

INSTITUTO FEDERAL SUL-RIO-GRANDENSE
CÂMPUS PELOTAS - VISCONDE DA GRAÇA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO

RICARDO PREDIGER

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA COMO POSSIBILIDADE PARA POTENCIALIZAR
AS APRENDIZAGENS EM CONTROLE DE PROCESSOS
NO CURSO TÉCNICO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**Pelotas
2025**

RICARDO PREDIGER

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA COMO POSSIBILIDADE PARA POTENCIALIZAR
AS APRENDIZAGENS EM CONTROLE DE PROCESSOS
NO CURSO TÉCNICO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias na Educação do Câmpus Pelotas - Visconde da Graça do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências e Tecnologias na Educação.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 13 junho de 2025.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Fernando Augusto Treptow Brod
Orientador - PPGCITED CaVG IFSul

Profa. Dra. Maria Isabel Giusti Moreira
Coorientadora - PPGCITED CaVG IFSul

Profa. Dra. Carla Denize Ott Felcher
PPGEMAT Pelotas UFPel

Prof. Dr. Jair Jonko Araujo
PPGEdu – Campus Pelotas - IFSul

Prof. Dr. Marcos André Betemps Vaz da Silva
PPGCITED CaVG IFSul

Ficha catalográfica elaborada pelo bibliotecário Tiago de Barros Vieira CRB 2872

P922s Prediger, Ricardo

Sequência Didática como Possibilidade para Potencializar
as Aprendizagens em Controle de Processos no Curso
Técnico em Automação Industrial [recurso eletrônico]
/ Ricardo Prediger. -- 2025.

98 f.

a Dissertação (mestrado) - Instituto Federal Sul-rio-grandense
- Câmpus Pelotas - Visconde da Graça do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense.
Pelotas, 2025.

1. Controladores PID. 2. Aprendizagem significativa.
3. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa I. Brod,
Fernando Augusto Treptow. II. Moreira, Maria Isabel
Giusti. III. Título.

CDD: 37.01

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha amada esposa, Gabriela Waskow, que caminha ao meu lado todos os dias, incentivando-me e inspirando-me a ser uma pessoa melhor. Seu apoio, compreensão e encorajamento foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. Sem você, eu não estaria aqui.

Minha gratidão também se estende ao meu Pai Reneu e minha mãe Vera, que desde cedo me mostraram que o estudo é o melhor caminho a seguir. Com o apoio constante e as oportunidades que me proporcionaram, pude trilhar trajetórias seguras e abraçar as chances que a vida me ofereceu.

Dedico, ainda, este trabalho às minhas irmãs Carolina e Vanessa por quem nutro profunda admiração. Cada uma, ao seu modo, sempre torceu por mim, e sou imensamente grato por esse carinho. Mesmo distantes fisicamente, sei que estão vibrando com esta conquista.

AGRADECIMENTO

Agradeço, com o mais profundo reconhecimento, ao meu orientador, Professor Doutor Fernando Augusto Treptow Brod, por me acolher com atenção e me orientar com uma dedicação rara de se encontrar. Seus conselhos sempre assertivos e transmitidos com gentileza foram fundamentais para que eu enfrentasse, com segurança e confiança, o desafio de concluir este curso.

À Professora Doutora Maria Isabel Giusti Moreira, minha coorientadora, expresso minha sincera gratidão pelo constante acolhimento e pela atenção dedicada ao longo de toda a minha trajetória. Sua presença ativa e prestativa nos momentos mais importantes da minha formação foi essencial para a qualidade deste trabalho, razão pela qual deixo aqui o meu eterno agradecimento.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias na Educação (PPGCITED) por me conduzirem na descoberta deste novo universo de conhecimentos e desafios, ampliando minha visão acadêmica e profissional.

Aos membros das bancas de qualificação e defesa — Professora Doutora Carla Denize Ott Felcher, Professor Doutor Jair Jonko Araujo e Professor Doutor Marcos André Betemps Vaz da Silva — agradeço pela generosidade do tempo dedicado, pelas sugestões pertinentes e pelo comprometimento com a qualificação deste trabalho.

Por fim, meu agradecimento especial aos amigos e colegas do Instituto Federal Sul-rio-grandense – Câmpus Camaquã, que me motivaram a buscar minha qualificação. Sem o apoio e incentivo de vocês, talvez esta jornada sequer tivesse começado.

“Se cheguei até aqui foi porque me apoiei
no ombro dos gigantes”.

Isaac Newton

RESUMO

Este trabalho apresenta a elaboração e validação de uma sequência didática para potencializar o aprendizado de controladores Proporcional, Integral e Derivativo (PID), utilizando um ambiente simulado para experimentação e ajuste dos parâmetros do controlador. O estudo aborda as limitações do ensino prático de controle de processos industriais no Curso Técnico em Automação Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul) – Câmpus Camaquã, onde a escassez de bancadas práticas dificulta a realização de atividades experimentais essenciais para a compreensão dos controladores PID. Para superar essas limitações, foi desenvolvida e validada uma sequência didática, fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1963) e estruturada como uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) de Moreira (2010). A proposta utiliza um simulador digital, desenvolvido pelo autor no software gratuito SciLab, que permite simulações práticas em dispositivos individuais, com foco no controle de velocidade de um automóvel – um exemplo cotidiano capaz de atuar como ponto de ancoragem para facilitar a compreensão e aplicação dos conceitos de controle PID. A sequência didática foi aplicada a uma turma do 4º ano do curso, e os dados coletados foram analisados segundo a abordagem qualitativa de Robert Yin (2016), estruturada em cinco fases. Os resultados apontaram indícios de boa recepção da proposta pelos alunos, revelando seu potencial para favorecer a aprendizagem significativa dos conceitos de controle PID.

Palavras-chave: Controladores PID. aprendizagem significativa. simulador digital. SciLab. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

ABSTRACT

This work presents the development and validation of a teaching sequence to enhance the learning of Proportional, Integral and Derivative (PID) controllers, using a simulated environment for experimentation and adjustment of the controller parameters. The study addresses the limitations of practical teaching of industrial process control in the Technical Course in Industrial Automation of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio Grande do Sul (IFSul) - Camaquã Campus, where the scarcity of practical benches makes it difficult to carry out experimental activities essential for the understanding of PID controllers. To overcome these limitations, a teaching sequence was developed and validated, based on David Ausubel's Theory of Meaningful Learning (1963) and structured as a Potentially Meaningful Teaching Units (PMTU) by Moreira (2010). The proposal uses a digital simulator, developed by the author in the free SciLab software, which allows practical simulations on individual devices, focusing on the speed control of a car – an everyday example capable of acting as an anchor point to facilitate the understanding and application of PID control concepts. The teaching sequence was applied to a 4th-year class of the course, and the data collected were analyzed according to Robert Yin's (2016) qualitative approach, structured in five phases. The results indicated that the proposal was well received by the students, revealing its potential to promote meaningful learning of PID control concepts.

Keywords:

PID controllers, meaningful learning, digital simulator, SciLab, Potentially Meaningful Teaching Units.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Resultado da busca realizado na plataforma google acadêmico	20
Figura 2: Resultado da busca realizado na plataforma proEdu	21
Figura 3: Resultado da busca realizado na plataforma BDTD.....	22
Figura 4: Resultado da busca realizado na plataforma eduCAPES	23
Figura 5: Regulador centrífugo para controlar a velocidade de James Watt	34
Figura 6: Representação de um somado em um diagrama de blocos	35
Figura 7: Diagrama de bloco de um sistema de controle de malha fechada	36
Figura 8: Diagrama de bloco de um sistema de controle de malha aberta.....	36
Figura 9: Comportamento típico de um controle ON-OFF	37
Figura 10: Cinco fases de análise e suas interações	48
Figura 11: Supervisório do sistema durante a simulação	51
Figura 12: Resultado da simulação	51
Figura 13: Apresentação do vídeo de apoio.....	58
Figura 14: Apresentação do simulador.....	61
Figura 15: Estudantes utilizando o simulador.....	64
Figura 16: Estudantes escolhendo modelos de veículos.....	65
Figura 17: Estudantes executando simulações e discutindo resultados.....	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Resumo o processo de busca e triagem dos trabalhos	23
Quadro 2: Resultados selecionados	24
Quadro 3: Aspectos positivo e negativo de cada ação do controle PID	38
Quadro 4: Passos para a elaboração da UPES.....	44
Quadro 5: Proposta da sequência didática.....	53
Quadro 6: Avaliação Contínua da Sequência Didática - 1º encontro	55
Quadro 7: Avaliação Contínua da Sequência Didática - 2º encontro	59
Quadro 8: Avaliação Contínua da Sequência Didática - 3º encontro	63
Quadro 9: Avaliação Contínua da Sequência Didática - 4º encontro	66
Quadro 10: Veículos escolhidos pelos estudantes	69
Quadro 11: Avaliação Contínua da Sequência Didática - 5º encontro	70
Quadro 12: Avaliação Contínua da Sequência Didática - 6º encontro	72
Quadro 13: Análise da questão 1 baseado na proposta Yin (2016)	74
Quadro 14: Análise da questão 2 baseado na proposta Yin (2016)	77
Quadro 15: Análise da questão 3 baseado na proposta Yin (2016)	79
Quadro 16: Análise da questão 4 baseado na proposta Yin (2016)	82
Quadro 17: Análise da questão 5 baseado na proposta Yin (2016)	84
Quadro 18: Matriz curricular do Curso Técnico em Automação Industrial do campus Camaquã.	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVA	Ambiente Virtual de Aprendizagem
CAVG	Campus Pelotas - Visconde da Graça
EBTT	Ensino Básico, Técnico e Tecnológico
IFPB	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
IFSUL	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-
grandense	
PID	Proporcional integral derivativo
PPC	Projeto Pedagógico do Curso
PPGCITED	Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologias na
Educação	
SCADA	Controle Supervisório e Aquisição de Dados
SDCP	Sistema Digital de Controle Distribuído
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UEPS	Unidade de Ensino Potencialmente Significativa
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DA LITERATURA	19
3. REFERENCIAL TEÓRICO	29
3.1. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	29
3.2. METODOLOGIAS ATIVAS	32
4. CONTROLE AUTOMÁTICO DE PROCESSOS	34
4.1. CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE CONTROLE DE PROCESSOS	35
4.2. O CONTROLE ON-OFF	37
4.3. O CONTROLE PID	37
4.4. SOFTWARES DE SIMULAÇÃO	39
5. METODOLOGIA	41
5.1. UEPS	42
5.2. CONTEXTO DA PESQUISA	45
5.3. SUJEITOS DA PESQUISA	47
5.4. ANÁLISE DOS DADOS	48
6. PRODUTO EDUCACIONAL	50
6.1. 1º ENCONTRO	55
6.2. 2º ENCONTRO	58
6.3. 3º ENCONTRO	62
6.4. 4º ENCONTRO	66
6.5. 5º ENCONTRO	70
6.6. 6º ENCONTRO	72
7. AVALIAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	74
7.1. ANÁLISE DA QUESTÃO 1	74
7.2. ANÁLISE DA QUESTÃO 2	77
7.3. ANÁLISE DA QUESTÃO 3	79
7.4. ANÁLISE DA QUESTÃO 4	81
7.5. ANÁLISE DA QUESTÃO 5	84
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
Apêndice A.	92

Apêndice B.94

Apêndice C.96

Apêndice D.97

TRAJETÓRIA ACADÊMICA E PROFISSIONAL

Minha trajetória acadêmica e profissional influenciou diretamente o desenvolvimento desta proposta. Após concluir o Ensino Fundamental no interior de São Lourenço do Sul, RS, tive a oportunidade de cursar o Ensino Médio no Instituto de Educação Ivoti, em Ivoti, RS, onde fui aluno interno. De 2005 a 2009, continuei meus estudos em Pelotas, RS, no Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET-RS), que, em 29 de dezembro de 2008, passou a ser o Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul), Câmpus Pelotas. Nessa Instituição, cursei Tecnologia em Automação Industrial. Também no Câmpus Pelotas, entre 2007 e 2012, estudei Engenharia Elétrica, sendo um dos 50 primeiros alunos a ingressar no curso e um dos 5 presentes na primeira formatura.

Ingressei como professor substituto em setembro de 2010 no Curso Técnico em Telecomunicações do Câmpus Pelotas do IFSul, onde lecionei disciplinas de desenho técnico. No final do mesmo ano, assumi como professor efetivo de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico (EBTT) no Câmpus Camaquã do IFSul. Na época, o Câmpus estava iniciando suas atividades, e eu fui um dos primeiros professores dos cursos técnicos na área de automação. Contribuí para a criação do Curso Técnico Integrado em Automação Industrial, além de auxiliar no desenvolvimento do Curso Técnico em Eletrotécnica. Ao longo dos anos, ministrei diversas disciplinas em ambos os cursos, com destaque para áreas como eletricidade, eletrônica, programação, robótica e controle de processos.

Ingressei no curso de mestrado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), onde concluí todos os créditos necessários. No entanto, não consegui desenvolver o trabalho e a dissertação e, eventualmente, fui desligado do curso. Esse foi um período muito conturbado na minha trajetória profissional, pois me deixou bastante abalado. Levei cerca de cinco anos para me sentir pronto para buscar outro programa de qualificação.

É importante destacar que, durante o início da minha carreira como professor, tive o privilégio de trabalhar com muitos colegas mais experientes, que me ensinaram a ver, analisar e pensar de maneiras diferentes. Eles me inspiraram a buscar constantemente formas de me tornar um professor melhor, e sou grato a cada um deles por isso. Hoje, acredito ser um professor mais capacitado, resultado do esforço conjunto e do trabalho árduo desses colegas ao longo da minha jornada.

1. INTRODUÇÃO

A consolidação do aprendizado em disciplinas técnicas, como as da área de automação industrial, depende fortemente de atividades práticas. Breganon *et al.* (2021) discorre sobre a importância das atividades práticas por serem uma parte essencial para os cursos de engenharia e técnicos, pois permitem que os alunos observem, experimentem, analisem e consolidem o aprendizado. No entanto, uma das dificuldades recorrentes no ensino de Controle de Processos Industriais reside na limitação de recursos laboratoriais, que muitas vezes não são suficientes para atender à demanda de todos os estudantes. Essa realidade impacta diretamente a qualidade do ensino e a experiência prática dos alunos.

No ensino de disciplinas técnicas, especialmente na área de automação industrial, é desejável que o aluno tenha contato com atividades práticas para auxiliar na compreensão dos temas propostos. No curso Técnico em Automação Industrial do Câmpus Camaquã do Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul), onde leciono, uma das disciplinas ministradas é Controle de Processos Industriais. Nessa disciplina, os estudantes são apresentados aos fundamentos da teoria de controle e ao funcionamento dos tipos de controle mais utilizados na indústria. Embora essa disciplina tenha uma tendência a ser demasiadamente teórica, especialmente em cursos de graduação, no contexto de cursos técnicos é essencial que os alunos possam aplicar esses conceitos de forma prática.

No entanto, o Câmpus Camaquã do IFSul dispõe de apenas duas bancadas de controle de processos para realizar experimentos práticos. Com turmas frequentemente superiores a 20 alunos, torna-se inviável que todos realizem as atividades de maneira satisfatória. Além disso, o acesso às bancadas se limita aos horários de aula ou ao contraturno, quando o laboratório está disponível. Esse cenário dificulta a participação plena de alunos que residem longe do Câmpus ou que têm dificuldades em estar presentes em horários fora da grade normal.

Diante dessas limitações, busquei alternativas para proporcionar uma experiência prática mais acessível e eficiente. De acordo com Smetana (2012), as simulações por computador podem ser tão eficazes quanto as práticas tradicionais na promoção do conhecimento científico, no desenvolvimento de habilidades de processo e na facilitação de mudanças conceituais. Durante minha pesquisa, analisei diferentes opções de software de simulação, como o Factory I/O®, que é amplamente

utilizado na área de automação. No entanto, o fato de ser um software pago e de difícil acesso para os estudantes, especialmente fora do ambiente institucional, inviabilizou sua adoção. O objetivo era encontrar uma ferramenta que pudesse ser utilizada de maneira contínua pelos alunos, em sala de aula e em casa.

Nesse sentido, identifiquei o SciLab®, um software gratuito de computação numérica similar ao Matlab®, como uma solução viável. Conforme Campbell *et al.* (2006) e UFRGS (s.d.) o SciLab® não apenas possibilita a realização de simulações, mas também é de fácil acesso e uso, permitindo que os alunos executem atividades práticas em seus próprios dispositivos, a qualquer momento e lugar. Isso expande as possibilidades de aprendizado prático além das limitações físicas do laboratório.

Ademais, durante o desenvolvimento das atividades e simulações, busquei incorporar elementos do cotidiano dos estudantes para facilitar a compreensão dos conceitos. Um exemplo é o uso do controle de velocidade de um automóvel, uma situação familiar para a maioria dos alunos, e que serve como ponto de ancoragem, conforme proposto pela Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel (1963). Os automóveis, que fazem parte do dia a dia dos estudantes, ajudam a tornar a aplicação dos conceitos de controle de processos mais tangível e relevante, contribuindo para que o aprendizado seja mais significativo.

Em Sales (2011) pode-se observar que nas disciplinas de Matemática e Física, automóveis são frequentemente utilizados como exemplos nos livros didáticos, além de reunirem todas as características necessárias para o desenvolvimento de simulações eficazes. Especificamente, o controle de velocidade de um carro é um bom exemplo para a aplicação dos conceitos de controle de processos. Essa familiaridade cotidiana dos estudantes com automóveis facilita tanto a compreensão quanto o envolvimento com o conteúdo, o que, de acordo com a teoria de Ausubel (1963), pode tornar o aprendizado potencialmente mais significativo.

Assim, a partir da utilização do SciLab® para simular o controle de velocidade de um automóvel em um trajeto montanhoso, os alunos podem ajustar os parâmetros de um controlador Proporcional Integral Derivativo (PID) e observar o impacto de suas decisões. Essa prática permite que conectem o novo conteúdo às suas experiências prévias, facilitando o processo de aprendizagem.

Hoje, compreendo que, mesmo antes de conhecer formalmente a Teoria da Aprendizagem Significativa, já buscava, de forma empírica, conexões entre o conhecimento prévio dos alunos e os novos conteúdos, visando tornar o aprendizado

mais concreto e aplicável. Nesse sentido, os automóveis, elementos onipresentes na vida moderna, surgiram como uma escolha natural. Seja o carro da família, veículos desejados ou sonhados, caminhões e ônibus, eles estão ao nosso redor e desempenham um papel fundamental em nosso cotidiano. Essa percepção foi fundamental para a construção desta pesquisa, que se propõe a desenvolver uma sequência didática potencialmente significativa para o ensino de Controle de Processos Industriais, utilizando simulações no SciLab® como ferramenta pedagógica.

Assim, a questão de pesquisa deste estudo configura-se em **como potencializar o aprendizado de controle proporcional integral derivativo da teoria de controle de processos com o uso de simulação?**

Diante desse contexto, o objetivo geral deste estudo é elaborar e validar uma sequência didática que faça uso de um software de simulação, com o propósito de potencializar as aprendizagens em controle de processos no Curso Técnico de Automação Industrial. A expectativa é que, através do uso desse recurso, as aprendizagens possam se tornar significativas, contribuindo para uma melhor compreensão dos conceitos de controle Proporcional Integral Derivativo (PID).

Neste cenário, são definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) aperfeiçoar o software de simulação utilizado na disciplina de controle de processos, alinhando-o aos princípios da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (1963);
- b) desenvolver, aplicar e validar uma sequência didática estruturada como uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS);
- c) avaliar a percepção dos alunos do 4º ano do Curso técnico em Automação industrial do Campus Camaquã em suas aprendizagens com o uso do simulador.

Este trabalho está estruturado em nove capítulos, organizados da seguinte forma: no Capítulo 2, a revisão da literatura, fornecendo uma visão geral dos principais estudos relacionados ao tema. No Capítulo 3, o referencial teórico, com ênfase na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (1963) e nas metodologias ativas. No Capítulo 4, apresenta o Controle Automático de Processos. No Capítulo 5, a metodologia da pesquisa, embasada no método proposto por Robert Yin (2016), e o modelo da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) de Moreira (2011).

No Capítulo 6, apresenta a proposta de produto educacional. No Capítulo 7, a avaliação do produto educacional. No Capítulo 8, as considerações finais; e, por fim, as REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS utilizadas no trabalho e os apêndices.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura para este estudo foi realizada entre março e abril de 2024, com o objetivo de identificar pesquisas que utilizassem controladores PID no contexto educacional ou que apresentassem potencial para sua aplicação. Para conduzir essa revisão, foram utilizadas as seguintes plataformas de pesquisa acadêmica: Google Acadêmico, o Repositório de Objetos Educacionais para a Educação Profissional e Tecnológica (proEdu), a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e o Portal de Objetos Educacionais Abertos (eduCAPES).

