇÃO DO PJBL AOS PROJETOS DE PLANTA PILOTO

O Quadro 1 apresenta conclusões dos discentes em relação às habilidades e conhecimentos desenvolvidos pelos mesmos em cada fase do projeto, com base nos desafios enfrentados, com a segmentação conforme previsto pelas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) do Curso de Graduação em Engenharia (Brasil, 2019).

Quadro 1 – Habilidades desenvolvidas nos projetos

Habilidade	Projeto da Planta Piloto	Projeto da Arquitetura de Automação
Visão holística e humanista	A indústria de papel e celulose durante a etapa de caustificação lida com diversos parâmetros que impactam na qualidade do licor branco. Dado que testar em escala industrial é difícil por questões financeiras e de segurança, o uso de planta piloto é uma solução viável. Desenvolver isso em um ambiente universitário promove a multidisciplinaridade e envolve os estudantes, incentivando habilidades técnicas. A proatividade deles é potencializada e possibilita maior eficiência no projeto.	O sensoriamento e automação da planta piloto viabiliza a obtenção de dados relevantes e confiáveis para os estudos que utilizem este recurso. Além disso, a arquitetura elaborada constitui alternativa prática no ensino de automação industrial e, posteriormente, controle de processos. Essa abordagem, em conjunto com a fundamentação teórica, resulta no desenvolvimento de habilidades essenciais para os discentes, preparando-os para sua melhor integração ao mercado de trabalho.
Graduação/ formação técnica	O desenvolvimento da planta piloto permitiu a aplicação de conhecimentos desenvolvidos nas disciplinas curriculares como Transferência de calor, Mecânica dos fluidos e Desenho técnico. Os discentes associaram a teoria à prática, identificando os equipamentos e dispositivos na planta. Essa habilidade desenvolvida permitiu a construção de uma visão técnica do processo, auxiliando na melhoria dos processos propostos a planta piloto. Além disso, os discentes discutiram acerca do controle e instrumentação da planta piloto, para que em etapas futuras o processo possa ser automatizado e operado de maneira remota, por exemplo.	O projeto da arquitetura de automação permitiu a consolidação de diversos conceitos e técnicas relacionadas ao curso de Engenharia de Controle e Automação, exigindo a aplicação de conhecimentos adquiridos em disciplinas como Informática Industrial, Instrumentação Industrial e Sistemas Distribuídos para Automação. Além disso, foram desenvolvidas habilidades relacionadas à elaboração de documentação e gerenciamento de projetos de Engenharia.
Incorporação de tecnologias digitais	Durante o desenvolvimento do PFD, fluxograma e visualização 3D da Planta Piloto os discentes utilizaram o <i>software</i> AutoCAD para desenho virtual. Além disso, para resolução de equações diferenciais parciais foi utilizado o MS Excel através do método numérico de Colocação Ortogonal. Não menos importante, para a aquisição de dados durante os testes foram utilizados dispositivos eletrônicos que permitissem a coleta de dados em tempo real.	Para a elaboração do projeto foi utilizado um controlador programável com processador ARM quad-core e GPU integrada. Além disso, a rede de comunicação do sistema de automação baseia-se em um protocolo digital aplicado na indústria, o IO-Link. Para configuração da rede de instrumentos e lógicas de controle foi utilizado o CODESYS, dentre outros <i>softwares</i> específicos destinados à leitura e parametrização dos instrumentos. A elaboração do sistema supervisor, foi realizada no AVEVA Indusoft.