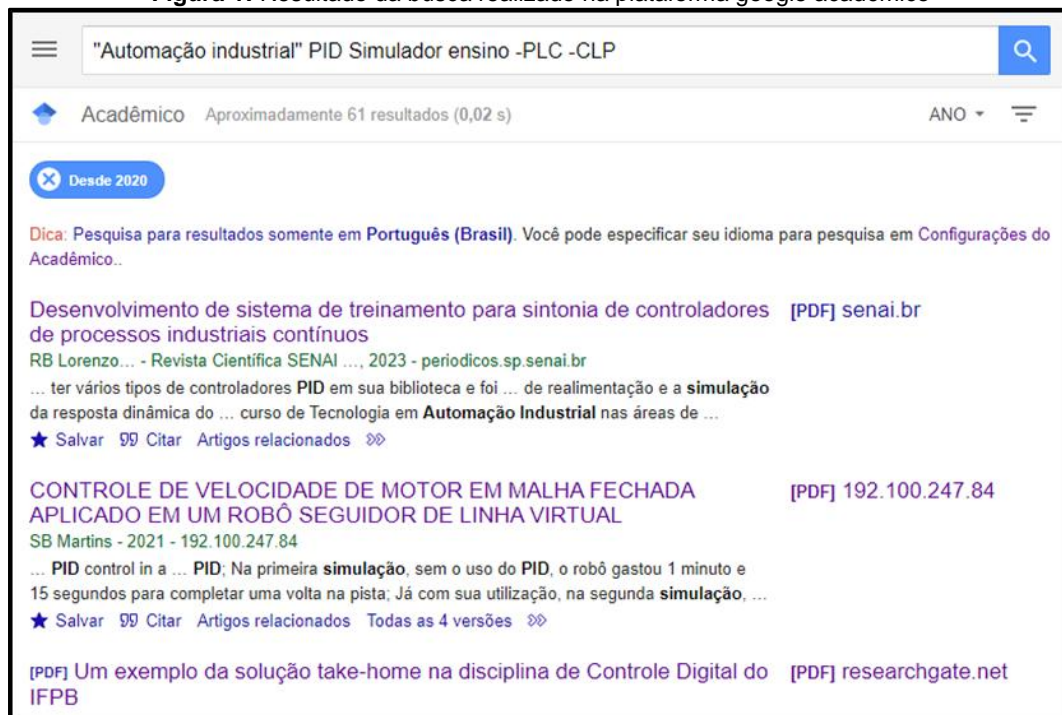
Em todas as plataformas de pesquisa, os resultados foram inicialmente triados com base nos títulos e, posteriormente, nos resumos dos trabalhos. Na etapa seguinte, foram analisados os capítulos dos estudos mais alinhados à proposta desta pesquisa, visando identificar aqueles com abordagem educacional. Foram excluídos os trabalhos estritamente técnicos e as aplicações específicas do controle PID.

Os descritores utilizados variaram em cada plataforma, pois, ao aplicar a combinação "Automação industrial" *and* "PID" *and* "simulador" *and* "ensino" — que era a desejada — algumas plataformas não retornaram nenhum resultado. Diante disso, foi necessário ajustar os descritores, seja reduzindo seu número, seja modificando sua estrutura, a fim de adequá-los a cada plataforma. O objetivo foi maximizar a quantidade de resultados sem comprometer a qualidade das publicações recuperadas.

É importante destacar que, nas plataformas de pesquisa utilizadas, foram encontrados tanto trabalhos de conclusão de curso quanto apostilas, que são frequentemente empregadas nesse tipo de aplicação. Esses materiais são relevantes para a revisão da literatura e, portanto, foram incluídos na análise.

Na plataforma Google Acadêmico (Figura 1), foram utilizados os seguintes descritores: "Automação industrial" *and* PID *and* simulador *and* ensino, excluindo da pesquisa as siglas PLC e CLP para evitar temas que não se relacionassem diretamente com a proposta deste trabalho. A pesquisa retornou 61 resultados no período de 2020 a 2024.

Figura 1: Resultado da busca realizado na plataforma google acadêmico

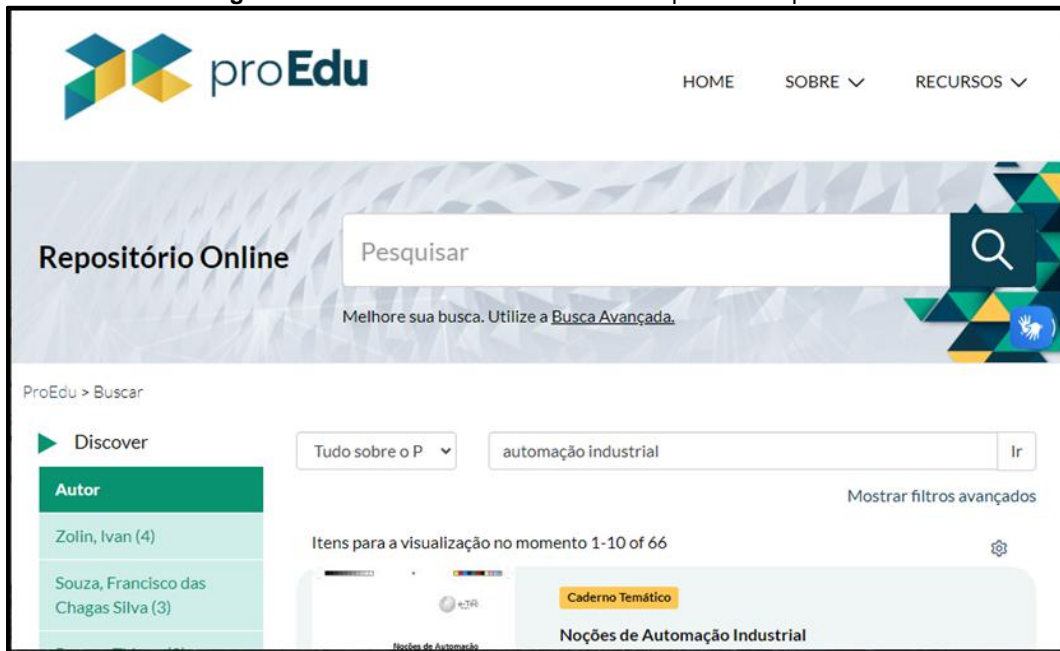


Fonte: Elaborado pelo autor

Como resultado da triagem, foram selecionados 7 trabalhos na plataforma Google Acadêmico.

Na pesquisa realizada na plataforma proEdu (Figura 2), foi utilizado apenas o descritor "automação industrial", pois, ao usar mais descritores, a plataforma apresentou poucos ou nenhum resultado. A pesquisa encontrou 66 itens, o que eliminou a necessidade de adicionar outros filtros de busca.

Figura 2: Resultado da busca realizado na plataforma proEdu



Fonte: Elaborado pelo autor

Por ter sido utilizado apenas um descritor muitos dos trabalhos apresentados pela plataforma não são pertinentes ao tema proposto neste trabalho. Também é relevante informar que essa plataforma dispõe de uma grande quantidade de livros, apostilas e material de apoio a professores. Após a triagem desses resultados foi selecionado 1 trabalho.

Na pesquisa realizada na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) (Figura 3), foram utilizados os descritores 'PID' and 'simulador', resultando em 28 trabalhos encontrados no período de 2020 a 2024. Após a triagem desses estudos, um trabalho foi selecionado.

Figura 3: Resultado da busca realizado na plataforma BDTD

The screenshot shows the BDTD (Banco de Dados em Telemática e Informática) search interface. At the top, there is a navigation bar with links: Institucional, Rede, Faq, and Contato. The search bar contains the text 'pid simulador'. To the right of the search bar, there are filters for 'Ano da publicação' (set to 2020) and 'Idioma' (set to Português). Below the search bar, the results section is titled 'Resultados da busca: pid simulador'. It displays 'Buscas alternativas' (Alternative searches) with links for 'fio simulador', 'plus simulador', and 'melo simulador'. Below this, it shows 'Mostrando 1 - 20 resultados de 28 para a busca 'pid simulador'', with a sorting option 'Ordenar: Relevância' and an 'Exportar' button. A 'Refinar a Busca' (Refine search) section is also visible, with a dropdown menu for 'Instituição de defesa'. The first result is displayed with the title 'Análise térmica e desenvolvimento de controle PID para dispositivo de expansão eletrônico de sistemas de'.

Fonte: Elaborado pelo autor

Na pesquisa realizada na plataforma eduCAPES (Figura 4), foram utilizados os descritores "automação industrial" and "ensino" and "simulador", o que resultou em 4 resultados. No entanto, após a triagem, nenhum foi considerado relevante para este estudo, uma vez que nenhum trabalho apresentado pela plataforma abordava especificamente o ensino de controle de processos ou áreas do conhecimento correlatas.

Figura 4: Resultado da busca realizado na plataforma eduCAPES

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 1 apresenta o resumo do processo de busca e triagem dos trabalhos utilizados nesta pesquisa.

Quadro 1: Resumo o processo de busca e triagem dos trabalhos

Plataforma	Descritores utilizados	Resultados encontrados	Resultados escolhidos
Google Acadêmico	"Automação industrial" PID simulador ensino -PLC -CLP	61	7
proEdu	automação industrial	66	1
BDTD	PID simulador	28	1
eduCAPES	"automação industrial" and ensino and simulador	4	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao final da triagem, foram selecionados 9 trabalhos com potencial para contribuir para a pesquisa. O Quadro 2 apresenta os detalhes dos trabalhos selecionados, juntamente com um resumo das considerações sobre cada um deles.

Quadro 2: Resultados selecionados

	Ano	Título	Autores	Tipo	Resumo das considerações
1	2021	Aplicações de uma Plataforma Didática de Controle de nível para o Ensino na EPT	ALMEIDA, Gabriel CS; DE ANDRADE, Gilberto Capistrano Cunha	Artigo	Este trabalho aborda a carência de atividades práticas no ensino de controle de processos, desenvolvendo um simulador de controle de nível utilizando o controlador PID. Embora o sistema seja eficaz para os objetivos propostos, ele é relativamente simples, e a escolha do software MATLAB, que é caro, pode torná-lo inacessível para alguns estudantes.
2	2021	Construção de um módulo didático de baixo custo para controle de nível usando o arduino.	CAZAROTTO, Rafael	TCC	Este trabalho busca suprir a falta de atividades práticas no ensino de controle de processos por meio da construção de um módulo didático de baixo custo, destacando o problema do alto custo desses equipamentos para que as instituições possam adquiri-los para seus laboratórios. Embora o projeto tenha sido concluído, não foi apresentado em um ambiente educacional.
3	2021	Controle de velocidade de motor em malha fechada aplicado em um robô seguidor de linha virtual	MARTINS, Samuel Barbosa	TCC	Este trabalho concentrou-se no controle de velocidade de um motor utilizando um controlador PID. Embora o foco principal não fosse o ambiente de simulação, ele oferece diversas possibilidades de aplicação em sala de aula.
4	2023	Desenvolvimento de sistema de treinamento para sintonia de controladores de processos industriais contínuos.	LORENZO, Roberto Blanco; DA CONCEIÇÃO MATOS, Sérgio Luiz	Artigo	Para ampliar a capacidade do laboratório de controle de processos em atender às demandas das atividades práticas, o autor desenvolveu um simulador utilizando um SDCP, que simula a bancada existente no laboratório. Os resultados foram satisfatórios, pois o sistema simulado apresentou o mesmo comportamento que a bancada real. No entanto, um SDCP não é um equipamento acessível para os alunos e instituições que desejam utilizá-lo.
5	2021	Desenvolvimento de Sistemas de Pêndulos Invertidos como Ferramentas Didáticas em Cursos de Engenharia de Controle e Automação.	BREGANON, Ricardo et al.	Artigo	Neste trabalho, o autor propõe dois sistemas de pêndulo invertido para a realização de atividades práticas de controle de processos nos cursos de engenharia. Ambos os sistemas se mostraram promissores por possibilitarem diversas atividades com diferentes tipos de controladores. Entretanto, o autor não apresentou a aplicação desses sistemas em um ambiente educacional, deixando essa possibilidade para estudos futuros.
6	2023	Sistema didático de tanques acoplados para ensino de controle e automação.	LIRA, Hiarley Martins	TCC	O autor desenvolveu um sistema de tanques acoplados para ser utilizado em atividades de controle de processos, visando suprir a falta de atividades práticas no curso. A montagem e os testes do sistema foram concluídos, porém, sua aplicação em um ambiente educacional não foi apresentada.
7	2023	Um exemplo da solução take-home na disciplina de Controle Digital do IFPB.	DA COSTA JUNIOR, Ademar Gonçalves	Artigo	Para enfrentar as dificuldades impostas pelo período pandêmico, o autor adotou uma solução <i>take-home</i> para viabilizar uma atividade prática para os alunos. Embora a atividade não seja exatamente prática, já que se baseia em simulações de circuitos elétricos de um sistema genérico, ela permitiu que os estudantes tivessem algum contato com os equipamentos que seriam utilizados em laboratório. O autor utilizou o software MATLAB para realizar as simulações, que é um software pago, o que pode representar um obstáculo para a implementação dessa solução.
8	2021	Análise de estratégias de controle de nível baseadas em arduino, controle PID e LabVIEW, sob a ótica da prevenção de acidentes ambientais.	SANTANA, Myllena Syngred Raimundo	Dissert.	Sob a ótica da prevenção de acidentes ambientais, ter um sistema de controle bem ajustado é fundamental. A autora desenvolveu uma simulação utilizando o software SciLab para replicar o comportamento de uma bancada existente, com o objetivo de testar diversos tipos de controle antes de realizar os testes na bancada real. Embora essa aplicação não fosse o foco principal do trabalho, o sistema pode ser utilizado em um ambiente educacional para melhorar o aproveitamento da bancada do laboratório.
9	2016	Controle Automático de Processos	BAYER, Fernando Mariano; ARAÚJO, Olinto César Bassi de.	Apostila	Esta apostila da rede e-Tec Brasil reúne todo o conteúdo essencial da disciplina de controle de processos para cursos de nível técnico. A apostila aborda os tópicos de forma simplificada e traz exemplos de fácil compreensão. No entanto, por se tratar de um material voltado para um nível mais básico, as simulações apresentadas são desenvolvidas em planilhas de cálculo, o que pode torná-las excessivamente simples.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Almeida (2021) apresenta um simulador de controle de nível desenvolvido no software MATLAB/SIMULINK utilizando um controlador PID. Destinado ao curso técnico integrado em automação industrial do Instituto Federal Fluminense, o autor destaca a possibilidade de utilizar o simulador em uma disciplina integradora, combinando conhecimentos de controle de processos, instrumentação e supervisão.

Embora o autor tenha apresentado resultados de diferentes ajustes do controlador para confirmar o funcionamento da simulação e explorar um possível uso educacional, ele não forneceu materiais para serem utilizados diretamente em sala de aula.

Cazarotto (2021) descreve o desenvolvimento e construção de um módulo didático para controle de nível, com foco em soluções de baixo custo. A pesquisa envolveu a seleção de materiais acessíveis e a adaptação de utensílios domésticos. Um microcontrolador Arduino Nano foi empregado para implementar o algoritmo de controle PID, e um software Python foi desenvolvido para estabelecer a comunicação entre o hardware e o computador, permitindo a aquisição e visualização dos dados experimentais.

O autor concluiu a construção do módulo e apresentou os resultados dos testes realizados para validar a operação do sistema de controle de nível utilizando o controlador PID com diversos ajustes. No entanto, não foi apresentada nenhuma proposta ou aplicação prática do módulo em laboratório ou sala de aula.

Martins (2021) apresenta um estudo de melhoria no controle de velocidade de motores de corrente contínua utilizando um controlador PID. A aplicação escolhida para demonstrar o potencial desse tipo de controle foi um robô seguidor de linha virtual. Utilizando o software de simulação COPPELIASIM, o autor comparou a simulação de um robô seguidor de linha com uma programação simples e outra com um controlador PID. De acordo com o autor, o robô com controle PID apresentou um desempenho superior na execução da tarefa.

Embora a utilização do simulador em contexto educacional não fizesse parte do escopo deste trabalho, o software de simulação e o desafio de controle proposto pelo autor abrem possibilidades para futuras pesquisas nessa área.

Lorenzo (2023) descreve o desenvolvimento de um sistema para treinamento de sintonia de controladores PID. O autor criou um software em um Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCP) que simula o comportamento de um processo industrial genérico, permitindo alterações nos parâmetros do processo. O equipamento utilizado

possibilita que o sistema simulado seja controlado por um controlador PID, que é o foco do estudo. A operação do sistema é realizada através de um sistema SCADA, permitindo ao operador modificar parâmetros, obter e analisar dados do sistema.

O autor apresenta os resultados de diversos testes realizados, mostrando comportamentos com diferentes ajustes tanto do sistema quanto do controlador. Segundo o autor, o sistema se comportou de forma similar a uma planta real, comparando os dados obtidos pelo sistema simulado com os de uma planta piloto. O autor menciona que o sistema foi adicionado ao laboratório de controle para o treinamento dos alunos.

Breganon *et al.* (2021) apresenta a construção de dois sistemas distintos de pêndulo invertido: o aeropêndulo e o pêndulo de Furuta. O autor enfatiza a importância de atividades práticas no curso de Engenharia de Controle e Automação, visando fortalecer disciplinas como Sistemas de Controle, Sistemas Realimentados, Controle Multivariável e Controle Não Linear.

O trabalho busca oferecer recursos para que os estudantes possam aplicar diversas técnicas de controle, incluindo o controlador PID e suas variações. O autor conclui destacando que, ao descrever detalhadamente o processo de construção dos sistemas, o estudo abre possibilidades para futuras pesquisas voltadas à sua aplicação em ambientes educacionais.

Lira (2023) apresenta o desenvolvimento de um sistema didático de controle de nível de tanques duplos acoplados de pequeno porte, destinado aos laboratórios do curso de Engenharia de Controle e Automação do IFPB – Campus Cajazeiras/PB. A motivação para a construção desse sistema surge da dificuldade de acesso a experimentos práticos enfrentados pelos estudantes.

O protótipo desenvolvido consiste em um sistema de tanques duplos interconectados que permite a aplicação de conceitos de controle de processos, incluindo o controle PID, e abre possibilidades para a integração com outras disciplinas do curso, como Instrumentação. Para minimizar os custos, o autor optou pela plataforma Arduino para a implementação do controle. No entanto, o estudo se limitou à apresentação do protótipo, sem detalhar sua aplicação em laboratório ou propor atividades educacionais que poderiam ser desenvolvidas com o equipamento.

Da Costa Junior (2023) apresenta uma abordagem de laboratório em casa (*take-home*) para as disciplinas de Controle Digital nos cursos de Engenharia Elétrica e Tecnologia em Automação Industrial do Instituto Federal da Paraíba (IFPB). Essa

metodologia ativa, onde os estudantes desenvolvem projetos com kits de baixo custo que podem ser utilizados em qualquer lugar e a qualquer momento, foi implementada durante o período pandêmico como alternativa às atividades práticas de laboratório presencial. A solução proposta pelo autor envolve a disponibilização de um circuito elétrico com componentes passivos, que simula (de forma eletrônica) um sistema genérico de 2ª ordem.

Os estudantes foram orientados a utilizar um Arduino para coletar dados e realizar simulações no software Matlab, comparando os dados reais com os simulados. Além disso, aplicaram as técnicas de controle e ajustes sugeridos pelo professor da disciplina. Um estudante relatou que o laboratório em casa contribuiu para sua aprendizagem, mas também apontou desafios, uma vez que as montagens e práticas foram realizadas fora do ambiente acadêmico.

Santana (2021) conduziu um estudo em uma bancada de controle de nível, no qual a autora aplicou o controle PID utilizando diversos métodos de ajuste dos ganhos do controlador. Utilizando um controlador Arduino e o software LabVIEW para o controle e aquisição de dados da bancada, a autora desenvolveu uma simulação no software SciLab®, para replicar o comportamento da bancada em ambiente virtual. Essa abordagem permitiu a realização de uma variedade de testes e simulações, antes de validar os resultados na bancada real.

Embora o foco do trabalho não tenha sido didático, a autora realizou a modelagem matemática do sistema utilizando o SciLab®. Essa modelagem pode ser aproveitada como ferramenta de apoio em atividades de controle de processos. A possibilidade de comparar os resultados obtidos na simulação com os do experimento real oferece uma valiosa oportunidade de aprendizagem.

Bayer (2016) oferece um material pedagógico, disponibilizado através da Rede e-Tec Brasil¹, em formato de apostila para a disciplina de Controle de Processos. Embora originalmente desenvolvido para cursos à distância, esse material pode ser utilizado em qualquer curso que aborde a disciplina de Controle de Processos. A apostila apresenta os conteúdos básicos de maneira simples e acessível, com um vocabulário claro. Além disso, cada capítulo inclui exemplos didáticos e atividades práticas.

¹ A Rede e-Tec tem por objetivo contribuir para democratizar o acesso à educação profissional e tecnológica pública e gratuita por meio da ampliação da oferta na modalidade da educação a distância. (MEC, 2018)

O material abrange desde os conceitos fundamentais até o funcionamento do controlador PID, incluindo seus ajustes e métodos de sintonia. No entanto, apesar de dedicar dois capítulos à simulação de sistemas e controladores, o conteúdo limita-se a uma simulação básica utilizando uma planilha de cálculo.

De maneira geral, observa-se que a falta de atividades práticas nos laboratórios é um tema recorrente na literatura. Os autores apresentados propõem soluções distintas para minimizar esse problema, como o uso de simulações, a construção de protótipos didáticos com foco no baixo custo ou a combinação dessas abordagens para otimizar o uso restrito das bancadas didáticas. Nota-se que a construção de protótipos é mais comum em trabalhos de conclusão de curso, enquanto as simulações são frequentemente propostas em dissertações e artigos acadêmicos.

Embora haja uma diversidade de trabalhos propondo simulações de sistemas para controle de processos, nota-se que a academia ainda não tem dado a devida atenção ao fato de que o uso de softwares pagos pode representar um obstáculo para a implementação dessas ferramentas em diferentes ambientes educacionais. Almeida (2021) e Da Costa Junior (2023), por exemplo, utilizam o software MATLAB, que exige licenciamento, embora suas simulações pudessem ser desenvolvidas no SciLab®, uma alternativa gratuita. Com mínimas modificações no código, essa adaptação tornaria as ferramentas mais acessíveis tanto para os estudantes quanto para as instituições de ensino.

Apesar de uma busca extensa na literatura, não foram encontrados trabalhos que abordassem o tema sob a perspectiva das teorias de aprendizagem. Também não foram identificados estudos sobre o assunto nas bases de dados de programas de mestrado educacionais e profissionais. Este trabalho busca contribuir no sentido de ajudar a preencher essa lacuna, além de oferecer um produto educacional que outros profissionais da educação possam utilizar.

Ao integrar a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (1963) com simulações digitais como metodologia ativa, a proposta visa proporcionar um ensino acessível e replicável. A abordagem conecta conteúdos teóricos ao cotidiano dos estudantes, promovendo a ancoragem de novos conhecimentos. O desenvolvimento de um simulador no software gratuito SciLab permite que os alunos, mesmo fora do ambiente de laboratório, experimentem de forma prática e contextualizada os conceitos de controladores PID, ampliando o alcance do ensino e permitindo a aprendizagem significativa.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A Teoria da Aprendizagem Significativa, desenvolvida por David Ausubel, em 1963 e reafirmada por ele em 2000, tem sido amplamente explorada no Brasil, sobretudo pelas contribuições de Marco Antônio Moreira. Seus livros e artigos são referências importantes no campo educacional. Segundo Moreira (2011, p. 13):

Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não literal, não ao pé da letra, e não arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende.

Assim, o ponto central da teoria de Ausubel (1963) é que a aprendizagem significativa ocorre por meio de conexões não literais e não arbitrárias entre o novo conteúdo e os conhecimentos prévios do aluno. A aprendizagem "não literal" permite que o estudante reinterprete e explique os novos conceitos em suas próprias palavras, enquanto a "não arbitrária" implica uma ligação lógica entre o novo conhecimento e os elementos preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz.

É importante ressaltar que não existe material intrinsecamente significativo, pois o valor atribuído aos materiais depende do aluno. Dessa forma, os materiais podem ser apenas potencialmente significativos. Como enfatiza Moreira (2010), "o material só pode ser potencialmente significativo, não significativo: não existe livro significativo, nem aula significativa, nem problema significativo (...), pois o significado está nas pessoas, não nos materiais". Além disso, o autor ressalta que, para que o material seja potencialmente significativo, ele "deve ser relacionável à estrutura cognitiva e o aprendiz deve ter o conhecimento prévio necessário para fazer esse relacionamento de forma não arbitrária e não literal" (Moreira, 2010).

Dentre os diversos fatores que influenciam o processo de aprendizagem, a teoria de Ausubel (1963) enfatiza o conhecimento prévio do aprendiz como o elemento mais crucial. Este conhecimento pré-existente é considerado o principal facilitador na assimilação de novos conteúdos. Para que a aprendizagem seja efetivamente não arbitrária e não literal, torna-se fundamental identificar e valorizar os conhecimentos que o aluno já possui, criando pontes cognitivas entre o novo conteúdo e as informações já internalizadas.

No contexto deste trabalho, o conhecimento prévio sobre o uso e funcionamento básico de um veículo serve como ponto de partida para a aquisição de novos conhecimentos. Para que os conceitos de controle PID sejam assimilados de maneira significativa, é essencial apresentar ao estudante elementos que se aproximem de sua realidade cotidiana, como o controle de velocidade em um carro. Essa abordagem cria uma ponte cognitiva entre o familiar e o novo, facilitando assim a compreensão e internalização dos novos conceitos relacionados ao controle PID.

Conforme Moreira (2011), quando o conhecimento prévio adequado não está presente para servir como ponto de ancoragem para novos conceitos, a Teoria da Aprendizagem Significativa propõe o uso de organizadores prévios. Esses organizadores, que devem estar vinculados a algum conhecimento já existente, atuam como uma ponte entre o que o aprendiz já domina e o que ele precisa aprender. Dessa forma, eles facilitam a integração do novo conteúdo à estrutura cognitiva existente, possibilitando uma aprendizagem potencialmente significativa. Ao conectar a nova informação a um contexto já familiar, os organizadores prévios preparam o terreno para que a assimilação do novo conhecimento ocorra de maneira mais fluida e coerente.

Segundo Moreira (2012), os organizadores prévios são materiais introdutórios oferecidos antes da apresentação do conteúdo principal, com o objetivo de preparar o aluno para a assimilação do novo conhecimento. Eles podem assumir diversas formas, como textos, livros, vídeos, demonstrações, experimentos educacionais, quadrinhos, atividades em grupo, entre outros. No contexto do ensino sobre controladores PID, o funcionamento básico de um veículo pode servir como ponto inicial, uma vez que, em geral, os alunos já possuem algum conhecimento sobre isso. Sabem, por exemplo, que o motor gera força para acelerar o veículo e que o freio o desacelera. No entanto, nem todos têm compreensão de como essas forças são controladas ou de como um motorista comanda o veículo de maneira eficiente.

É nesse ponto que os organizadores prévios desempenham um papel fundamental, fornecendo os elementos necessários para criar essa ponte. Através de vídeos, imagens, fotos e discussões, será possível introduzir esses conceitos de forma acessível, facilitando a compreensão do controle das forças de aceleração e desaceleração e preparando os alunos para o estudo dos controladores PID.

Para evitar que o aprendizado se torne mecânico – definido por Moreira (2010) como aquele em que o aluno internaliza a nova informação de maneira literal, sem

interação com seus conhecimentos prévios, resultando apenas em memorização sem compreensão – é necessário atentar para outro aspecto essencial da aprendizagem significativa: a predisposição do aluno para aprender. Sem essa disposição, o estudante não conseguirá estabelecer as relações não-arbitrárias e não-literais com sua estrutura cognitiva, o que comprometerá a assimilação dos significados presentes nos materiais educativos, ainda que eles sejam potencialmente significativos. Portanto, além de apresentar conteúdos que se conectem ao conhecimento prévio, é crucial fomentar a motivação e o interesse do aluno para que ele esteja aberto a construir essas relações de maneira significativa. Como ressalta Moreira (2010), “predisposição para aprender [...] quanto mais o aprendiz tem que memorizar conteúdos mecanicamente, mais ele ou ela se predispõe contra esses conteúdos”.

E nesse contexto o organizador prévio - além de servir de ponto de ancoragem sedimentando o conhecimento de forma significativa - pode propiciar interesse para o aluno ao conteúdo que será estudado na sequência pelo fato de que o que está sendo estudado tem, de fato, aplicação em algo do seu cotidiano, algo que tenha sentido a ele, trazendo motivação. Um veículo pode ser muito mais do que um meio de transporte. Para alguns alunos é um sonho, um desejo ou mesmo uma realidade usar um veículo para ir e vir ou até algo que gostam e pesquisam intensamente os detalhes, seja de construção ou funcionamento de um veículo. É algo que muito alunos gostam e tem real interesse. Utilizar tal objeto como estudo, para esses alunos, é simplesmente satisfatório.

Nesse contexto, como sugere Moreira (2012), o organizador prévio desempenha um papel duplo: além de servir como ponto de ancoragem, sedimentando o conhecimento de forma significativa, ele também pode despertar o interesse do aluno pelo conteúdo subsequente. Isso ocorre porque o organizador prévio demonstra que o assunto a ser estudado tem aplicação direta em algo do cotidiano do estudante, conferindo-lhe sentido e, conseqüentemente, motivação. Ao fazer essa conexão, o organizador prévio não só facilita a compreensão do novo conhecimento, mas também gera motivação, pois o aluno percebe o valor prático daquilo que está aprendendo.

Alguns têm grande interesse em explorar os detalhes de construção e funcionamento de automóveis, pesquisando intensamente sobre o tema. Para esses alunos, o estudo de algo relacionado a veículos não só se conecta com seu conhecimento prévio, mas também é fonte de satisfação e engajamento. Utilizar um

objeto de tanto interesse pessoal pode tornar o aprendizado mais significativo e motivador.

Outro princípio fundamental da Teoria da Aprendizagem Significativa é a diferenciação progressiva, que orienta a apresentação dos conteúdos de forma do geral para o específico. Segundo Moreira (2010), “as ideias mais gerais e inclusivas da matéria de ensino devem ser apresentadas desde o início da instrução e, progressivamente, diferenciadas em termos de detalhes e especificidade”. Trata-se de introduzir desde o começo os conceitos mais relevantes, aprofundando-os gradualmente com exemplos, situações e exercícios, o que favorece a consolidação progressiva desses conhecimentos na estrutura cognitiva do aluno.

Complementarmente, destaca-se o princípio da reconciliação integradora, que visa explicitar relações entre conceitos e resolver possíveis incoerências. De acordo com Moreira (2010), o ensino deve “explorar, explicitamente, relações entre conceitos e proposições, chamar a atenção para diferenças e semelhanças e reconciliar inconsistências reais e aparentes”. Assim, promove-se uma estrutura cognitiva mais integrada e coerente.

3.2. METODOLOGIAS ATIVAS

As metodologias ativas, contrastam com o ensino tradicional dedutivo, no qual o professor primeiro transmite a teoria e depois o aluno a aplica. Embora o aprendizado por meio da transmissão tenha seu valor, Bacich (2017, p. 37), ressalta que “a aprendizagem por questionamento e experimentação é mais relevante para uma compreensão mais ampla e profunda”. Essa abordagem é especialmente significativa em disciplinas que exigem a aplicação prática de conceitos teóricos, como a disciplina de Controle de Processos.

O uso de simuladores, como uma metodologia ativa, se alinha com a ideia de criar “espaços de prática frequentes”, nos quais os alunos possam aprender fazendo, experimentando e testando suas hipóteses em um ambiente controlado. Além disso, o simulador pode valorizar os conhecimentos prévios dos estudantes, o que contribui para a ancoragem de novos conteúdos, como destacado por Bacich (2017).

As metodologias ativas enfatizam o protagonismo do aluno, seu envolvimento direto em todas as etapas do processo, como “experimentando, desenhando, criando, com orientação do professor” (Moran, 2017, p. 01). No caso do uso de simuladores,

os alunos têm a oportunidade de manipular variáveis em tempo real, projetar soluções e observar o impacto de suas ações, o que reforça seu papel ativo e reflexivo no processo de aprendizagem.

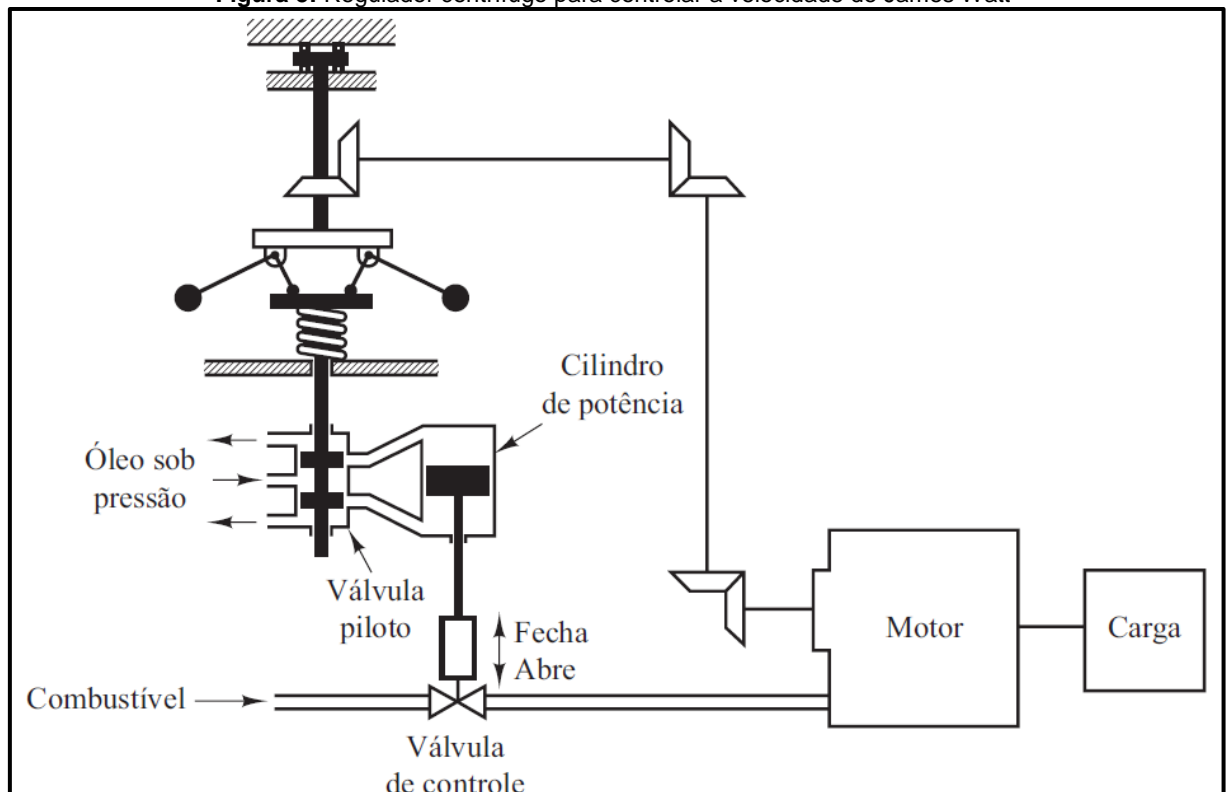
Bacich (2017, p. 53) ainda destaca que “os bons materiais (interessantes e estimulantes, impressos e digitais) são fundamentais para o sucesso da aprendizagem”. O simulador desenvolvido para o ensino de controladores PID proporciona aos alunos um ambiente de aprendizagem interativo, no qual eles exploram conceitos abstratos de forma prática e imediata, contribuindo para uma aprendizagem mais significativa e envolvente. Nesse contexto, o aluno não apenas observa o funcionamento de um sistema de controle, mas também testa hipóteses manipulando os parâmetros e avalia o impacto de suas ações em tempo real, consolidando o aprendizado por meio da prática.

4. CONTROLE AUTOMÁTICO DE PROCESSOS

Os sistemas de controle automático são essenciais no mundo moderno. Eles não estão apenas presentes em sistemas complexos, como os utilizados em aviões e espaçonaves, mas também em dispositivos simples do cotidiano, como fornos elétricos, que dependem de controles automáticos para funcionarem sem intervenção humana constante.

Ogata (2010) relata que o primeiro registro significativo de um mecanismo de controle automático data do século XVIII, com a invenção da máquina a vapor. James Watt, engenheiro escocês, desenvolveu um regulador centrífugo (Figura 5) para controlar a velocidade de sua máquina a vapor, um dispositivo que marcaria o início dos sistemas de controle automático. Esse avanço foi crucial para a Revolução Industrial, permitindo o controle preciso de grandes máquinas.

Figura 5: Regulador centrífugo para controlar a velocidade de James Watt



Fonte: Ogata (2010)

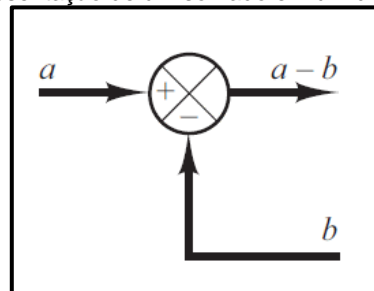
Com o passar do tempo, o campo de controle de processos evoluiu consideravelmente, impulsionado por necessidades cada vez mais sofisticadas e pelo desenvolvimento tecnológico. Durante as duas grandes guerras mundiais, a engenharia de controle recebeu forte influência de aplicações militares. De acordo com Ogata (2010), destacam-se contribuições importantes de Minorsky, que em 1922

trabalhou com controladores automáticos para a pilotagem de embarcações, e Nyquist, que em 1932 introduziu métodos de análise de estabilidade para sistemas em malha fechada. Na década de 1940, Bode desenvolveu o conhecido "diagrama de Bode", um método de resposta em frequência que possibilitou o projeto de sistemas de controle linear de malha fechada com desempenho otimizado, (Ogata2010).

4.1. CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE CONTROLE DE PROCESSOS

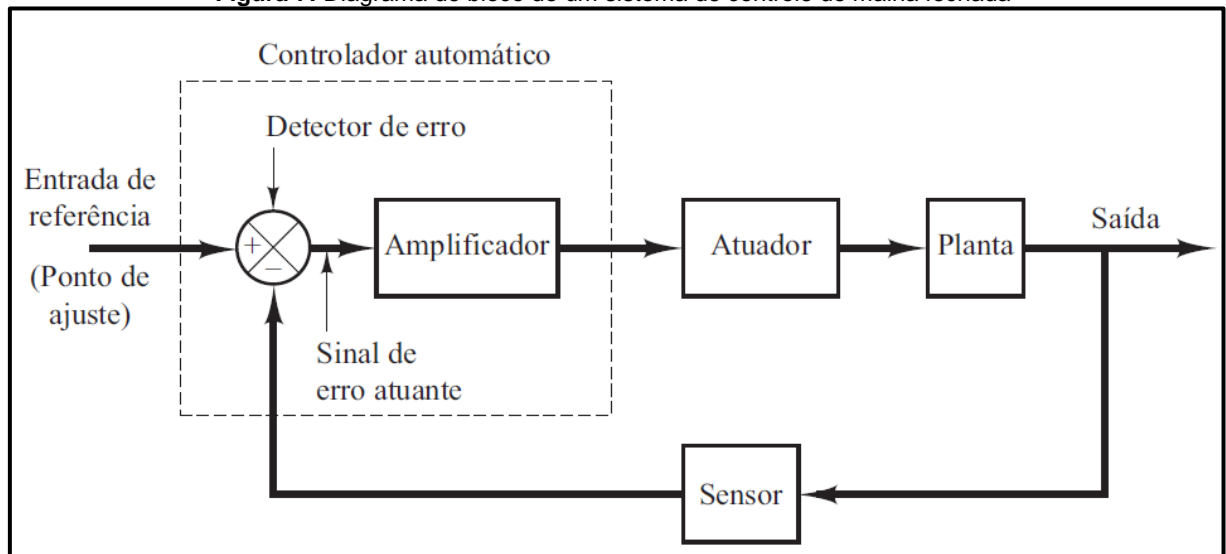
Um aspecto fundamental para compreender o funcionamento de sistemas de controle é a distinção entre malha aberta e malha fechada. Para entender esses conceitos, é importante primeiro conhecer o conceito de **erro** em um sistema de controle (Figura 6), que se refere à diferença entre o valor de referência (ou valor desejado) e o estado atual do sistema. Por exemplo, se o objetivo é que a velocidade de um veículo seja de 80 km/h e sua velocidade atual é de 60 km/h, o erro do sistema é de 20 km/h.

Figura 6: Representação de um somado em um diagrama de blocos



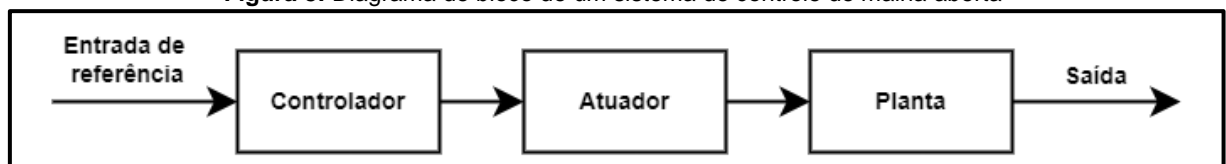
Fonte: Ogata (2010)

Nos sistemas de controle de malha fechada (Figura 7), essa diferença — o erro — é usada pelo controlador para ajustar o sistema. Isso significa que o controlador recebe continuamente informações sobre o estado atual do sistema, faz a comparação com o valor desejado e corrige o comportamento conforme necessário. Ou seja, o controlador "fecha o ciclo" de feedback, utilizando a informação do estado atual para modificar sua atuação. Equipamentos domésticos como geladeiras, fornos elétricos, aparelhos de ar-condicionado e jarras elétricas são exemplos que operam sob controle de malha fechada, pois monitoram constantemente variáveis, como temperatura, e ajustam suas operações em resposta a mudanças.

Figura 7: Diagrama de bloco de um sistema de controle de malha fechada

Fonte: Ogata (2010)

Em contraste, sistemas de malha aberta (Figura 8) não utilizam informações sobre o estado atual do sistema para ajustar o controle. Eles seguem rotinas predefinidas sem levar em conta as condições atuais. Um exemplo comum é o controle de máquinas de lavar roupas, que seguem um ciclo de lavagem predeterminado sem monitorar o “nível de sujeira” das roupas. Da mesma forma, micro-ondas e panificadoras também executam seus ciclos de forma programada, independentemente de variáveis externas, sendo, portanto, classificados como controles de malha aberta.

Figura 8: Diagrama de bloco de um sistema de controle de malha aberta

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2. O CONTROLE ON-OFF

Ogata (2010) comenta que o controle ON-OFF, também conhecido como controle de duas posições, é um método de controle automático amplamente utilizado em ambientes domésticos e industriais devido à sua simplicidade e baixo custo. Nesse tipo de sistema, o atuador tem apenas duas posições possíveis, como aberto ou fechado, ligado ou desligado. Exemplos cotidianos incluem geladeiras, fornos elétricos, caixas d'água e sistemas de iluminação automática.

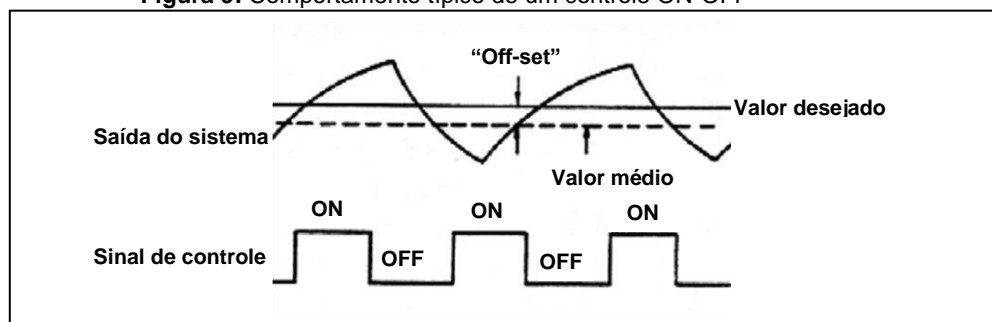
O funcionamento do controle ON-OFF pode ser descrito da seguinte forma:

$$\text{Sinal de controle} = \begin{cases} U1 & \text{para } \text{Erro} > 0 \\ U2 & \text{para } \text{Erro} < 0 \end{cases}$$

onde U1 e U2 são as duas possíveis posições do controlador — ON (ligado) e OFF (desligado). Isso significa que o controlador liga o atuador quando o erro ultrapassa um determinado valor e o desliga quando o erro cai abaixo de outro ponto.

Um problema potencial com esse tipo de controle é o excesso de atuação, ou seja, o sistema pode ligar e desligar o atuador repetidamente em intervalos curtos, o que pode levar ao desgaste prematuro do equipamento. Para evitar esse comportamento indesejado (Figura 9), costuma-se utilizar um intervalo diferencial, também chamado de histerese. Esse intervalo cria uma faixa entre os pontos de ligação e desligamento, evitando que o atuador opere de maneira excessiva e garantindo maior estabilidade ao sistema.