Habilidade	Projeto da Planta Piloto	Projeto da Arquitetura de Automação
Interdisciplinaridade e abordagem multidisciplinar;	Os estudantes foram responsáveis por definir os parâmetros de operação da planta, aplicando conhecimentos de diversas áreas, como elétrica para o sistema de aquecimento, transferência de calor para entender seu funcionamento, transferência de fluidos para dimensionar válvulas e tubulações, engenharia de corrosão devido à alta alcalinidade das soluções, segurança de processos para lidar com altas temperaturas e reações básicas, ergonomia para garantir a saúde do operador, avaliação econômica para eficiência financeira, e gestão de projeto devido à longa duração e alta rotatividade dos grupos participantes.	Durante a elaboração do projeto, os conhecimentos de Instrumentação Industrial foram essenciais para compreender e parametrizar adequadamente os instrumentos. Além disso, para a utilização do protocolo de comunicação e a configuração do Controlador Programável e da rede de instrumentos, foram aplicados os conhecimentos de disciplinas como Sistemas Distribuídos para Automação e Informática Industrial. Esta última foi, também, crucial para elaboração da documentação técnica, como os diagramas elétricos e de comando.
Resolução de problemas de engenharia;	O principal desafio de engenharia no projeto foi desenvolver um <i>layout</i> seguro e operacional para a planta piloto. Os discentes criaram esboços 2D e 3D considerando transferência de fluidos, transferência de calor e cinética química da etapa de caustificação. Testes experimentais validaram os equipamentos propostos, incluindo sistemas de aquecimento e bombeamento. A seleção de materiais resistentes à corrosão e alta temperatura foi crucial para a vida útil e segurança da planta. Além disso, incluíram no <i>layout</i> um painel de controle para automação e medição em tempo real de parâmetros como temperatura, vazão e nível, visando operação remota futura.	O objetivo principal do trabalho foi desenvolver um sistema de automação, utilizando uma arquitetura baseada em dispositivos industriais. Todos os passos relativos à configuração dos equipamentos foram executados de forma a integrá-los em uma arquitetura funcional. O projeto abrangeu desde a parametrização de cada dispositivo até a disponibilização desses dados em uma interface que não apenas exibe as informações, mas também permite o controle das bombas. Ao longo deste processo, foram exploradas e desenvolvidas soluções para cada um dos três primeiros níveis da pirâmide de automação, conforme definido pela ISA-95.
Capacidade de avaliação	O desenvolvimento da planta piloto de caustificação proporcionou aos discentes a aplicação de conhecimentos adquiridos de forma interdisciplinar, destacando a importância de aprendizados além da sala de aula. Eles ressignificaram equipamentos do laboratório e validaram seu uso para a planta piloto. Além disso, sugeriram trabalhos futuros, como implementação e testes do painel de controle, desenvolvimento do sistema de filtração e construção dos demais caustificadores, e realização de testes de bombeamento com os três caustificadores.	O projeto alcançou o objetivo principal de desenvolver uma arquitetura de automação para a operação da planta. Além disso, a documentação técnica elaborada durante o desenvolvimento do projeto oferece uma compreensão clara da operação do sistema e orienta sua manutenção, facilitando a expansão do projeto, que serve de alicerce, no qual trabalhos futuros podem ser desenvolvidos, como a implementação das malhas de controle e um sistema de aquisição de dados históricos.

Fonte: Os autores

Os professores orientadores relatam que o desenvolvimento de plantas piloto tende a aumentar a participação dos discentes e que os mesmos são mais motivados durante o projeto. Ademais, a integração entre os próprios docentes se torna mais engajadora, a partir do desenvolvimento do trabalho em conjunto e, por vezes, favorece a participação em bancas de curso distinto, como por exemplo professores da Engenharia Química que participaram de bancas na Engenharia de Controle e Automação e vice e versa. Por fim, os estudantes demonstraram melhores capacidades de trabalho em equipe, aumentaram a interação colaborativa e proporcionaram uma aproximação da academia com o setor produtivo de celulose.

## 5. CONCLUSÃO

Considerando que tradicionalmente os cursos de engenharia têm sido baseados em métodos de ensino convencionais, que não atendem totalmente às exigências do mercado atual, as metodologias ativas despontam como diferencial para o ensino. Essas abordagens permitem a participação dos estudantes no processo de aprendizado, tornando-se cruciais para garantir a qualidade do ensino superior. Conclui-se, portanto, que essas metodologias centradas em projetos são especialmente valiosas na formação técnica e profissional dos estudantes, ao estimularem ambientes colaborativos para resolver problemas reais.

A partir da concepção de uma planta piloto para a etapa de caustificação do processo *Kraft* na UFMG é possível concluir que a abordagem de ensino ativas permitiu a vivência dos desafios da indústria de celulose. O projeto com ênfase na interdisciplinaridade e no trabalho em equipe está sendo adotado para os discentes de graduação em Engenharia, e permite a análise e controle da eficiência de caustificação durante o processo de fabricação da polpa celulósica.

Além disso, foi possível observar que as atividades desenvolvidas pelos discentes no projeto da planta piloto permitiram aos estudantes aplicarem conhecimentos técnicos desenvolvidos em disciplinas diversas para resolver problemas reais da indústria, aprimorando habilidades e competências essenciais para a engenharia. A experiência confirma que o desenvolvimento de protótipos e plantas pilotos no ensino de engenharia forma profissionais aptos a enfrentar as demandas do mercado atual, conforme habilidades e competências descritas nas Diretrizes Curriculares Nacionais dos cursos de Engenharia.

Como etapas futuras, o projeto continuará em desenvolvimento pelos próximos semestres letivos, com a automatização da planta, por meio do painel de controle, além da inclusão de novos equipamentos, tal qual o filtro, que permita a realização do processo de caustificação completo, para que os resultados possam ser observados. Ademais, futuramente com a inclusão de novas disciplinas, as quais contribuirão com novos pontos de vista, o projeto ampliará tanto o aprendizado dos alunos quanto o desenvolvimento do pensamento crítico de engenharia, com a inclusão de estratégias para a otimização do processo, por exemplo.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação Christiano Ottoni pelo apoio financeiro por intermédio do professor Marcelo Cardoso, a quem também agradecemos o apoio à publicação deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, M. M. AL-N.; ISMAIL, A. AL-H. M. S. The importance of training on engineering control of hazardous materials using pilot plant. **Journal of Science and Technology : in Engineering and Computer Sciences**, v. 20, n. 1, p. 64–71, 30 abr. 2019.

ALBECHE, K. DE S. **Estudo e proposta de metodologia para o desenvolvimento de sistemas de informática industrial para fábricas de celulose**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, out. 2008.

ANDREOLA, R. et al. Modelagem e simulação de um reator industrial de apagamento. (online). **Acta Scientiarum**, v. 22, n. 5, p. 1219-1224, 2000.

BELISÁRIO, A. B. *et al.* Relatos de experiência de inserção de tecnologias digitais no ensino de Engenharia. **Revista Docência do Ensino Superior**, v. 10, p. 1–18, 4 fev. 2020.

BIERMANN, C. J. **Handbook of Pulping and Papermaking**. 2. ed. [s.l.] Elsevier, 1996.

BRASIL. Ministério da Educação. Câmara de Educação Superior. **Resolução nº 2, de 24 de abril de 2019**. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Câmara de Educação Superior. 2019.

CHAI, X. *et al.* A hydrothermal-carbonization process for simultaneously production of sugars, graphene quantum dots, and porous carbon from sugarcane bagasse. **Bioresource Technology**, v. 282, p. 142–147, jun. 2019.

DUL, J.; BRUCKER, G. C.; WEERDMEESTER, B. **Manual de Ergonomia: Adaptando o Trabalho ao Homem**. São Paulo: Edgard Blücher, 2012.

EPE - empresa de pesquisa energética; IBÁ - indústria brasileira de árvores. **A Indústria de Papel e Celulose no Brasil e no Mundo**. [s.l.: s.n.].