Figura 9: Comportamento típico de um controle ON-OFF



Fonte: Adaptado de Oliveira (1999)

4.3. O CONTROLE PID

Em sistemas onde o erro ou oscilações não são toleráveis, é necessário adotar uma solução que elimine esses problemas. Um dos métodos mais amplamente utilizados é o controle PID. Este controlador desempenha um papel fundamental na regulação de sistemas industriais, proporcionando uma forma eficiente de manter a

estabilidade e o desempenho desejado de um processo. Ao combinar três ações de controle — proporcional, integral e derivativa — o controlador PID ajusta a entrada do sistema de forma a minimizar o erro entre a variável de processo (valor medido) e o valor de referência (*setpoint*), garantindo a precisão do controle ao longo do tempo.

A equação que descreve o controle PID é expressa como:

$$\text{Sinal de controle} = K_p \cdot \text{Erro} + K_i \int_0^t \text{Erro} \cdot dt + K_d \cdot \frac{d\text{Erro}}{dt}$$

A ação proporcional (P) é diretamente relacionada ao erro atual do sistema, proporcionando uma correção proporcional à magnitude desse erro. A ação integral (I) acumula o erro ao longo do tempo, eliminando erros residuais e garantindo que o sistema atinja o valor desejado sem desvios permanentes. Já a ação derivativa (D) antecipa as mudanças no erro, contribuindo para uma resposta mais rápida e precisa ao prever a tendência do erro.

Cada um desses termos possui um ganho associado, permitindo que o controlador seja ajustado conforme o comportamento específico do sistema. O ganho proporcional (K_p) controla a intensidade da resposta ao erro presente, o ganho integral (K_i) ajusta a influência do erro acumulado ao longo do tempo, e o ganho derivativo (K_d) regula a resposta com base na taxa de variação do erro. Dessa forma, o ajuste dos ganhos é crucial para o desempenho do controlador, e como cada sistema possui suas particularidades, não existe um ajuste universal; o *tuning* do controlador PID deve ser feito de forma individualizada para cada processo. O Quadro 3 resume os principais aspectos positivos e negativos de cada ação do controle PID.

Quadro 3: Aspectos positivo e negativo de cada ação do controle PID

Parcela	Aspecto Positivo	Aspecto Negativo
Proporcional (P)	Proporciona resposta rápida às mudanças no erro do sistema	Não elimina o erro de regime permanente, podendo deixar um pequeno desvio
Integral (I)	Elimina completamente o erro de estado estacionário	Pode introduzir oscilações e tornar o sistema mais lento
Derivativo (D)	Minimiza oscilações e melhora a estabilidade	Muito sensível a ruídos e variações rápidas no sinal

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4. SOFTWARES DE SIMULAÇÃO

Os avanços tecnológicos têm proporcionado diversas ferramentas que revolucionam o ambiente de ensino, e os softwares de simulação ocupam um lugar de destaque nesse contexto. Esses programas oferecem a possibilidade de criar ambientes virtuais onde os alunos podem experimentar, testar hipóteses e visualizar conceitos teóricos de maneira rápida e interativa. No campo das ciências e engenharias, por exemplo, o uso de simulações permite que os estudantes realizem experimentos complexos sem os custos e os riscos associados às práticas em laboratórios físicos.

De acordo com Smetana (2012, p. 1337 - *tradução nossa*) “as simulações podem ser tão eficazes, e em muitos aspectos mais eficazes, do que as práticas instrucionais tradicionais na promoção do conhecimento do conteúdo científico, no desenvolvimento de habilidades de processo e na facilitação de mudanças conceituais.”. Quando os alunos são expostos a simulações, eles podem explorar diferentes cenários, repetir experimentos diversas vezes e observar como as variáveis afetam os resultados.

Além disso, o uso de softwares de simulação permite um aprendizado ativo, onde o aluno não é apenas um receptor passivo de informações, mas um participante ativo no processo de construção do conhecimento. Conforme defendido por Bacich (2017), as metodologias ativas, entre as quais se incluem o uso de simulações, incentivam a autonomia dos estudantes, permitindo que eles desenvolvam habilidades de resolução de problemas e tomada de decisões em um ambiente controlado e seguro.

Entre os diversos softwares de simulação disponíveis, o SciLab se destaca como uma ferramenta eficiente e amplamente utilizada no ensino de disciplinas relacionadas a ciências exatas e engenharias. Como observado por Viera (2019, p. 02 - *tradução nossa*) “existem diversas ferramentas baseadas em simuladores de processos para esta finalidade [...]. O SciLab® tem a vantagem de ser um simulador gratuito e de fácil acesso.”

O SciLab® é um software livre e de código aberto, o que permite seu uso gratuito por instituições de ensino, professores e estudantes, eliminando barreiras econômicas que muitas vezes limitam o acesso a recursos tecnológicos de alta qualidade. A gratuidade do SciLab® é um fator importante que promove a inclusão

digital no ambiente educacional, garantindo que estudantes de diferentes contextos socioeconômicos tenham acesso às mesmas oportunidades de aprendizado. Além disso, por ser um software de código aberto, ele permite que a comunidade acadêmica colabore para seu desenvolvimento, criando um ecossistema de aprendizagem colaborativa.

Em sala de aula, o SciLab® tem se mostrado uma ferramenta eficaz para promover a aprendizagem significativa, ao proporcionar aos alunos a oportunidade de manipular variáveis em tempo real e visualizar os impactos de suas decisões em um ambiente simulado.

5. METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa, que busca compreender e aprimorar o processo de ensino e aprendizagem de controladores PID no contexto educacional. A abordagem qualitativa foi escolhida por possibilitar uma investigação aprofundada das interações, percepções e resultados obtidos durante a aplicação da sequência didática, permitindo uma compreensão mais holística do fenômeno educacional estudado.

Para a análise dos dados coletados, adotou-se o método proposto por Robert Yin (2016), que oferece um procedimento sistemático e rigoroso para a interpretação de dados qualitativos. Este método, organizado em cinco etapas (compilação, desagrupamento, reagrupamento, interpretação e conclusão), permite uma análise detalhada e fundamentada dos resultados obtidos, possibilitando uma avaliação consistente da eficácia da sequência didática implementada.

O desenvolvimento da sequência didática foi fundamentado na teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1963) e nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) propostas por Moreira (2011). Ambos os referenciais teóricos fornecem princípios e orientações para a elaboração de práticas pedagógicas que promovam a integração significativa de novos conhecimentos às estruturas cognitivas preexistentes dos estudantes.

A sequência didática elaborada foi aplicada no 4º ano do Curso Técnico de Automação Industrial do Câmpus Camaquã do IFSul, proporcionando um contexto real para sua implementação e avaliação. O produto educacional resultante desta pesquisa é a própria sequência didática, desenvolvida com o objetivo específico de promover a aprendizagem significativa de conceitos relacionados a controladores PID.

Ao longo do processo de aplicação da sequência didática, foram coletados diversos dados que permitiram avaliar sua eficácia e realizar ajustes quando necessário. A análise destes dados, seguindo o método de Yin (2016), possibilitou uma compreensão aprofundada dos resultados obtidos e a geração de explicações fundamentadas nas teorias adotadas como referencial.

5.1.UEPS

Como parte do objetivo deste trabalho, o produto educacional desenvolvido foi elaborado de forma a ser útil, fundamentado e fácil de aplicar. Mais do que isso, buscou-se evitar que ele se tornasse um simples passo a passo, passível de memorização e rápido esquecimento pelos alunos, resultando em um aprendizado mecânico e evitando, como alerta Moreira (2011, p. 2), ser “uma grande perda de tempo”.

Neste trabalho, desenvolvemos uma sequência didática fundamentada no conceito da Unidades de Ensino Potencialmente Significativos (UEPS) proposta por Moreira (2011, p. 2), que a caracteriza como “sequências de ensino fundamentadas teoricamente, voltadas para a aprendizagem significativa, não mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula”.

Para isso, o produto foi construído na forma de uma UEPS, voltada para a disciplina de Controle de Processos, com foco no conteúdo de controladores Proporcional, Integral e Derivativo (PID). A estruturação desse material foi guiada pelos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa, buscando garantir que os alunos possam relacionar os novos conhecimentos com conceitos prévios de forma efetiva.

Em seu trabalho sobre as UEPS, Moreira (2011) define como principal objetivo o desenvolvimento de unidades de ensino que facilitem a aprendizagem significativa de tópicos específicos de conhecimento. Para alcançar esse objetivo, o autor apresenta os seguintes princípios:

- o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa (Ausubel);
- pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no ser que aprende; essa integração é positiva, construtiva, quando a aprendizagem é significativa (Novak);
- é o aluno quem decide se quer aprender significativamente determinado conhecimento (Ausubel; Gowin);
- organizadores prévios mostram a relacionabilidade entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios;
- são as situações-problema que dão sentido a novos conhecimentos (Vergnaud); elas devem ser criadas para despertar a intencionalidade do aluno para a aprendizagem significativa;
- situações-problema pode funcionar como organizadores prévios;
- as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade (Vergnaud)
- frente a uma nova situação, o primeiro passo para resolvê-la é construir, na memória de trabalho, um modelo mental funcional, que é um análogo estrutural dessa situação (Johnson-Laird);

- a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação devem ser levadas em conta na organização do ensino (Ausubel);
- a avaliação da aprendizagem significativa deve ser feita em termos de buscas de evidências; a aprendizagem significativa é progressiva;
- o papel do professor é o de provedor de situações-problema, cuidadosamente selecionadas, de organizador do ensino e mediador da captação de significados de parte do aluno (Vergnaud; Gowin);
- a interação social e a linguagem são fundamentais para a captação de significados (Vygotsky; Gowin);
- um episódio de ensino envolve uma relação triádica entre aluno, docente e materiais educativos, cujo objetivo é levar o aluno a captar e compartilhar significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino (Gowin);
- essa relação poderá ser quadrática na medida em que o computador não for usado apenas como material educativo;
- a aprendizagem deve ser significativa e crítica, não mecânica (Moreira);
- a aprendizagem significativa crítica é estimulada pela busca de respostas (questionamento) ao invés da memorização de respostas conhecidas, pelo uso da diversidade de materiais e estratégias instrucionais, pelo abandono da narrativa em favor de um ensino centrado no aluno (Moreira, 2011, p. 2-3).

Moreira (2011) propõe uma metodologia estruturada em oito passos para a elaboração de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. Esses passos são essenciais para garantir que a sequência didática seja construída de forma coerente e voltada para a promoção da aprendizagem significativa. No Quadro 4 é apresentado os oito passos que servem como um guia para o desenvolvimento de uma UEPS eficaz, fundamentada nos princípios da teoria de Ausubel (1963).

Quadro 4: Passos para a elaboração da UPES

Passos	Ação
1 - Ponto de partida	Definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico. É expor com clareza quais são os objetivos que devem ser alcançados com essa unidade de ensino e a forma de planejamento que será proposto.
2 - Situações-iniciais “Organizadores prévios”	Criar/Propor situações que levem o aluno a externalizar seu conhecimento prévio. O foco dessa etapa é trazer para a sala de aula aquilo que o estudante já sabe e que podem servir de ancoragem para os novos conhecimentos, os denominados “subsunçores”. Na ausência deles utiliza-se estratégias como os “organizadores prévios”.
3 - Situações-problemas	Propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento que se pretende ensinar. O foco desse momento é realizar uma base introdutória levando em conta o conhecimento prévio do aluno, levando situações-problema que podem funcionar como organizador prévio; estas situações-problema iniciais podem ser propostas através de simulações computacionais
4 - Apresentação da unidade de ensino	Uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, começando com aspectos mais gerais e inclusivos sobre o conteúdo, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino e na sequência os conceitos intermediários e os mais específicos.
5 - Aprofundamento em nível de complexidade maior	Em continuidade, retomar os aspectos mais gerais, estruturantes, do conteúdo da unidade de ensino, porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação; as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade.
6 - Continuidade da unidade de ensino	Dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora.
7 - Avaliação da aprendizagem por meio da UEPS	A avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado.
8 - Avaliação da UEPS	A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa.

Fonte: Autor adaptado de Moreira, 2011

5.2. CONTEXTO DA PESQUISA

Segundo o Projeto Pedagógico do Curso Técnico em Automação Industrial do Câmpus Camaquã (2021) do IFsul, o Câmpus Camaquã foi concebido durante a segunda fase de expansão do IFsul, com o princípio básico de fomentar o desejo contínuo pelo conhecimento. O Câmpus assume o compromisso de ser um espaço de excelência na produção de saberes, ao mesmo tempo em que enfrenta o desafio de formar cidadãos livres e responsáveis, capazes de tomar iniciativas e decisões diante dos avanços tecnológicos, contribuindo ativamente para a construção social do conhecimento.

Camaquã desempenha um papel central em sua microrregião, que inclui as cidades de Arambaré, Chuvisca, Tapes, Cerro Grande do Sul, Dom Feliciano, Sentinela do Sul, Barra do Ribeiro e Cristal. Como núcleo dessa microrregião, o município de Camaquã abriga uma comunidade diversa, onde o Campus do IFsul atua como um polo educacional e tecnológico, oferecendo oportunidades de desenvolvimento e formação qualificada para toda a região.

Camaquã é uma cidade cuja economia se baseia principalmente na agricultura, com destaque para a produção de arroz parboilizado, além de contar com um comércio varejista ativo. Apesar de apresentar um Índice de Desenvolvimento Humano considerado alto, o município enfrenta desafios no que diz respeito à empregabilidade, com uma porcentagem significativa da população fora do mercado de trabalho, além de questões relacionadas à renda per capita.

Destaca-se ainda que a região de Camaquã é caracterizada pelo uso de processos contínuos em diversas indústrias locais, como as de beneficiamento de arroz, fumo e madeira. Um exemplo importante é o processo de parboilização e beneficiamento do arroz, no qual os sistemas automatizados desempenham um papel fundamental em várias etapas do processo produtivo.

Vale ressaltar que as empresas da região utilizam amplamente a automação industrial para a produção de diversos produtos, incluindo arroz branco, arroz parboilizado, ração animal, óleo vegetal, móveis de madeira e produtos vinculados à indústria metalmeccânica.

Um dos fatores que impactam negativamente o bom andamento dos processos industriais na região é a carência de profissionais qualificados para atuar nas diversas etapas produtivas, como na manutenção de máquinas e equipamentos. Durante o

processo de implantação do Câmpus Camaquã, a comunidade local, por meio de consulta pública, identificou essa necessidade e solicitou a criação do Curso de Automação Industrial, visando suprir a demanda por profissionais preparados para atender as indústrias que, cada vez mais, utilizam sistemas automatizados. Um exemplo disso são os braços robóticos utilizados para paletizar fardos de arroz. O curso, portanto, está alinhado com as tecnologias de produção presentes em diversos arranjos produtivos da região, como as indústrias de beneficiamento de arroz e as de produção metalmeccânica.

O Curso Técnico em Automação Industrial do Câmpus Camaquã tem duração de 4 anos, com uma carga horária total de 3.600 horas, incluindo 240 horas dedicadas ao estágio supervisionado. A matriz curricular detalhada do curso encontra-se no Apêndice A. Ao concluir o curso, o Técnico em Automação Industrial torna-se um profissional apto a integrar sistemas de automação, utilizando softwares e redes industriais no controle da produção. Esse profissional propõe, planeja e executa a instalação de equipamentos automatizados e sistemas robotizados, além de realizar a manutenção de sistemas de automação industrial. Suas competências incluem a execução de medições, testes e calibrações de equipamentos elétricos, bem como a aplicação de procedimentos de controle de qualidade e gestão.

O egresso do Curso Técnico em Automação Industrial estará capacitado para atuar em diversos setores, incluindo indústrias com linhas de produção automatizadas, como as químicas, petroquímicas, de exploração e produção de petróleo, aeroespaciais, automobilísticas, metalomeccânicas e de plástico. Além disso, poderá trabalhar em empresas de manutenção e reparos, integradoras de sistemas de automação industrial, e em fabricantes de máquinas, componentes e equipamentos robotizados. O profissional também estará qualificado para colaborar em grupos de pesquisa voltados ao desenvolvimento de projetos na área de sistemas elétricos, bem como em laboratórios de controle de qualidade. As indústrias de processos contínuos, como as petroquímicas, de alimentos e de energia, são ambientes preferenciais para sua atuação, assim como laboratórios de controle de qualidade, manutenção e pesquisa, além de empresas integradoras e prestadoras de serviços.

No último ano do curso, destaca-se a disciplina de Controle de Processos, que abrange o conteúdo de controladores PID, tema central desta pesquisa. A matriz curricular de 2021, apresentada no Apêndice A, está em fase de implantação e prevê

que a disciplina seja ministrada em 2 períodos semanais de 45 minutos, totalizando 60 horas. No entanto, a pesquisa será realizada com base na matriz curricular anterior, que estipula 3 períodos semanais de 45 minutos totalizando 90 horas. A ementa da disciplina é apresentada da seguinte forma:

Estudo e busca da compreensão dos conceitos relacionados aos controles de processos industriais, desenvolvendo a capacidade analítica dos componentes das malhas de Controle. Estudo dos fundamentos das teorias de controle e diferenciação entre controle de processos contínuos e controle de processos discretos e dos diferentes tipos de controladores e suas metodologias para calibração e otimização (IFSul, 2015).

Dentre os conteúdos abordados nessa disciplina, destacam-se a Unidade V – Controladores PID e a Unidade VI – Calibração e Otimização de Controladores PID, por serem diretamente impactadas e relevantes para o desenvolvimento deste trabalho.

5.3. SUJEITOS DA PESQUISA

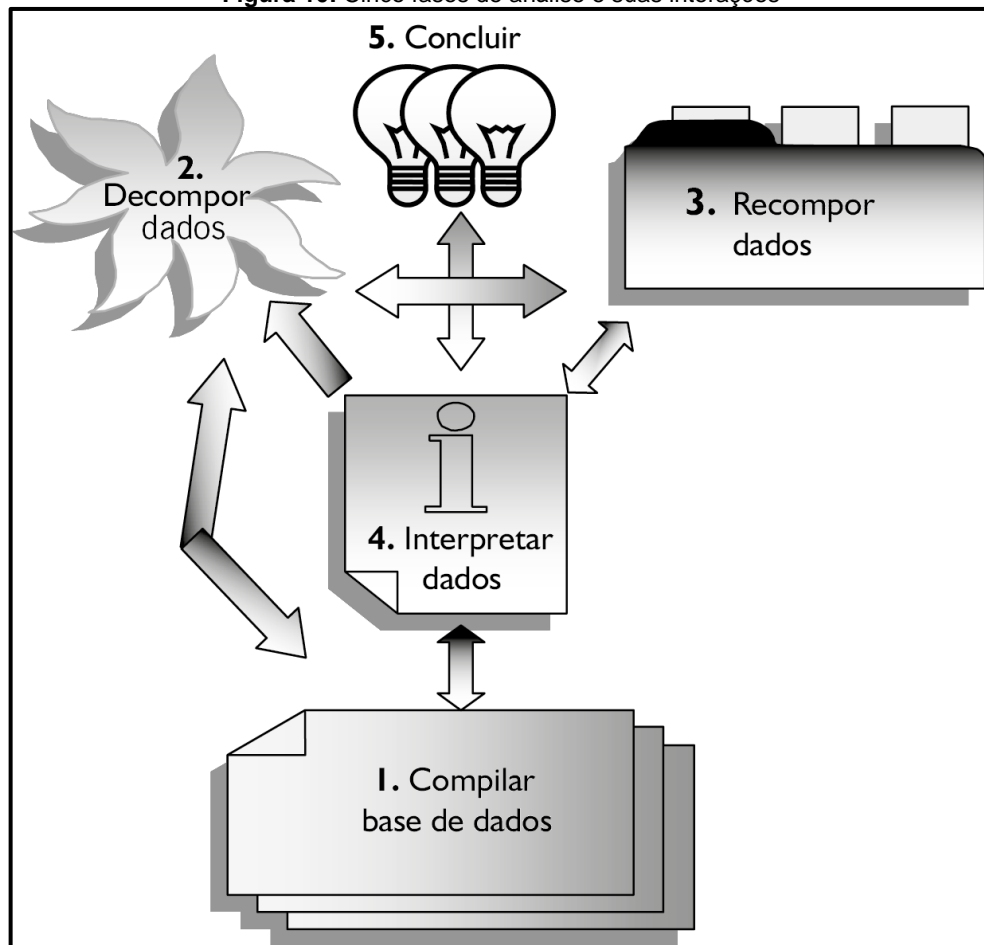
A pesquisa foi conduzida no Câmpus Camaquã do Instituto Federal Sul-rio-grandense, uma instituição pública de ensino situada no município de Camaquã, RS. Os sujeitos da pesquisa serão os discentes do 4º ano do Curso Técnico em Automação Industrial desse Câmpus, totalizando 19 alunos.

É importante destacar que a participação dos alunos no estudo foi voluntária. Para garantir a transparência e o respeito pelos direitos dos participantes, foi solicitado o preenchimento do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) pelos alunos maiores de idade e pelos responsáveis legais dos alunos menores de idade, conforme apresentado no Apêndice B. Este documento assegura que os participantes compreendam o objetivo da pesquisa, seus procedimentos e possíveis consequências. A assinatura do TCLE é obrigatória para a participação no estudo, garantindo que os alunos estejam plenamente informados e conscientes sobre o que envolve a pesquisa.

5.4. ANÁLISE DOS DADOS

A análise de dados qualitativos proposta por Robert Yin (2016) estrutura-se em cinco fases principais que podem ser desenvolvidas de forma não linear, permitindo um movimento recursivo entre elas. Este método analítico oferece uma abordagem sistemática e rigorosa para o tratamento de dados qualitativos, proporcionando ao pesquisador ferramentas conceituais para organizar, examinar e interpretar os dados coletados durante a investigação.