FELDER, R. M. Learning and Teaching Styles In Engineering Education. **Engineering Education**, v. 78, n. 7, p. 674–681, 1988.

HAMMETT, L. P. **Steam Generation: Theory and Practice**. [s.l.] Marcel Dekker, 1994.

INDUSTRIALL. **Impactos da pandemia para a Indústria de Papel e Celulose**. Disponível em: <<https://industriall.ai/blog/impactos-da-pandemia-para-a-industria-de-papel-e-celulose>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

KAPRANOS, P. Teaching and Learning in Engineering Education – Are We Moving with the Times? **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 102, p. 3–10, nov. 2013.

KAUR, N. *et al.* Review on neoteric biorefinery systems from detritus lignocellulosic biomass: A profitable approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 256, p. 120607, maio 2020.

MBOOWA, D. A review of the traditional pulping methods and the recent improvements in the pulping processes. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 14, n. 1, p. 1–12, 3 jan. 2024.

MORAES, F.; LIMA, P.; BERNARDI, N. **Modelo para a eficiência de conversão da reação de caustificação na indústria de celulose**. XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Química e XVII Encontro Brasileiro sobre o Ensino de Engenharia Química. **Anais**. São Paulo: 2018

NOORDIN, M. K. *et al.* **Problem-Based Learning (PBL) and Project-Based Learning (PjBL) in engineering education: a comparison**. Proceedings of the IETEC'11 Conference. **Anais...Kuala Lumpur, Malaysia**.: 2011

OLIVEIRA, I. M. (2024). **Método de Colocação Ortogonal: Resolva equações diferenciais usando planilhas eletrônicas como Excel - Enfoque prático e amigável usando matrizes.** (2024). [s.l.]:[s.n].

ORTIZ, F. J. G. A pilot-scale laboratory experience for an inductive learning of hydrodynamics in a sieve-tray tower. **Education for Chemical Engineers**, v. 29, p. 42–55, out. 2019.

SANTOS, F. R. DOS *et al.* Pedagogical strategies for Chemical Engineering courses: Skills development through Project-based learning (PBL). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e40310715545, 26 jun. 2021.

SIXTA, H. **Handbook of Pulp.** [s.l.] Wiley-VCH, 2006.

SUKACKÉ, V. *et al.* Towards Active Evidence-Based Learning in Engineering Education: A Systematic Literature Review of PBL, PjBL, and CBL. **Sustainability**, v. 14, n. 21, p. 13955, 27 out. 2022.

VEGA, F.; NAVARRETE, B. Professional design of chemical plants based on problem-based learning on a pilot plant. **Education for Chemical Engineers**, v. 26, p. 30–34, jan. 2019.

## INCORPORATING OF ACTIVE METHODS INTO PILOT PLANT DEVELOPMENT

**Abstract:** The rapid changes in social interactions and easy access to information brought by technological advances require that professors rethink and rebuild teaching to maintain its quality. Active teaching methodologies have been used to ensure the development of essential skills for professionals, so that they can deal with the current challenges and demands of the job market. This study aims to report the use of active project-based methodologies with undergraduate engineering students at the Federal University of Minas Gerais. This study details the implementation of a pilot plant for the causticizing stage of the pulp and paper Kraft Process. Additionally, it describes the development of a control panel for use in this pilot plant. These activities were essential for the professional training of the people involved, as they ensured the improvement of skills and competencies that are expected of engineering professionals in accordance with the National Curriculum Guidelines, such as the ability to work in teams. The students could be able to apply their technical knowledge in real situations in an interdisciplinary and multidisciplinary collaborative environment that fosters the resolution of complex engineering problems in an innovative way, with a holistic and humanistic vision that also considers social and sustainability aspects. They also demonstrated increased motivation and experienced the connection between industry and academia, which is essential for demonstrating the applicability of the techniques learned throughout the courses.

**Keywords:** Pilot plant; Control panel; Teaching; Engineering; Active methodology; PjBL