Figura 10: Cinco fases de análise e suas interações



Fonte: Yin (2016)

Na compilação, primeira fase do processo, ocorre a organização sistemática dos dados relevantes coletados durante a pesquisa, criando um banco de dados organizado que servirá como base para as análises subsequentes. Durante este processo, o pesquisador seleciona os elementos pertinentes aos objetivos do estudo, ordenando-os de maneira a permitir uma visão abrangente do material disponível.

O desagrupamento, segunda fase, consiste na fragmentação dos dados compilados em unidades menores, possibilitando a identificação de padrões e diferenças, bem como a atribuição de códigos ou categorias preliminares a esses fragmentos. Nesta etapa, o pesquisador examina detalhadamente cada elemento dos dados, buscando compreender suas características e relevância para o estudo.

Na terceira fase, o reagrupamento, os dados fragmentados são reorganizados em conjuntos que compartilham características semelhantes, permitindo a identificação de padrões mais amplos e o estabelecimento de relações entre os diferentes elementos categorizados. Yin (2016) destaca que as fases de desagrupamento e reagrupamento podem ocorrer repetidamente, em um processo iterativo que busca refinar progressivamente as categorias identificadas.

A interpretação, quarta fase do processo, é o momento em que o pesquisador atribui significados aos dados reagrupados, criando uma narrativa analítica que explica as categorias obtidas.

Por fim, na conclusão, quinta fase, o pesquisador elabora considerações finais a partir das interpretações realizadas e reflete não apenas os achados específicos da pesquisa, mas também suas implicações mais amplas e possíveis contribuições teóricas ou práticas.

6. PRODUTO EDUCACIONAL

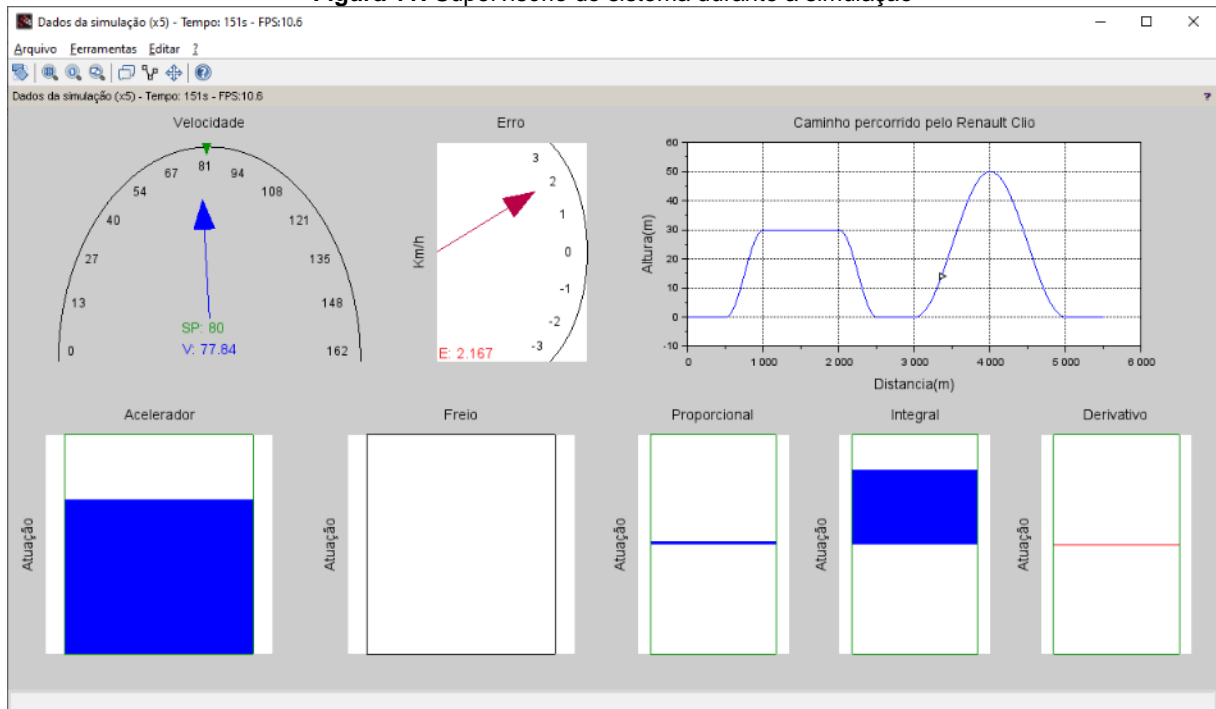
O produto educacional proposto consiste no desenvolvimento de uma sequência didática do tipo UEPS específica para a disciplina de Controle de Processos, com foco nos Controladores PID. Essa sequência didática faz uso de um simulador digital desenvolvido pelo professor/pesquisador desse trabalho, oferecendo ao professor uma ferramenta de apoio para abordar o tema de forma mais interativa e prática.

A sequência didática proposta abordou os seguintes temas:

- conceitos básicos de controle de processos;
- funcionamento da técnica PID;
- ajuste de parâmetros do controlador PID;
- aplicação da técnica PID no controle de velocidade de um veículo.

O simulador digital foi desenvolvido pelo autor utilizando o software SciLab® (Figura 11), uma ferramenta gratuita e de fácil utilização, o que facilita sua adoção por diversas instituições de ensino. O simulador é focado no ensino da técnica PID e apresenta o problema de controle de velocidade de um veículo automotivo. O veículo deve percorrer um trajeto "montanhoso", mantendo sua velocidade o mais próxima possível de um valor ajustado e constante.

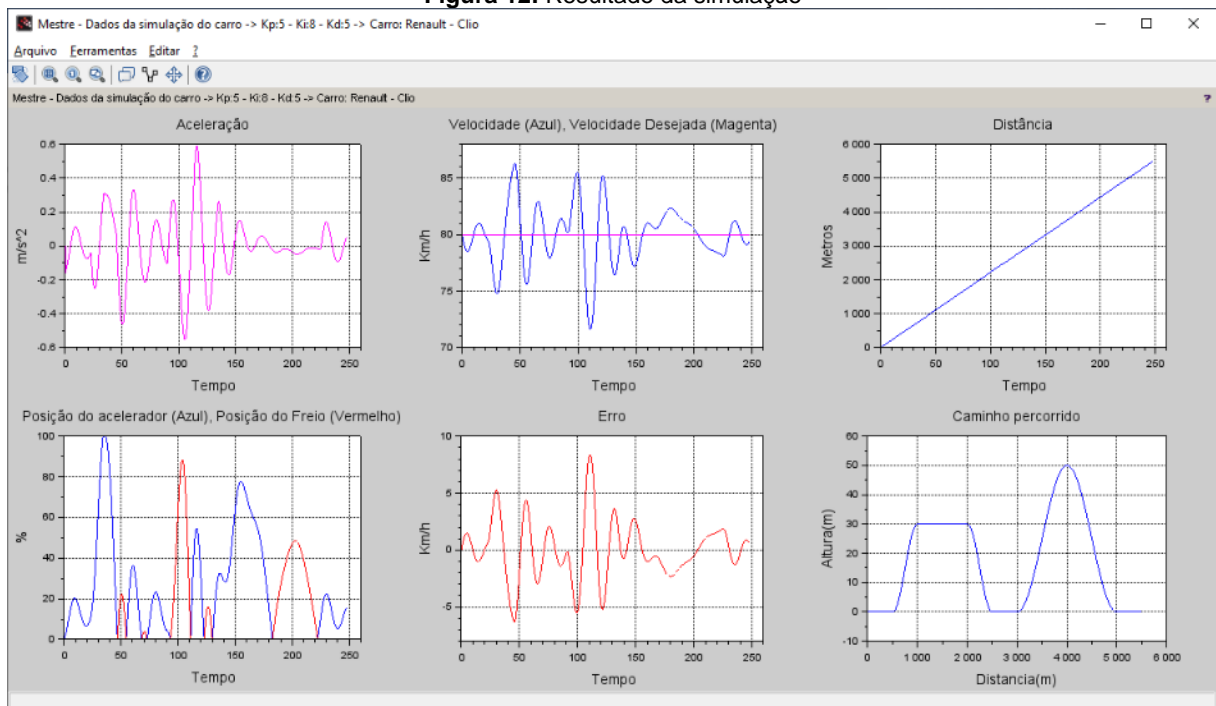
Figura 11: Supervisório do sistema durante a simulação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os alunos são os responsáveis por ajustar os parâmetros do controlador PID, que é o foco de estudo, a fim de alcançar os objetivos propostos no simulador (Figura 12).

Figura 12: Resultado da simulação



Fonte: Elaborado pelo autor.

A avaliação do produto educacional foi abrangente, incluindo observações em sala de aula para registrar as interações entre professor e alunos, o desenvolvimento das atividades e a dinâmica da aula. Ao final da avaliação, foi aplicado um questionário aos alunos, visando coletar suas percepções sobre a sequência didática, destacando seus pontos fortes, fracos e contribuições para a aprendizagem. Por fim, os alunos produziam apresentações em vídeo, que foram analisadas para avaliar a compreensão dos conteúdos abordados e a capacidade de aplicar os conhecimentos adquiridos na prática.

Com base nos passos propostos por Moreira (2011) para a construção de uma UEPS, foi elaborada uma sequência de atividades específica para o ensino de controladores PID, no contexto da disciplina de Controle de Processos. Essa proposta segue os princípios da aprendizagem significativa, adaptando cada etapa às necessidades e realidades dos alunos do Curso Técnico de Automação Industrial. O Quadro 5 apresenta as atividades planejadas para a implementação desta UEPS, destacando como cada uma delas busca facilitar a construção de novos conhecimentos ancorados em conceitos prévios.

Quadro 5: Proposta da sequência didática

UEPS - Encontros	Períodos ¹	Atividades/Ações
1. Ponto de partida com resgate dos conhecimentos prévios	1	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apresentação do tema: Introdução ao conteúdo a ser estudado, com foco na contextualização do tema. ✓ Roda de conversa sobre veículos: Diálogo aberto com os alunos para explorar seus conhecimentos prévios sobre veículos, abordando aspectos como propriedades físicas e funcionamento. ✓ Orientação do professor: O professor/pesquisador guiará a discussão por meio de perguntas estratégicas sobre o cotidiano dos alunos, como os veículos da família, o meio de transporte utilizado para chegar à instituição, veículos que desejam possuir, além de aspectos técnicos. Esse diálogo visa identificar os conhecimentos prévios dos estudantes e preparar o terreno para a construção do novo conteúdo.
2. Organizadores prévios	2	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Explicação sobre o funcionamento de veículos: O professor explicará o movimento de um veículo, destacando as principais forças físicas envolvidas, como a inércia, a força de atrito e a aceleração, com base na 2ª Lei de Newton. Um vídeo educativo poderá ser utilizado como material de apoio para ilustrar essas explicações. https://youtu.be/gS1FnfzG-lq ✓ Escolha de veículos para simulação: Após as explicações, cada estudante será convidado a escolher um veículo de sua preferência, utilizando o catálogo disponível no site https://www.carrosnaweb.com.br/avancada.asp. Os dados dos veículos escolhidos serão utilizados nas atividades de simulação que ocorrerão nas próximas etapas.
3. Situação-problema	3	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apresentação do problema: O estudante será introduzido ao desafio do controle automático de velocidade de um carro. ✓ Material de apoio: Para ilustrar o problema, será apresentado um vídeo que mostra o funcionamento de um controlador automático comercial. https://youtu.be/bJVCCJZ5fps ✓ Objetivo da atividade: Os alunos deverão desenvolver um controlador similar ao mostrado no vídeo, utilizando o simulador como plataforma de testes. As técnicas de controle já abordadas em aula serão aplicadas neste desenvolvimento. ✓ Discussão de métodos de controle: A classe discutirá a viabilidade de utilizar o controle ON-OFF e o controle Proporcional para resolver o problema apresentado. ✓ Introdução ao simulador: O professor apresentará o simulador desenvolvido no software <i>SciLab</i>®, explicando como os alunos podem instalá-lo e operá-lo, tanto em sala de aula quanto em casa. Um vídeo tutorial será disponibilizado via AVA, permitindo que os estudantes revisem o material a qualquer momento. ✓ Construção e testes: Utilizando o simulador e com auxílio do professor/pesquisador, os alunos desenvolverão e testarão tanto o controle ON-OFF quanto o controle Proporcional. ✓ Discussão dos resultados: Ao final, haverá uma discussão coletiva para analisar os resultados obtidos com cada método de controle.

¹ Períodos de 45 minutos

4. Apresentação da nova unidade de ensino	3	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Análise dos resultados das simulações: A partir dos resultados obtidos nas simulações anteriores, o professor/pesquisador destacará as limitações dos controladores utilizados, especialmente o problema do erro de regime permanente no controle proporcional. ✓ Introdução ao controle PID: Será feita a apresentação do controlador PID, com ênfase nas contribuições das parcelas Integrativa e Derivativa. Como material de apoio, os alunos terão acesso a uma apostila disponível no AVA, onde serão discutidos os pontos fortes e fracos de cada componente do PID, facilitando a compreensão de sua aplicação prática.
5. Aprofundamento em nível maior de complexidade	3	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Demonstração das funções do controlador PID: Durante a apresentação dos novos conceitos sobre o controlador PID, o simulador será utilizado para demonstrar como cada parcela – Proporcional, Integrativa e Derivativa – afeta o desempenho do controlador. ✓ Aplicação prática no simulador: Com o controlador PID completo e operacional no simulador, os alunos serão desafiados a inserir os dados do veículo que escolheram anteriormente. O objetivo será ajustar os parâmetros do controlador PID, realizando simulações com diferentes configurações até que o veículo cumpra o percurso dentro dos parâmetros estabelecidos, permitindo aos estudantes experimentar ajustes finos e observar os resultados.
6. Continuidade da unidade de ensino	3	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Discussão sobre parâmetros de controle: Os alunos serão desafiados a discutir e definir parâmetros satisfatórios para o sistema de controle proposto. Entre os pontos discutidos, estarão os limites aceitáveis para o erro do sistema e a aceleração do veículo, buscando critérios que sejam toleráveis dentro do contexto do controle PID. Essa atividade incentivará a reflexão crítica sobre os ajustes necessários para otimizar o desempenho do controlador.
7. Avaliação da aprendizagem oportunizada pela UEPS	2	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Avaliação contínua: O professor/pesquisador avaliará o processo de aprendizagem ao longo de todos os encontros, observando as dúvidas levantadas, as discussões realizadas e o desempenho dos estudantes nas simulações. ✓ Avaliação final em vídeo: Como parte da avaliação formal da disciplina, cada aluno deverá desenvolver uma apresentação em formato de vídeo. Nesse vídeo, o estudante deverá apresentar as simulações realizadas, analisar o desempenho do controlador PID desenvolvido e destacar suas características diferenciais em comparação com os controladores estudados anteriormente na disciplina.
8 - Avaliação da UEPS	1	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Feedback sobre a UEPS: Ao final da atividade, os estudantes deverão responder a um formulário que contém perguntas abertas relevantes sobre a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa aplicada. As respostas coletadas serão utilizadas na análise dos dados, além das observações do professor/pesquisador, permitindo avaliar a eficácia da UEPS.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As questões que foram propostas aos alunos como parte da avaliação da UEPS, com o objetivo de coletar um retorno sobre o processo de ensino e de aprendizagem desenvolvido, estão no Apêndice C.

Com o objetivo de padronizar os registros e favorecer uma reflexão sistemática sobre cada etapa da sequência didática, foi elaborado pelo professor/pesquisador um formulário no formato de diário de bordo. O instrumento contempla tanto informações objetivas quanto critérios qualitativos de observação, como participação, engajamento, trabalho em grupo e desenvolvimento cognitivo. Sua estrutura combina escalas descritivas e campos dissertativos, permitindo uma análise mais aprofundada dos encontros. A construção do instrumento está alinhada à teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, ao buscar indícios de integração de novos conhecimentos com estruturas cognitivas previamente existentes.

Esse instrumento será apresentado em forma de quadros correspondentes a cada encontro, servindo como um guia para que o professor/pesquisador registrasse, de maneira sistematizada, os acontecimentos relevantes observados. Os registros foram realizados logo após cada encontro, a fim de garantir a fidedignidade das informações coletadas. O referido formulário encontra-se no Apêndice D.

6.1.1º ENCONTRO

O primeiro encontro, apresentado no Quadro 6, foi idealizado para Criar/Propor situações que levem o aluno a externalizar seu conhecimento prévio.

Quadro 6: Avaliação Contínua da Sequência Didática - 1º encontro

Identificação do Encontro		
Data: 28/11/2024	Turma: TAI 4M	Número de períodos: 3 ¹
Tema do encontro: Ponto de partida com resgate dos conhecimentos prévios e Organizadores prévios		
Objetivo do encontro: Identificar e explorar os conhecimentos prévios dos estudantes relacionados ao tema, promovendo a ativação de organizadores prévios que favoreçam a ancoragem de novos conceitos. Busca-se, assim, despertar o interesse e estabelecer conexões significativas com o conteúdo que será aprofundado nos encontros subsequentes.		
Atividades	Ações	
Apresentação do tema	Foi realizada a introdução ao conteúdo a ser estudado, com foco na contextualização do tema.	
Roda de conversa sobre veículos	Promoveu-se um diálogo aberto com os alunos para explorar seus conhecimentos prévios sobre veículos, abordando aspectos como propriedades físicas e funcionamento.	

¹ Períodos de 45 minutos

Orientação do professor	O professor/pesquisador guiou a discussão por meio de perguntas estratégicas relacionadas ao cotidiano dos estudantes, como os veículos da família, o meio de transporte utilizado para chegar à instituição, os veículos que desejavam possuir, além de aspectos técnicos. Esse diálogo teve como objetivo identificar os conhecimentos prévios dos alunos e preparar o terreno para a construção do novo conteúdo.
Explicação sobre o funcionamento de veículos	O professor explicou o movimento de um veículo, destacando as principais forças físicas envolvidas, como a inércia, a força de atrito e a aceleração, com base na 2ª Lei de Newton. Um vídeo educativo foi utilizado como material de apoio para ilustrar essas explicações. https://youtu.be/gS1FnzG-lq
Escolha de veículos para simulação	Após as explicações, cada estudante foi convidado a escolher um veículo de sua preferência, utilizando o catálogo disponível no site https://www.carrosnaweb.com.br/avancada.asp . Os dados dos veículos escolhidos foram utilizados nas atividades de simulação que ocorreram nas etapas seguintes.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A aula iniciou-se com o professor explicando que o próximo conteúdo seria abordado tendo o automóvel como contexto principal. Ele destacou que o tema seria desenvolvido gradualmente, inserindo os conceitos técnicos ao longo das discussões.

Como introdução, o professor/pesquisador envolveu os alunos em uma conversa sobre o automóvel. Ele perguntou como os alunos chegavam à escola e qual era a relação deles com carros, especialmente os da família. A interação foi imediata: os estudantes começaram a compartilhar suas experiências e conhecimentos prévios, demonstrando grande interesse no tema.

Durante esse diálogo, surgiram discussões sobre veículos de luxo, considerados desejáveis, e relatos sobre os meios de transporte utilizados pelos alunos. Muitos mencionaram o uso de vans ou ônibus e o esforço para chegar ao campus a tempo. A conversa evoluiu naturalmente para tópicos como carros elétricos, suas vantagens e desvantagens, e questões relacionadas à poluição ambiental, custos, infraestrutura e desempenho.

O professor/pesquisador aproveitou para esclarecer pontos técnicos sobre o funcionamento dos carros elétricos e introduziu a discussão sobre o etanol como alternativa sustentável à gasolina. Um aluno levantou uma dúvida sobre a dificuldade de partida a frio em veículos movidos a etanol, um problema típico das décadas de 1980 e 1990, mas já superado na engenharia atual. O professor ilustrou a questão com um teste pessoal, realizado em um dia frio de inverno, onde comprovou que um carro *flex* movido a etanol funcionou sem dificuldades.

Outro tema levantado pelo professor/pesquisador foi o futuro dos automóveis. Ele questionou a turma sobre como imaginavam os carros daqui a 10 e 50 anos. A maioria dos alunos acreditava que, em 10 anos, a tendência seria o predomínio de carros híbridos, mas encontraram dificuldades para prever mudanças a longo prazo.

A discussão também abordou a necessidade de mão de obra qualificada para manutenção de veículos elétricos. O professor/pesquisador comparou esse cenário com a transição dos motores carburados para os sistemas de injeção eletrônica, destacando como a falta inicial de profissionais capacitados foi superada ao longo do tempo. Ele ressaltou que os alunos já estão mais qualificados do que profissionais de épocas anteriores, o que pode representar uma vantagem futura.

Com os alunos envolvidos, o professor/pesquisador introduziu conceitos de Física relacionados aos veículos, como as forças envolvidas no movimento automotivo. A partir de perguntas sobre quais forças atuam sobre um carro em movimento, ele explicou os princípios por trás da força gerada pelo motor, do atrito e do arrasto, que atuam como forças opostas ao movimento. Houve grande participação dos estudantes, já que o tema integra conhecimentos interdisciplinares, especialmente de física.

Em seguida, foi exibido um vídeo explicativo sobre a Segunda Lei de Newton,¹ reforçando conhecimentos prévios necessários para o conteúdo. Após o vídeo, o professor retomou o conceito de somatório de forças, destacando que a aceleração do veículo é resultado dessa soma e é proporcional à relação entre força e massa. Ele também esclareceu dúvidas sobre a diferença entre velocidade e aceleração, explicando que a última representa a taxa de variação da primeira.

¹ Vídeo educativo que apresenta os conceitos fundamentais da 2ª Lei de Newton: <https://youtu.be/gS1FnfzG-lg>

Figura 13: Apresentação do vídeo de apoio



Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro ponto abordado foi a força que atua quando um veículo sobe ou desce uma rampa inclinada, tópico relevante para os desafios futuros dos alunos. O professor/pesquisador ressaltou que essa força, apesar de frequentemente ignorada em materiais didáticos, é fundamental para entender situações práticas no movimento dos automóveis.

Para finalizar, o professor/pesquisador apresentou o site Carros na Web¹, que oferece um extenso catálogo de informações técnicas sobre veículos. Ele demonstrou exemplos com modelos conhecidos e, em seguida, incentivou os alunos a explorarem características técnicas de carros de seu interesse. Rapidamente, os estudantes se mostraram entusiasmados, analisando dados como aceleração de 0 a 100 km/h, velocidade máxima e potência dos veículos, reafirmando o envolvimento deles com o tema.

6.2.2º ENCONTRO

O segundo encontro, apresentado Quadro 7, buscou propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno.

¹ Site carros na web: <https://www.carrosnaweb.com.br/avancada.asp>

Quadro 7: Avaliação Contínua da Sequência Didática - 2º encontro

Identificação do Encontro		
Data: 04/12/2024	Turma: TAI 4M	Número de períodos: 3 ¹
Tema do encontro: Situação-problema		
Objetivo do encontro: Contextualizar o problema do controle automático de velocidade em veículos comerciais, evidenciando sua relevância nos sistemas de controle. Discutir soluções possíveis com base nos conhecimentos previamente abordados na disciplina, promovendo a aplicação prática dos conceitos. Apresentar o simulador desenvolvido como recurso didático para representar o problema real em ambiente virtual, possibilitando a análise e comparação de diferentes estratégias de controle, com ênfase nos controladores ON-OFF e proporcional.		
Atividades	Ações	
Apresentação do problema	O estudante foi introduzido ao desafio do controle automático de velocidade de um carro.	
Material de apoio	Para ilustrar o problema, foi apresentado um vídeo que mostra o funcionamento de um controlador automático comercial. https://youtu.be/bJVCCJZ5fps	
Objetivo da atividade	Os alunos desenvolveram um controlador similar ao mostrado no vídeo, utilizando o simulador como plataforma de testes. As técnicas de controle já abordadas em aula foram aplicadas nesse desenvolvimento.	
Introdução ao simulador	O professor apresentou o simulador desenvolvido no software SciLab®, explicando como os alunos poderiam instalá-lo e operá-lo, tanto em sala de aula quanto em casa. O vídeo tutorial foi disponibilizado via AVA, permitindo que os estudantes revisassem o material a qualquer momento.	
Discussão de métodos de controle	A classe discutiu a viabilidade de utilizar o controle ON-OFF e o controle Proporcional para resolver o problema apresentado.	
Construção e testes	Utilizando o simulador e com auxílio do professor/pesquisador, os alunos desenvolveram e testaram tanto o controle ON-OFF quanto o controle Proporcional.	
Discussão dos resultados	Ao final, foi realizada uma discussão coletiva para analisar os resultados obtidos com cada método de controle.	

Fonte: Elaborado pelo autor.

A aula iniciou com o professor/pesquisador reforçando que os alunos estavam participando de uma pesquisa sobre a metodologia utilizada e lembrando-os da necessidade de responderem a um questionário ao término do estudo. Em seguida, houve uma breve recapitulação dos temas abordados na aula anterior, preparando o terreno para a introdução do problema do controle de velocidade.

O professor/pesquisador introduziu o tema contextualizando com os sistemas de controle de cruzeiro, ou piloto automático, amplamente presentes nos veículos

¹ Períodos de 45 minutos

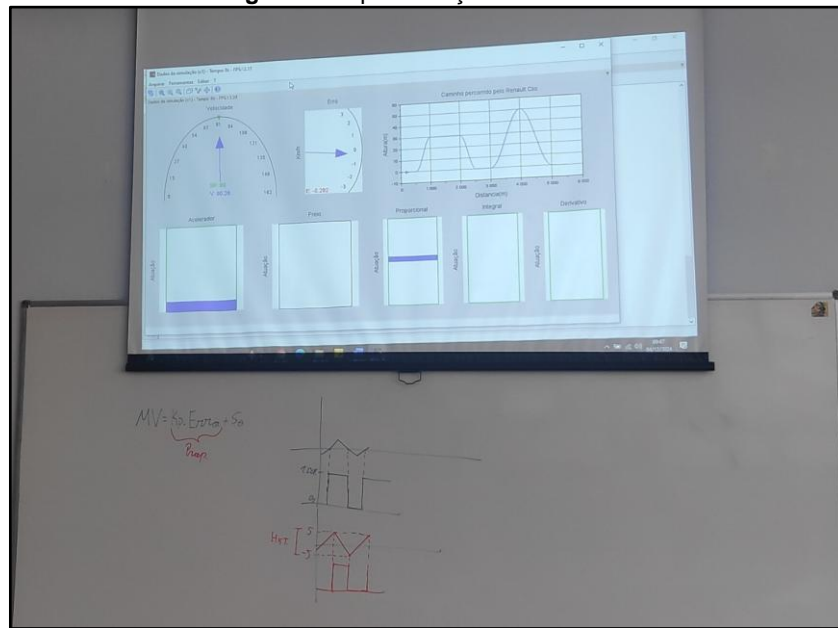
modernos. Ele destacou os benefícios desses dispositivos, como o conforto proporcionado ao motorista em viagens longas, eliminando a necessidade de manter o pé constantemente sobre o acelerador, o que pode ser fisicamente cansativo. Para ilustrar o funcionamento do sistema, foi apresentado um vídeo demonstrando um dispositivo comercial que adiciona piloto automático em carros que não possuem esse recurso de fábrica. Essa demonstração prática reforçou os benefícios do sistema e ajudou os alunos a visualizar seu funcionamento.

Na sequência, o professor/pesquisador apresentou o simulador que seria utilizado para realizar as simulações de controle de velocidade. Ele forneceu instruções sobre como acessar o código, disponibilizado no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), e destacou que, devido à versão mais antiga do software SciLab® instalada nos computadores da instituição, alguns ajustes no código foram necessários. Esses ajustes foram sendo realizados e testados, permitindo que todos os computadores executassem corretamente o simulador.

Com o simulador funcional, o professor/pesquisador iniciou as explicações sobre sua operação. Os alunos foram incentivados a explorar o sistema e a questionar sobre o percurso do carro virtual e os dados apresentados pelo programa. Inicialmente, a simulação foi configurada sem nenhum controle, apenas com o acelerador ajustado a um percentual fixo, como ponto de partida para as atividades práticas.

O professor/pesquisador questionou os alunos sobre os controladores já estudados e que poderiam ser aplicados à situação. O controle proporcional surgiu rapidamente como uma opção viável, enquanto o controle ON-OFF foi identificado como inadequado para o desafio. Para aprofundar a compreensão, o professor/pesquisador sugeriu que os alunos implementassem o controlador ON-OFF, demonstrando na prática suas limitações e justificando a inadequação desse modelo para o problema em questão.

Figura 14: Apresentação do simulador



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os alunos foram instruídos sobre onde localizar a função no código que precisariam alterar para criar a lógica do controlador ON-OFF. Alguns alunos conseguiram implementar o controle rapidamente, enquanto outros encontraram dificuldades, sendo auxiliados individualmente pelo professor. Após o funcionamento do controlador ON-OFF sem histerese, iniciou-se uma discussão sobre as limitações desse modelo, com base nos conhecimentos prévios dos alunos.

Na etapa seguinte, o professor/pesquisador pediu que os alunos implementassem a histerese no controlador ON-OFF, como forma de melhorar sua performance. Essa tarefa apresentou maior grau de dificuldade, e o professor novamente auxiliou individualmente, esclarecendo dúvidas e sugerindo abordagens para a lógica de programação. Após certo tempo, ele apresentou sua própria solução para a implementação, projetando os resultados na tela e promovendo uma discussão aprofundada sobre os pontos fracos do controlador ON-OFF para o desafio proposto.

Encerrada a etapa do controlador ON-OFF, o professor direcionou os alunos à implementação do controle proporcional. Ele iniciou com uma rápida revisão do conceito, destacando sua função matemática, e incentivou a interação para verificar o entendimento dos estudantes. A seguir, auxiliou na utilização de variáveis do simulador que seriam necessárias para configurar o controle proporcional.

Por se tratar de um modelo mais simples, os alunos rapidamente conseguiram implementá-lo em seus computadores. Muitos começaram a ajustar os parâmetros do controlador e a realizar testes espontaneamente, demonstrando domínio crescente

sobre o simulador. Um dos alunos, inspirado pela aula anterior, pesquisou as características de um carro esportivo e inseriu os dados no simulador, utilizando-o para suas simulações.

Embora o tempo tenha se esgotado antes de um debate aprofundado sobre o controle proporcional, ficou evidente o interesse dos alunos pelo sistema e a compreensão dos conceitos apresentados. O professor/pesquisador informou que o debate sobre o controle proporcional será o ponto de partida da próxima aula.

Durante toda a aula, foi notável o envolvimento dos alunos. Não foi observado nenhum estudante desatento ou alheio às atividades. Todos pareciam envolvidos, discutindo com seus colegas, esclarecendo dúvidas e analisando os resultados obtidos nas simulações. Essa participação ativa reforça o sucesso da abordagem pedagógica e da metodologia aplicada.

6.3.3º ENCONTRO

O 3º encontro, apresentado no Quadro 8, foi desenhado para apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido utilizando os conhecimentos prévios dos estudantes.

Quadro 8: Avaliação Contínua da Sequência Didática - 3º encontro

Identificação do Encontro		
Data: 11/12/2024	Turma: TAI 4M	Número de períodos: 3 ¹
Tema do encontro: Apresentação da nova unidade de ensino.		
Objetivo do encontro: Apresentar a nova unidade de ensino com foco na introdução ao controlador PID, contextualizando sua relevância frente às limitações observadas nas simulações anteriores com controladores ON-OFF e proporcional. Discutir o funcionamento das parcelas Proporcional, Integrativa e Derivativa, evidenciando suas contribuições no aprimoramento do desempenho dos sistemas de controle. Utilizar o simulador como ferramenta de apoio para a visualização e compreensão dos efeitos de cada componente do PID.		
Atividades	Ações	
Análise dos resultados das simulações	A partir dos resultados obtidos nas simulações anteriores, o professor/pesquisador destacou as limitações dos controladores utilizados, especialmente o problema do erro de regime permanente no controle proporcional.	
Introdução ao controle PID	Foi feita a apresentação do controlador PID, com ênfase nas contribuições das parcelas Integrativa e Derivativa. Como material de apoio, os alunos tiveram acesso a apostila utilizada na disciplina disponível através do AVA (https://proedu.rnp.br/handle/123456789/322), onde foram discutidos os pontos fortes e fracos de cada componente do PID, facilitando a compreensão de sua aplicação prática.	
Demonstração das funções do controlador PID	Durante a apresentação dos novos conceitos sobre o controlador PID, o simulador foi utilizado para demonstrar como cada parcela – Proporcional, Integrativa e Derivativa – afeta o desempenho do controlador.	

Fonte: Elaborado pelo autor.

A aula iniciou com o professor/pesquisador realizando uma recapitulação dos resultados obtidos nas simulações da aula anterior. Ele solicitou que os alunos baixassem o programa atualizado, que continha as correções realizadas na última aula, bem como melhorias nos controles já estudados, como o ON-OFF e o proporcional.

Os alunos foram orientados a testar as modificações no programa atualizado e realizar novas simulações com o controle proporcional. Em seguida, o professor/pesquisador promoveu uma discussão sobre os resultados, buscando avaliar a compreensão dos alunos sobre as características desse tipo de controle. Ele destacou suas qualidades e limitações, explicando que o controle proporcional, embora eficiente em muitos aspectos, apresenta um erro de regime permanente que não pode ser completamente eliminado, apenas mitigado.

¹ Períodos de 45 minutos

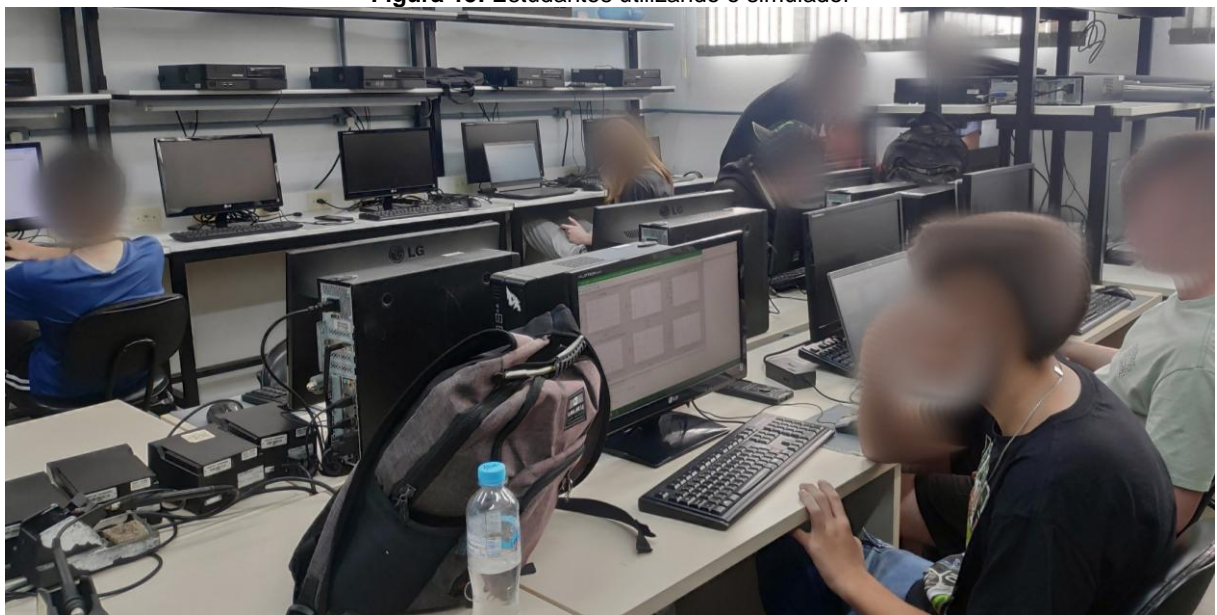
Com as discussões concluídas, o professor/pesquisador introduziu o próximo controlador a ser estudado: o controlador PID. Utilizando o material disponibilizado no AVA, ele explicou o cálculo integral, sua interpretação física e aplicação prática no controle de sistemas. Após esclarecer dúvidas levantadas pelos alunos, o professor utilizou o simulador configurado no modo de controle proporcional-integral (PI) para exemplificar o funcionamento.

Os alunos observaram os benefícios do controle integral, especialmente na eliminação do erro de regime permanente, característica destacada como sua maior vantagem. No entanto, também identificaram algumas dificuldades impostas por essa abordagem, promovendo uma análise crítica do método.

Na sequência, o professor/pesquisador apresentou o cálculo derivativo, explicando sua interpretação física e sua aplicação como controlador. Como os alunos já haviam trabalhado com derivadas em aulas anteriores, o professor fez uma conexão direta entre a matemática aplicada e a utilidade prática do cálculo derivativo em sistemas de controle.

Após a apresentação, os alunos foram instruídos a aplicar o controle derivativo no simulador e a analisar os resultados. O professor/pesquisador incentivou uma comparação detalhada entre os controladores apresentados até o momento (proporcional, integral e derivativo), para que os estudantes identificassem diferenças no comportamento do sistema (Figura 15).

Figura 15: Estudantes utilizando o simulador



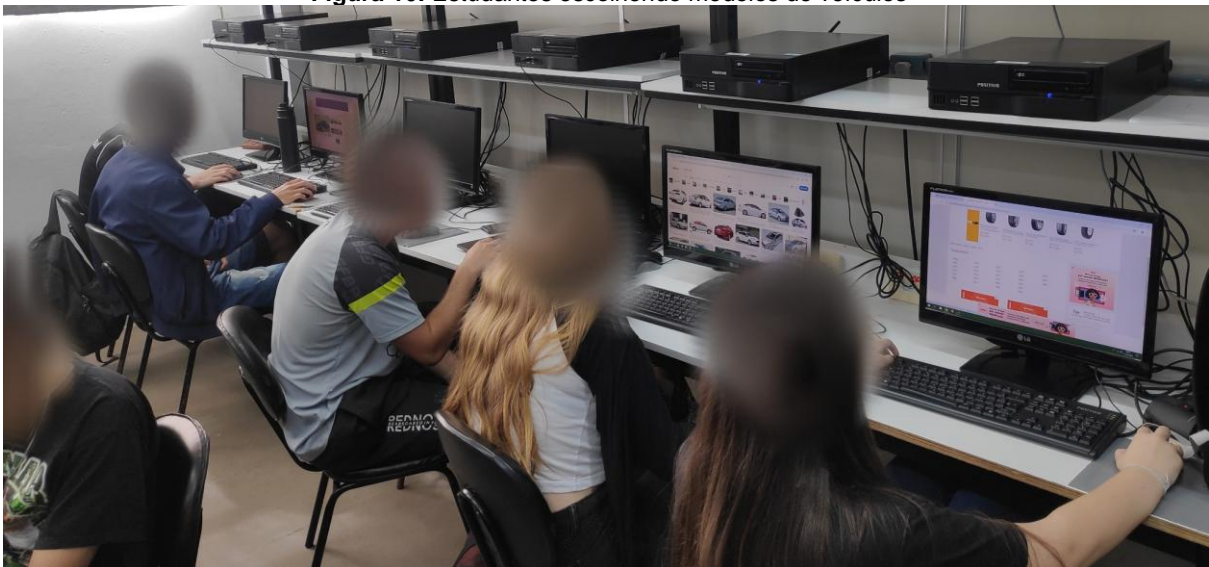
Fonte: Elaborado pelo autor.

Um novo recurso do simulador foi introduzido: o ruído, que simula perturbações externas ao sistema. O professor explicou que esse recurso é especialmente relevante para o estudo do controle derivativo, devido à sua limitação em lidar com variações bruscas no sinal de entrada, que muitas vezes são amplificadas de maneira desproporcional.

Foi notável a rápida adaptação dos alunos ao simulador. Muitos exploraram de forma autônoma os controladores, realizando diversas simulações, interpretando gráficos e analisando os dados apresentados. Essa autonomia refletiu o alto nível de engajamento com a atividade e com os conteúdos discutidos.

Antes de encerrar a aula, o professor/pesquisador propôs que os alunos alterassem o carro padrão do simulador para um modelo de sua escolha. Para isso, deveriam buscar os dados técnicos no site indicado anteriormente. Esse momento foi marcado por descontração, com cada aluno demonstrando interesse em diferentes automóveis. Enquanto alguns optaram por carros da família, outros preferiram modelos esportivos (Figura 16).

Figura 16: Estudantes escolhendo modelos de veículos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Poucas dificuldades foram observadas durante essa etapa, e as que surgiram foram rapidamente resolvidas. Um fato curioso ocorreu quando um aluno configurou o simulador para que seu carro esportivo alcançasse a velocidade de 250 km/h, gerando entusiasmo e reforçando o aspecto de gamificação do simulador. Esse elemento de diversão revelou-se uma valiosa ferramenta para manter o alto grau de interesse dos alunos, tanto pelo simulador quanto pelo conteúdo técnico abordado.

6.4.4º ENCONTRO

O quarto encontro, apresentado no Quadro 9, foi o momento de retomar os aspectos mais gerais, estruturantes, do conteúdo da unidade de ensino, porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação.

Quadro 9: Avaliação Contínua da Sequência Didática - 4º encontro

Identificação do Encontro		
Data: 18/12/2024	Turma: TAI 4M	Número de períodos: 3 ¹
Tema do encontro: Aprofundamento em nível maior de complexidade.		
Objetivo do encontro: Aprofundar a aplicação dos conhecimentos sobre o controlador PID por meio de simulações com maior nível de complexidade, utilizando os dados reais dos veículos escolhidos pelos estudantes. Estimular a análise crítica dos resultados obtidos, promovendo o ajuste fino dos parâmetros do controlador e a definição de critérios de desempenho. Introduzir o trabalho final como uma atividade prática de experimentação, visando consolidar os conhecimentos construídos ao longo da sequência didática.		
Atividades	Ações	
Aplicação prática no simulador	Com o controlador PID completamente implementado no simulador, os estudantes inseriram os dados dos veículos previamente escolhidos e realizaram simulações variadas. Durante a atividade, analisaram os resultados obtidos, refletindo sobre o comportamento do sistema e discutindo parâmetros de desempenho do controle, como aceleração, estabilidade e erro.	
Introdução do trabalho final	Foi apresentada a proposta do trabalho final, que consistiu no ajuste dos parâmetros do controlador PID com base em diferentes aplicações, até que o sistema controlado (veículo) fosse capaz de percorrer o trajeto estabelecido dentro dos critérios de desempenho definidos. A atividade incentivou a experimentação e a tomada de decisão fundamentada, consolidando os conhecimentos adquiridos ao longo da sequência didática.	

Fonte: Elaborado pelo autor.

A aula teve início com uma retomada de questões fundamentais sobre o comportamento do controle PID, buscando avaliar se o sistema se comporta de forma satisfatória e se os ajustes do controlador estão adequados. O professor/pesquisador introduziu essas reflexões com perguntas orientadoras: "Como saber se o sistema está funcionando adequadamente?" e "Os ajustes realizados no controlador estão corretos?"

Com essas questões norteadoras, foi apresentado o tema "Critérios de performance e comportamento das ações PID em malha fechada", conforme abordado na apostila da disciplina. O professor explicou cada método de análise,

¹ Períodos de 45 minutos

contextualizando com a aplicação prática no controle de velocidade de veículos, verificando se as análises propostas faziam sentido para essa situação.

Embora este momento tenha sido menos interativo, as poucas perguntas feitas pelos alunos demonstraram que eles estavam compreendendo os conceitos apresentados. O professor/pesquisador optou por não realizar comentários adicionais sobre os critérios de análise, destacando que os alunos ainda precisam adquirir mais experiência prática para entender os resultados que podem surgir de ajustes no controlador, algo que será possível ao longo do trabalho final.

Na segunda parte da aula, o professor apresentou as diretrizes do trabalho final da disciplina, que será desenvolvido nas semanas seguintes. O trabalho consiste no ajuste de um controlador PID para um sistema de controle automático de velocidade de veículos.

Cada aluno deverá escolher dois veículos para o estudo:

- um veículo de livre escolha;
- um veículo capaz de transportar uma carga superior a 1000 kg.

Após a apresentação das instruções, o professor/pesquisador respondeu às dúvidas levantadas pelos alunos e orientou sobre as informações técnicas necessárias para realizar o trabalho. Os estudantes, então, iniciaram a busca pelos dados dos veículos escolhidos.

Esse momento foi marcado por grande interação e entusiasmo por parte dos alunos. Muitos já tinham um veículo "pré-escolhido" de atividades anteriores e se concentraram em buscar as informações técnicas necessárias para o trabalho. Simultaneamente, realizaram a busca pelo segundo veículo, promovendo um ambiente descontraído e colaborativo.

Os alunos não apenas se interessaram pelos dados técnicos dos veículos selecionados, mas também pelos modelos escolhidos por seus colegas, gerando discussões e trocas de informações. Esse engajamento coletivo foi enriquecedor e demonstrou o alto grau de interesse dos estudantes na atividade.

Como professor, este é um dos momentos mais gratificantes ao aplicar esse trabalho. Ver os alunos tão engajados, compartilhando histórias pessoais e demonstrando interesse genuíno nos veículos escolhidos é uma confirmação de que a estratégia pedagógica adotada está no caminho certo.

A conexão dos alunos com os automóveis, seja por meio de memórias familiares, sonhos ou simples curiosidade, serve como um ponto de ancoragem

essencial para o aprendizado. Essa conexão transforma o trabalho em uma experiência potencialmente significativa, alinhada à teoria da aprendizagem significativa, pois permite que o novo conteúdo seja associado a algo relevante e familiar para os estudantes.

Ao final da aula, todos os alunos presentes concluíram a escolha dos seus dois veículos, conforme registrado no Quadro 10. Este momento foi fundamental para consolidar os objetivos da atividade e reforçar o vínculo dos alunos com o tema proposto.

Quadro 10: Veículos escolhidos pelos estudantes

Veículos		Características					Aerodinâmica	
Marca	Modelo	Potência Máxima (cv)	Massa (Kg)	Carga útil (Kg)	Vel. Máxima (Km/h)	0 - 100 Km/h (s)	Cx	Área Frontal
Porsche	911 GT3 RS 4.0	525	1450	-	296	3.2	0.39	2.21
RAM	2500 Laramie 6.7	377	3448	1088	160	11		
Ford	Fiesta Sedan	107	1120	-	180	12	0.36	806
Mitsubishi	L200 Triton GLS	205	2130	1080	190	10.4		
Ford	F-150 Raptor	456	2582	-	160	6.1		
Ford	F-1000	148	1905	1245	155	14.2		
Honda	Civic Si 2.0	192	1322	-	215	7.9	0.29	2.16
Chevrolet	D20 Custom deLuxe 4.0 Turbo CD	150	2410	1135	143	19.1	0.41	2.93
Toyota	Supra 3.0 biturbo	324	1550	-	250	4.6	0.32	1.95
Toyota	Hilux GR-S 2.8 Turbo 4x4 AT CD	224	2135	1000	180	10.7		
Chevrolet	Tracker 1.0 AT	121	1228	-	177	10.9	0.35	2.47
Fiat	Toro Ultra 2.0 4x4	170	1932	1010	193	11.9		
Toyota	RAV4	145	1615	-	165	12.9		
Chevrolet	S10	200	1930	1220	180	10.1	0.48	1.358
Fiat	Marea 2.4 ELX 20v	160	1335	-	205	9.8	0.32	2.15
Iveco	Daily	170	2680	2600	120	22		
Mercedes	AMG One	574	1695	-	352	2.9		
Volkswagen	Amarok	258	2191	1104	190	8	0.46	3.1
Renault	Sandero	76	1025	-	161	14.2	0.38	2.27
Nissan	Frontier	190	2180	1029	180	11.3		
Chevrolet	Corvette Z06 7.0 v8	505	1421	-	305	5.1	0.34	2.04
Mitsubishi	L200	87	1640	1050	137	20		

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.5.5º ENCONTRO

Com o objetivo de dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora o quinto encontro é apresentado no Quadro 11.

Quadro 11: Avaliação Contínua da Sequência Didática - 5º encontro

Identificação do Encontro		
Data: 29/01/2025	Turma: TAI 4M	Número de períodos: 3 ¹
Tema do encontro: Continuidade da unidade de ensino		
Objetivo do encontro: Dar continuidade à unidade de ensino por meio da análise crítica dos parâmetros de desempenho do sistema de controle, promovendo a construção coletiva de critérios técnicos adequados à realidade do problema proposto. Proporcionar um momento de atendimento individualizado, favorecendo o acompanhamento do trabalho final e o esclarecimento de dúvidas específicas, com foco na consolidação dos conhecimentos adquiridos.		
Atividades	Ações	
Discussão sobre parâmetros de controle	Os estudantes foram desafiados a discutir e definir parâmetros de desempenho para o sistema de controle, como limites aceitáveis para o erro em regime permanente e para a aceleração do veículo. A atividade estimulou a reflexão crítica sobre os ajustes necessários no controlador PID, incentivando a tomada de decisões fundamentadas em critérios técnicos e realistas.	
Atendimento individualizado para o trabalho final	A segunda parte do encontro foi dedicada ao desenvolvimento do trabalho final, com espaço para atendimento individualizado. O professor/pesquisador acompanhou o progresso de cada estudante, esclarecendo dúvidas específicas e oferecendo orientações personalizadas para o aperfeiçoamento das simulações e dos ajustes no controlador PID.	

Fonte: Elaborado pelo autor.

A aula iniciou com o professor/pesquisador retomando conceitos essenciais sobre o ajuste do controlador PID, com ênfase na busca pelo menor erro possível sem comprometer a aceleração do veículo durante o processo.

Para ilustrar a questão, o professor/pesquisador executou uma simulação e apresentou os gráficos gerados, destacando os principais pontos de atenção. Alguns alunos mencionaram já ter identificado essa relação em seus próprios testes (Figura 17). Após responder a algumas dúvidas sobre os ganhos do controlador, o professor destinou o restante do tempo para que os alunos avançassem em suas simulações, oferecendo atendimento individualizado conforme necessário.

¹ Períodos de 45 minutos

Figura 17: Estudantes executando simulações e discutindo resultados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Rapidamente, diversos alunos recorreram ao professor/pesquisador para esclarecer dúvidas. Enquanto alguns ainda estavam no início da simulação ou na etapa de escolha do veículo, outros já se encontravam na fase de ajuste fino do controlador. Houve intensa discussão sobre o comportamento do erro e sua aceitabilidade dentro dos parâmetros estabelecidos.

Ao longo da aula, os questionamentos concentraram-se, em sua maioria, na definição de um erro aceitável. Diante disso, o professor/pesquisador interveio com orientações e questionamentos estratégicos para estimular a reflexão e permitir que os próprios alunos chegassem a uma conclusão fundamentada. O uso de um controlador padrão mostrou-se particularmente útil nesse contexto, servindo como comparação para os ajustes e melhorias no desempenho do sistema.

6.6.6º ENCONTRO

No sexto e último encontro, apresentado no Quadro 12, teve como objetivo a finalização das atividades além de oportunizar um momento de avaliação pela UEPS e da UEPS.

Quadro 12: Avaliação Contínua da Sequência Didática - 6º encontro

Identificação do Encontro		
Data: 12/02/2025	Turma: TAI 4M	Número de períodos: 3 ¹
Tema do Encontro: Avaliação da aprendizagem oportunizada pela UEPS e da UEPS		
Objetivo do encontro: Avaliar a aprendizagem oportunizada ao longo da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), por meio da análise do desempenho dos estudantes nas simulações e na produção do vídeo final. Refletir sobre a efetividade da proposta didática a partir do feedback dos alunos, visando à melhoria contínua da sequência e à validação da abordagem pedagógica adotada.		
Atividades	Ações	
Avaliação contínua	O professor/pesquisador acompanhou e avaliou todo o processo de aprendizagem desenvolvido ao longo da UEPS, com base nas observações realizadas durante os encontros, nas interações dos estudantes, nas dúvidas levantadas e no desempenho obtido nas simulações.	
Avaliação final em vídeo	Como parte da avaliação formal da disciplina, cada estudante produziu um vídeo individual apresentando suas simulações finais. No material, analisaram o desempenho do controlador PID desenvolvido, comparando-o com os controladores ON-OFF e proporcional estudados anteriormente, destacando suas vantagens e limitações.	
Feedback sobre a UEPS	Ao final da atividade, os estudantes responderam a um formulário contendo perguntas abertas relevantes sobre a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa aplicada. As respostas coletadas foram utilizadas na análise dos dados, juntamente com as observações do professor/pesquisador, permitindo avaliar a eficácia da UEPS.	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste último encontro, os alunos tiveram a oportunidade de concluir suas atividades relacionadas ao desenvolvimento do vídeo, que serviu como avaliação formal do conteúdo. Alguns alunos buscaram o professor para esclarecer dúvidas sobre os slides utilizados na apresentação, enquanto outros receberam auxílio no uso de ferramentas para a produção do vídeo, incluindo orientações sobre o tempo de duração, sugerido em 10 minutos.

¹ Períodos de 45 minutos

Os alunos que finalizaram a atividade antecipadamente colaboraram com os colegas que ainda estavam em processo de produção, promovendo um ambiente de cooperação.

Após o esclarecimento das dúvidas, o professor/pesquisador disponibilizou um tempo para que os alunos respondessem ao questionário de avaliação da UEPS.

Além disso, este encontro coincidiu com a última aula da disciplina de Controle de Processos. Como a turma estava no último ano do curso, essa também foi a última aula com o professor, que aproveitou o momento para agradecer aos alunos pela participação na pesquisa e pelo comprometimento ao longo das aulas.

7. AVALIAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Este capítulo apresenta as percepções dos discentes do 4º ano do curso Técnico em Automação Industrial sobre a aplicação da UEPS e o uso do simulador avaliando a contribuição destes para uma melhor compreensão do conteúdo trabalhado.

A análise da aprendizagem não se restringiu apenas ao questionário aplicado, mas também considerou observações feitas durante a realização da sequência didática. O questionário composto por 5 perguntas foi submetido após a conclusão da UEPS buscando compreender se a aprendizagem dos estudantes foi significativa e de que forma o simulador contribuiu para a aprendizagem durante a aplicação da UEPS.

7.1. ANÁLISE DA QUESTÃO 1

A seguir iremos analisar, com base na proposta de Yin (2016), cada uma das 5 perguntas do questionário de avaliação da UEPS. A questão inicial submetida aos alunos foi *“De que maneira o simulador contribuiu para sua compreensão do funcionamento do controlador PID e de suas diferentes ações (Proporcional, Integrativa e Derivativa)?”* No Quadro 13, podemos ver a análise das três etapas iniciais da proposta metodológica de Yin (2016).

Quadro 13: Análise da questão 1 baseado na proposta Yin (2016)

Compilação	As 18 respostas dos alunos a essa pergunta são os dados brutos.
Desagrupamento	1. Visualização prática/Abordagem empírica 2. Interatividade e experimentação 3. Melhor compreensão dos parâmetros (K_p , K_i , K_d) 4. Complemento ao aprendizado teórico 5. Facilitação da aprendizagem
Reagrupamento	
Visualização prática / Abordagem empírica	E05: "Facilidade em compreender o funcionamento disso de forma visual, não apenas por meio dos cálculos no papel, mas com uma representação gráfica que demonstra como realmente acontece." E07: "Deu um exemplo quase prático de como os controles conduzem a velocidade do carro, assim facilitando o entendimento." E08: "O simulador foi muito importante para bem compreender como o PID age, já que foi possível ver, na prática, como cada característica do PID pode influenciar um controlador que faz uso desse método" E16: "Pois ver como funciona na prática do simulador ajuda a compreender melhor o conteúdo."

	E18: "Através da simulação, pude observar como cada uma das variáveis (Proporcional, Integrativa e Derivativa) influencia o desempenho do sistema de controle."
Interatividade e experimentação	<p>E04: "Ele me ajudou a esclarecer muitas <i>duvidas (sic)</i> quanto o funcionamento pratico de um controlador PID, muito por causa de que eu podia testar em primeira mão, como sistema se comportava ao alterar os valores de Kp, Ki e Kd."</p> <p>E09: "O simulador contribuiu positivamente com o entendimento prático do funcionamento do controlador PID, pois as simulações são interativas e personalizadas, possibilitando a análise do comportamento de diferentes veículos."</p> <p>E12: "O simulador contribui muito, ter a possibilidade de observar as mudanças feitas nessas constantes com um clique no botão de iniciar simulação suaviza e aprofunda meus conhecimentos na matéria"</p> <p>E13: "O simulador facilita a compreensão do controlador PID ao permitir a visualização interativa dos efeitos das ações"</p> <p>E14: "Ajustando os ganhos, e em tempo real, é possível observar como cada termo influencia a estabilidade"</p>
Melhor compreensão dos parâmetros (Kp, Ki, Kd)	<p>E06: "Com exemplos práticos do controle PID fica muito mais claro a ideia do Kp, Ki e Kd."</p> <p>E11: "Ele <i>da (sic)</i> uma boa noção de como o controle PID funciona na prática e como os ganhos derivativos e integrais funcionam em uma situação real."</p> <p>E14: "Ajustando os ganhos em tempo real, é possível observar como cada termo influencia a estabilidade, o tempo de resposta e o erro estacionário."</p>
Complemento ao aprendizado teórico	<p>E10: "Contribuiu de forma aditiva aos conhecimentos introduzidos durante as aulas, fornecendo uma perspectiva quase pratica dos controladores aprendidos"</p> <p>E10: "também contribuiu de maneira a introduzir novos conhecimentos e desenvolver conceitos abstratos de maneira mais realista."</p> <p>E13: "gráficos dinâmicos ajudam a identificar comportamentos como oscilações excessivas, atraso na correção ou erros acumulados, tornando o aprendizado mais intuitivo e prático."</p>
Facilitação da aprendizagem	<p>E01: "O simulador foi muito útil para o meu aprendizado e para compreender de maneira mais clara sobre como funciona o controlador PID"</p> <p>E02: "Foi uma boa forma de aprendizado para compreender o funcionamento do controlador PID."</p> <p>E03: "Me permitindo compreender sobre o controlador enquanto trabalhava com o mesmo, tornando o aprendizado mais fácil, rápido e satisfatório."</p> <p>E06: "O simulador deixou o conteúdo mais "palpável"."</p> <p>E15: "de uma maneira positiva, pois não sabia muito sobre o controle e o simulador foi uma <i>ótima (sic)</i> forma de mostrar na prática o que ele é."</p> <p>E17: "consegui compreender melhor com funciona o controlador PID e quais são suas vantagens"</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise das respostas dos estudantes sobre as contribuições do simulador para a compreensão do controlador PID aponta para aspectos relevantes do processo de aprendizagem vivenciado. A partir das categorias identificadas, observa-se que o simulador exerceu um papel significativo na construção do conhecimento, especialmente por meio da visualização prática e da abordagem empírica que proporciona. Os estudantes relataram, de forma consistente, que a interação com o simulador e a possibilidade de observar seu funcionamento por meio de representações gráficas facilitaram a compreensão de conceitos que, de outra forma, tenderiam a permanecer abstratos.

A manipulação de parâmetros e a observação dos resultados em tempo real também foram amplamente valorizadas nos relatos. Essa possibilidade de experimentação ativa parece ter favorecido a construção autônoma do conhecimento, à medida que os alunos puderam testar hipóteses e visualizar as consequências de suas escolhas. Tal dinâmica está em consonância com os princípios das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, conforme proposto por Moreira (2011), que ressaltam o protagonismo do aluno no processo de aprendizagem.

Outro ponto recorrente nas respostas foi a maior compreensão dos parâmetros do controlador PID (K_p , K_i e K_d), atribuída diretamente à prática com o simulador. Moran (2017, p. 01) aponta que as “metodologias ativas são estratégias de ensino centradas na participação efetiva dos estudantes na construção do processo de aprendizagem, de forma flexível, interligada e híbrida”. Ao ajustar os parâmetros e observar os efeitos provocados no comportamento do sistema, os estudantes relataram ter compreendido com mais clareza o papel de cada componente, o que também sugere um processo de diferenciação progressiva, conforme descrito por Ausubel (1963).

Além disso, os estudantes destacaram que o simulador funcionou como uma ponte entre os conceitos teóricos e suas aplicações práticas, favorecendo a chamada reconciliação integrativa. A possibilidade de “ver acontecer” o que antes era apenas conteúdo teórico contribuiu para uma compreensão mais aprofundada e para a internalização dos conceitos abordados.

“O significado está nas pessoas, não nas coisas.” É assim que Moreira (2011) inicia a definição de um material potencialmente significativo e Moreira (2011) continua “Então, não há, por exemplo, livro significativo ou aula significativa; no entanto, livros, aulas, materiais instrucionais de um modo geral, podem ser potencialmente

significativos”. De modo geral, os alunos relataram que a experiência de aprendizagem com o simulador foi mais clara, rápida e satisfatória. Expressões como “mais fácil de entender” e “mais palpável” surgiram com frequência nas respostas, indicando que o simulador atuou como um material potencialmente significativo. Ao tornar conteúdos abstratos mais acessíveis e conectados com a realidade dos estudantes, o simulador parece ter favorecido a predisposição para aprender — elemento central para a ocorrência da aprendizagem significativa.

7.2. ANÁLISE DA QUESTÃO 2

A análise das três etapas iniciais, proposta por Yin (2016) do questionamento “*Como o exemplo prático de controle de velocidade de um veículo facilitou (ou dificultou) o processo de ajuste dos ganhos do controlador PID?*” se encontra no Quadro 14.

Quadro 14: Análise da questão 2 baseado na proposta Yin (2016)

Compilação	As 18 respostas dos alunos a essa pergunta são os dados brutos.
Desagrupamento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Visualização concreta/feedback visual 2. Praticidade/simplicidade 3. Ajustes em tempo real/experimentação 4. Compreensão do funcionamento 5. Análise de gráficos 6. Relação com contexto real/aplicação cotidiana
Reagrupamento	
Visualização concreta / feedback visual	<p>E03: "Ele facilitou me permitido visualizar de forma mais concreta o que seria os ganhos do controlador PID e como as configurações que eu realizava no simulador os afetavam."</p> <p>E04: "Ele me facilitou muito, pois eu conseguia ver exatamente o que eu estava alterando dentro dos parâmetros do simulador."</p> <p>E05: "Com o carro em movimento e o auxílio dos gráficos, conseguimos visualizar como o controle de velocidade de um veículo no mundo real interage internamente no sistema..."</p> <p>E06: "O controle de velocidade do veículo facilitou a calibração do PID ao fornecer feedback visual e quantitativo sobre oscilações, tempo de resposta e erro permanente."</p> <p>E07: "Vendo quando o carro freia e acelera assim podendo saber em que parte ajustar o controlador para o carro se sair melhor no percurso"</p> <p>E10: "facilitou de maneira intuitiva graças aos gráficos e as animações."</p> <p>E19: "O exemplo prático de controle de velocidade de um veículo facilitou bastante o processo de ajuste dos ganhos do controlador PID, pois a interação direta com a simulação do veículo permitiu que eu visse como o ajuste de cada ganho impactava a performance..."</p>

Praticidade / simplicidade	<p>E01: "O exemplo foi muito útil pois, de maneira simples e prática, explicou claramente o funcionamento do processo de ajuste dos ganhos do controlador"</p> <p>E02: "Facilitou pois foi bem prático na função de explicar o funcionamento do controle PID..."</p> <p>E08: "O exemplo prático facilitou o processo de ajuste, pois vendo algo mais prático e de fácil compreensão, como é o controle de um veículo, se torna mais atrativo para poder entender o PID"</p> <p>E12: "O exemplo tornou muito mais simples esse processo..."</p> <p>E16: "facilitou bastante já que ajudou a encontrar com mais facilidade os valores ideais."</p>
Ajustes em tempo real/experimentação	<p>E12: "O exemplo tornou muito mais simples esse processo, já que eu tinha a oportunidade de fazer testes rápidos."</p> <p>E15: "Facilitou pela possibilidade de fazer novos ajustes a cada teste, na tentativa e erro, ajustando e regulando os valores para deixar o sistema com o comportamento desejado..."</p> <p>E18: "facilitou pode ter melhor ajustes de ganho"</p>
Compreensão do funcionamento	<p>E11: "Sabendo minimamente como o motor de um veículo funciona ficou mais fácil de saber o quanto de ganho deveria dar ao sistema."</p> <p>E17: "Facilitou pois vi como cada um funciona separadamente e isso me ajudou a entender melhor sobre o PID"</p>
Análise de gráficos	<p>E09: "A análise dos gráficos facilitou a compreensão do comportamento do veículo, pois ao alterar os ganhos proporcionais, integrais e derivativos, foi notável as mudanças comportamentais e até mesmo o surgimentos de oscilações não desejáveis, possibilitando futuras correções."</p>
Relação com contexto real/aplicação cotidiana	<p>E13: "O controle de velocidade de um veículo facilita o ajuste do PID ao permitir a observação direta da resposta do sistema. No entanto, fatores como peso da carga útil e variações de terreno podem dificultar o equilíbrio entre estabilidade e tempo de resposta"</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise das respostas dos estudantes sugere que o exemplo prático do controle de velocidade de um veículo tenha contribuído para a compreensão do ajuste dos ganhos do controlador PID. As frequentes menções à visualização concreta e ao retorno visual apontam para a possibilidade de que observar diretamente os efeitos das alterações nos parâmetros favoreceu a assimilação dos conteúdos propostos. Esse tipo de interação parece ter tornado os conceitos mais acessíveis, aproximando-os da realidade dos alunos.

A simplicidade e praticidade do exemplo, destacadas como segunda categoria mais recorrente, indicam que o uso de situações familiares pode ter facilitado a aproximação inicial com o tema. Termos como “simples”, “prático” e “atrativo” apareceram de forma espontânea nos relatos, sugerindo que esse tipo de abordagem

pode reduzir barreiras cognitivas comumente encontradas no ensino de conceitos técnicos.

As referências à possibilidade de ajustes em tempo real e à experimentação por tentativa e erro reforçam a hipótese de que a interatividade desempenhou um papel relevante no processo de aprendizagem. O envolvimento direto com os parâmetros e a observação imediata dos resultados podem ter proporcionado aos alunos um ambiente mais propício à reflexão e à construção de significados.

Ainda que menos frequentes, observações relacionadas à análise de gráficos, ao funcionamento do sistema e à conexão com contextos reais oferecem indícios de que diferentes elementos da simulação foram valorizados, o que pode apontar para a necessidade de estratégias pedagógicas que contemplem múltiplas dimensões da aprendizagem.

Chama atenção o fato de que a maioria das respostas avaliou positivamente o exemplo utilizado, havendo apenas uma menção a possíveis limitações da simulação frente à complexidade de sistemas reais. Esse dado pode indicar que o grau de complexidade da atividade esteve adequado à etapa formativa dos alunos.

Embora não se possa afirmar categoricamente a efetividade do recurso, os dados coletados fornecem pistas de que a utilização de exemplos contextualizados, associados à possibilidade de experimentação prática, favoreceram o engajamento e facilitaram a aprendizagem de conceitos relacionados ao controle PID, em consonância com os princípios teóricos de Ausubel (1963) e Moreira (2011). O exemplo utilizado, ao dialogar com experiências prévias dos estudantes, parece ter encontrado um ponto de ancoragem na estrutura cognitiva dos aprendizes, possibilitando que os novos conhecimentos fossem assimilados de maneira mais significativa.

7.3. ANÁLISE DA QUESTÃO 3

No Quadro 15 se encontra a análise da questão “*As discussões em grupo e as orientações do professor durante os encontros contribuíram para esclarecer suas dúvidas sobre o conteúdo?*”

Quadro 15: Análise da questão 3 baseado na proposta Yin (2016)

Compilação	As 18 respostas dos alunos a essa pergunta são os dados brutos.
Desagrupamento	1. Contribuição para compreensão geral do conteúdo 2. Contribuição para entendimento específico sobre PID

	<p>3. Suporte na resolução de problemas</p> <p>4. Valorização da orientação do professor</p> <p>5. Valorização das discussões em grupo</p>
Reagrupamento	
Contribuição para compreensão geral do conteúdo	<p>E02: "Sim, as discussões contribuíram para o melhor entendimento do conteúdo."</p> <p>E07: "Sim, tudo que aprendi foi melhorado quando fui orientado em dúvidas sobre o projeto."</p> <p>E09: "Sim, todas as dúvidas foram sanadas."</p> <p>E10: "Tanto as discussões quanto as orientações do professor foram essenciais para o desenvolvimento dos trabalhos e desenvolvimentos dos conhecimentos de maneira geral."</p> <p>E12: "com certeza, todas as dúvidas que tive sobre o trabalho foram esclarecidas apenas olhando para o PDF disponibilizado ou perguntando ao professor"</p> <p>E17: "consegui compreender melhor sobre controlador PID"</p>
Contribuição para entendimento específico sobre PID	<p>E05: "Sim, pois acompanhar e discutir sobre o assunto ajuda muito no esclarecimento de como o controle PID funciona."</p> <p>E11: "Sim, ajudaram a enxergar melhor o funcionamento do controle PID."</p> <p>E13: "As discussões em grupo e as orientações do professor foram fundamentais para esclarecer dúvidas, pois permitiram a troca de ideias, diferentes perspectivas sobre o conteúdo e explicações mais direcionadas, facilitando a compreensão do controlador PID e seu ajuste."</p> <p>E14: "Sim, de forma que foi possível ver como cada parâmetro influencia na resposta do controlador"</p>
Suporte na resolução de problemas	<p>E03: "Sim, tanto para compreender partes que tinha dificuldade de entender no conteúdo, quanto me auxiliar a poder operar o simulador da melhor forma."</p> <p>E04: "Sim, elas ajudaram muito principalmente quando apareciam duvidas recorrentes ao simulador."</p> <p>E06: "Com certeza, sempre tive minhas dúvidas sanadas pelo professor quando encontrava algum erro gerado pelo controle PID."</p> <p>E08: "Sim, foram muito úteis, pois em dado momento dos meus testes eu obtive um resultado que não sabia interpretar muito bem e nem o que causava, situação que foi sanada após auxílio do professor."</p>
Valorização da orientação do professor	<p>E01: "Sim, os encontros foram bons para o compartilhamento de pensamento sobre o conteúdo, principalmente as orientações do professor que foram muito úteis para a realização do trabalho"</p> <p>E06: "Com certeza, sempre tive minhas dúvidas sanadas pelo professor quando encontrava algum erro gerado pelo controle PID."</p> <p>E15: "Sim, já que teve situações específicas que só com o conhecimento do professor foi possível compreender o que estava acontecendo."</p>
Valorização das discussões em grupo	<p>E01: "Sim, os encontros foram bons para o compartilhamento de pensamento sobre o conteúdo, principalmente as orientações do professor que foram muito úteis para a realização do trabalho"</p>

	<p>E13: "As discussões em grupo e as orientações do professor foram fundamentais para esclarecer dúvidas, pois permitiram a troca de ideias, diferentes perspectivas sobre o conteúdo e explicações mais direcionadas, facilitando a compreensão do controlador PID e seu ajuste."</p> <p>E18: "Sim. Durante os encontros, tivemos a oportunidade de compartilhar diferentes pontos de vista, o que me ajudou a perceber aspectos do conteúdo."</p>
--	---

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise das respostas indica uma recorrência significativa de menções positivas às discussões em grupo e às orientações do professor como estratégias que possivelmente contribuíram para o esclarecimento de dúvidas. Essa percepção coletiva pode sinalizar que a abordagem pedagógica adotada favoreceu o engajamento dos estudantes com o conteúdo.

As respostas destacam o papel do professor como mediador, sobretudo na condução das discussões e na resolução de dúvidas específicas relacionadas a situações de maior complexidade. Esse aspecto pode indicar a importância da mediação docente na construção de pontes entre os conhecimentos prévios dos estudantes e os novos conceitos trabalhados, conforme apontado por Ausubel (1963) e Moreira (2011).

A ênfase nas respostas sobre a compreensão dos princípios do controlador PID sugere que esse conteúdo foi percebido como desafiador, sendo recorrente a associação de seu entendimento com os momentos de interação, tanto com o professor quanto com os colegas.

De modo geral, os dados sugerem que a combinação entre orientação, prática e colaboração pode ter contribuído para tornar o conteúdo mais acessível e compreensível aos alunos. Embora não se possa afirmar sua efetividade em termos absolutos, os indícios observados dialogam com os pressupostos teóricos da aprendizagem significativa de Ausubel (1963) e com a estrutura pedagógica das UEPS propostas por Moreira (2011).

7.4. ANÁLISE DA QUESTÃO 4

A análise das três etapas iniciais, proposta por Yin (2016) do questionamento "*Quais foram as maiores dificuldades encontradas durante o desenvolvimento das atividades propostas? Como elas poderiam ser superadas?*" estão disponíveis no Quadro 16.

Quadro 16: Análise da questão 4 baseado na proposta Yin (2016)

Compilação	As 18 respostas dos alunos a essa pergunta são os dados brutos.
Desagrupamento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dificuldades com o controlador PID e ajuste de parâmetros 2. Dificuldades na análise e interpretação de resultados 3. Dificuldades com gravação de vídeos para apresentação 4. Limitações do simulador 5. Ausência de dificuldades significativas
Reagrupamento	
Dificuldades com o controlador PID e ajuste de parâmetros	<p>E01: "Não obtive grandes dificuldades, com a única parte mais complexa sendo encontrar os valores ideais para o funcionamento do controlador PID"</p> <p>E05: "No começo, entender como o PID funciona na prática foi bastante complicado, mas com o passar do tempo, analisando os gráficos e olhando às aulas, consegui perceber como eles se complementam quando trabalham juntos em um mesmo sistema de controle."</p> <p>E06: "As maiores dificuldades foram a interdependência dos ganhos do PID, que tornava o ajuste complexo."</p> <p>E08: "As maiores dificuldades foram no início, quando não se tinha compressão plena de como cada valor do PID alterava o comportamento do veículo, foi necessário várias tentativas, análises e conversas com o professor para bem entender o PID."</p> <p>E19: "Inicialmente, foi um pouco difícil ajustar os ganhos do controlador de maneira eficaz, especialmente porque pequenas variações nos valores podiam resultar em oscilações ou respostas muito lentas do sistema."</p>
Dificuldades na análise e interpretação de resultados	<p>E10: "As maiores dificuldades foram a <i>análise (sic)</i> dos resultados, tanto as comparações quanto as <i>análises (sic)</i> individuais ainda permaneceram confusas com as mudanças dos parâmetros no controlador."</p> <p>E14: "A maior dificuldade foi a análise dos gráficos, especialmente na interpretação da resposta do sistema. Isso poderia ser superado com simuladores interativos, exemplos práticos e orientação do professor para identificar padrões."</p>
Dificuldades com gravação de vídeos para apresentação	<p>E04: "A minha maior dificuldade foi na hora de apresentar o trabalho, pois sou um desastre gravando vídeos, para ser superada somente eu aprendendo a gravar vídeos."</p> <p>E13: "minha maior dificuldade foi gravar o vídeo para o trabalho, teria sido preferido se o trabalho se tratasse apenas de uma apresentação em sala de aula"</p> <p>E15: "Gravar o vídeo, achar um ambiente adequado, e com boa iluminação, poderia ser superado com mais recursos para tal"</p> <p>E17: "Acho que não tive muitas dificuldades além de gravar o <i>video (sic)</i>, pois a minha câmera e áudio do notebook não estavam funcionando."</p>
Limitações do simulador	<p>E03: "Da minha parte <i>não houveram grandes dificuldade (sic)</i> para o desenvolvimento das atividades, o máximo que ocorreu de empecilhos foram bugs do simulador que foram corrigidos em versões posteriores do mesmo."</p> <p>E09: "A falta de limites nos ganhos permitiu que <i>eu chegassem (sic)</i> a valores bons, porém apenas em um mundo ideal. Talvez a implementação de limites nas variáveis e a de ruídos no sistema, simulando o mundo real</p>

	(buracos na estrada, por exemplo) ajudasse ainda mais a compreensão e a fidelidade da simulação."
Ausência de dificuldades significativas	<p>E02: "Não foram encontradas muitas dificuldades, foi bem tranquilo o <i>desenvolvimentos (sic)</i> das atividades."</p> <p>E12: "Não tive grandes dificuldades em realizar a atividade."</p> <p>E16: "Bom, não tive nenhuma dificuldade muito grande, até por que o simulador é simples de mexer."</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise das respostas dos estudantes sobre as dificuldades enfrentadas nas atividades da sequência didática baseada nas UEPS revela padrões que podem indicar aspectos relevantes do processo de aprendizagem relacionado ao controlador PID.

A dificuldade mais recorrente diz respeito ao ajuste dos parâmetros do controlador PID e à consequente interpretação dos resultados obtidos nas simulações. Os relatos apontam que compreender como cada parâmetro do controlador afeta o comportamento do sistema demandou esforço contínuo por parte dos alunos, com necessidade de repetidas tentativas, observação de respostas gráficas e apoio nas mediações do professor. O enfrentamento dessas dificuldades se deu por meio de um processo ativo de experimentação, o que pode ter favorecido a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, conforme os pressupostos da teoria de Ausubel (1963).

A gravação dos vídeos foi mencionada como a segunda maior dificuldade entre os estudantes. Embora não diretamente relacionada ao conteúdo técnico, essa atividade exigiu competências comunicativas e tecnológicas que nem todos demonstraram dominar plenamente. Considerando essa dificuldade recorrente, o produto educacional foi ajustado, passando a oferecer aos alunos a possibilidade de apresentar o trabalho por meio alternativo à gravação em vídeo, respeitando suas diferentes habilidades e contextos.

Algumas respostas apontaram limitações percebidas no simulador, como a ausência de ruídos ou de restrições nas variáveis, aspectos que poderiam aproximar a simulação de contextos reais. Moreira (2010) afirma que "quando o aluno formula uma pergunta relevante, apropriada e substantiva, ele utiliza seu conhecimento prévio de maneira não-arbitrária e não-literal, e isso é evidência de aprendizagem significativa". Embora não foram perguntas e sim observações, revelam um nível de reflexão crítica sobre os limites da abordagem adotada e podem ser vistas como evidências de aprendizagem significativa.

7.5. ANALISE DA QUESTÃO 5

No Quadro 17 estão as respostas e categorização da questão “*Você se sente mais preparado para aplicar os conceitos de controle de processos no contexto real após participar dessa UEPS? Explique sua resposta*”.

Quadro 17: Análise da questão 5 baseado na proposta Yin (2016)

Compilação	As 18 respostas dos alunos a essa pergunta são os dados brutos.
Desagrupamento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Confirmação de preparação 2. Compreensão do controlador PID 3. Valorização da prática/simulação 4. Confiança para aplicação futura 5. Eficácia da metodologia UEPS 6. Visualização e aspectos gráficos 7. Aprofundamento de conceitos 8. Limitações da simulação
Reagrupamento	
Confirmação de preparação	<p>E1: "Sim, sinto que estou mais preparado..."</p> <p>E2: "Sim, me sinto mais preparado para aplicar os conceitos..."</p> <p>E3: "...me deixando sim mais confiante..."</p> <p>E4: "Sim, pois com esta prática se tornou mais fácil..."</p> <p>E5: "Sinto que entendo muito mais como isso funciona..."</p> <p>E6: "Sim, o fato desta metodologia... me deixou mais preparado."</p> <p>E7: "Sim, pois sei as noções básicas..."</p> <p>E8: "Sim, pois com essa prática a minha compreensão... aumentou enormemente..."</p> <p>E9: "Sim, me sinto preparado para achar os ganhos ideais..."</p> <p>E10: "Sim devido aos muitos conceitos aprofundados..."</p> <p>E11: "Sim, pois agora eu realmente entendi..."</p> <p>E12: "Sim, me sinto mais preparado do que estaria..."</p> <p>E13: "Sim, sinto-me mais preparado, pois a metodologia ajudou..."</p> <p>E14: "De certa forma sim, tive noção de visualização gráfica..."</p> <p>E15: "Sim, me sinto bem mais preparada..."</p> <p>E16: "Sim, pois compreendi o conteúdo..."</p> <p>E17: " sim me sinto mais preparado pois foi ... bastante aprofundado"</p> <p>E18: "...foi fundamental para transformar o conteúdo teórico em algo mais tangível e aplicável."</p>
Compreensão do controlador PID	<p>E01: "...por aprender mais à fundo sobre o controlador..."</p> <p>E03: "...me permitiu compreender e operar o controlador PID de forma mais simples e didática..."</p> <p>E04: "...se tornou mais fácil de se compreender o sistema PID..."</p> <p>E09: "...preparado para achar os ganhos ideais em um controlador real."</p>

	<p>E11: "...agora eu realmente entendi como funciona o controle PID..."</p> <p>E13: "...a metodologia ajudou a entender melhor o PID..."</p> <p>E16: "...aprendi sobre o PID."</p> <p>E17: "...bastante aprofundado"</p>
Valorização da prática/simulação	<p>E01: "...pelas práticas realizadas no simulador"</p> <p>E03: "...sempre apreendendo na pratica o seu funcionamento..."</p> <p>E04: "...com esta prática se tornou mais fácil de se compreender..."</p> <p>E04: "...principalmente pelo fato de testarmos..."</p> <p>E08: "...aplicar os conceitos, mesmo que num cenário controlado e projetado pelo professor..."</p> <p>E10: "...bem como a aplicação de cada um no simulador..."</p> <p>E11: "...tendo experiências de uso do mesmo."</p> <p>E13: "...com simulações..."</p> <p>E15: "...foi possível ver o que o conteúdo teórico não consegue demonstrar."</p>
Confiança para aplicação futura	<p>E03: "...me deixando sim mais confiante para trabalhar com controlador PID em futuros projetos."</p> <p>E05: "...posso aplicar em diversas áreas e conceitos diferentes tanto na indústria quanto fora dela."</p> <p>E08: "...aumentar a confiança dos estudantes em situações de vida real."</p> <p>E09: "...me sinto preparado para achar os ganhos ideais em um controlador real."</p> <p>E10: "...prepara melhor para o real entendimento sobre controladores."</p> <p>E13: "...conceitos mais claros e aplicáveis a sistemas reais"</p>
Eficácia da metodologia UEPS	<p>E06: "...o fato desta metodologia relacionar o aprendizado com o que vemos no cotidiano..."</p> <p>E12: "...me sinto mais preparado do que estaria caso essa metodologia não fizesse parte do processo de ensino"</p> <p>E13: "...a metodologia ajudou a entender melhor o PID..."</p> <p>E18: "A forma de ensino usada pelo professor, foi fundamental..."</p>
Visualização e aspectos gráficos	<p>E04: "...testarmos e enxergarmos como o sistema se comporta ao realizar determinados ajustes."</p> <p>E14: "...tive noção de visualização gráfica e como cada parâmetro influencia a variável controlada..."</p> <p>E15: "...foi possível ver o que o conteúdo teórico não consegue demonstrar."</p>
Aprofundamento de conceitos	<p>E01: "...aprender mais à fundo sobre o controlador..."</p> <p>E10: "...muitos conceitos aprofundados no trabalho..."</p> <p>E16: "Fazer o vídeo e explicar o conteúdo ajudou a aprender mais ainda."</p> <p>E17: "...assunto bastante aprofundado"</p>

Limitações da simulação	E14: "...mas no contexto real acredito que há muito mais questões que tem de serem trabalhadas, que dificilmente se consegue simular no ambiente virtual"
-------------------------	---

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise das respostas dos estudantes indica uma percepção amplamente positiva. Todos os participantes relataram algum grau de sensação de preparo, embora por razões distintas e com níveis variados de confiança.

Destaca-se a valorização da prática e da simulação como elementos centrais. Muitos estudantes relataram que a experiência prática facilitou a compreensão e captação de significados, ao permitir a visualização do comportamento do sistema e a manipulação dos parâmetros do controlador PID. Esses relatos sugerem que as simulações podem ter atuado como organizadores prévios entre os conceitos teóricos e suas possíveis aplicações, criando condições favoráveis para a ancoragem de novos conhecimentos na estrutura cognitiva dos alunos, em consonância com os princípios da aprendizagem significativa propostos por Ausubel (1963).

A compreensão específica do funcionamento do controlador PID, assim como os relatos de estudantes que se disseram aptos a aplicar os conhecimentos adquiridos em contextos profissionais, foi frequentemente associada à metodologia utilizada. A percepção de aplicabilidade dos conceitos sugere que o conteúdo pode ter sido internalizado de maneira substantiva, e não apenas memorizado de forma arbitrária. Tal indício aproxima-se da concepção de aprendizagem significativa proposta por Ausubel (1963).

De forma geral, os dados analisados sugerem que a UEPS aplicada pode ter contribuído para o fortalecimento da confiança dos estudantes quanto à utilização dos conceitos de controle de processos em contextos práticos. Os relatos revelam experiências de aprendizagem que, ao menos na percepção dos participantes, aproximam-se dos princípios da aprendizagem significativa ao integrar teoria, prática e reflexão.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi elaborar e validar uma sequência didática que faça uso de um software de simulação, com o propósito de potencializar as aprendizagens em controle de processos no Curso Técnico de Automação Industrial. Para isso foi elaborada uma sequência didática com base na estrutura da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) específica para a disciplina de Controle de Processos, com foco nos Controladores PID, utilizando o simulador desenvolvido pelo professor/pesquisador construído no ambiente SciLab® e foi aplicada no 4º ano do Curso Técnico de Automação Industrial do Câmpus Camaquã do IFSul, na disciplina de controle de processos.

A análise qualitativa dos dados, com base no método de Yin (2016), apontou indícios de que o uso do simulador tenha favorecido aprendizagens significativas, ao possibilitar que os estudantes estabelecessem relações entre os novos conteúdos e seus conhecimentos prévios. A contextualização do conteúdo, por meio do exemplo do controle de velocidade de um automóvel, parece ter sido eficaz para despertar o interesse dos estudantes e favorecer a ancoragem do novo conhecimento. A familiaridade com o tema possibilitou a construção de significados não arbitrários e não literais, conforme proposto por Ausubel (1963), o que pode ter favorecido a integração dos conceitos de controladores PID de forma mais contextualizada.

A possibilidade de manipular os parâmetros do controlador e observar os resultados em tempo real auxiliou na compreensão dos conceitos abstratos. Além disso, as discussões em grupo e as orientações do professor podem ter desempenhado um papel no esclarecimento de dúvidas e na construção do conhecimento.

Os dados coletados por meio das observações em sala de aula, dos vídeos produzidos pelos estudantes e dos questionários aplicados indicaram que a proposta foi, em geral, bem recebida e compreendida pelos alunos, apresentando indícios de que sua implementação contribuiu para o processo de aprendizagem. No que se refere ao aspecto em que se observou maior dificuldade por parte dos estudantes, o produto foi revisado, e a versão final apresenta uma sugestão para mitigar essa dificuldade.

Para pesquisas futuras, recomenda-se o aperfeiçoamento contínuo do simulador, incluindo a adição de novos elementos gráficos e funcionalidades que

possam enriquecer a experiência dos estudantes. Da mesma forma, melhorias e adaptações na sequência didática apresentam-se como um campo aberto de investigação e desenvolvimento, capaz de gerar novas abordagens metodológicas e ampliar o escopo de aplicação do material.

O ensino técnico, especialmente no que se refere à área de controle de processos, ainda apresenta carência de materiais didáticos e metodologias de ensino especificamente voltadas para esse campo. Nesse sentido, espera-se que este trabalho possa contribuir, ainda que de forma pontual, para atenuar essa lacuna, ao apresentar uma proposta de um produto educacional que busca potencializar a aprendizagem de conceitos relacionados a controladores PID, integrando teoria e prática em contextos próximos à realidade dos estudantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Gabriel CS; DE ANDRADE, Gilberto Capistrano Cunha. **Aplicações de uma Plataforma Didática de Controle de Nível para o Ensino na EPT**. Revista Novas Tecnologias na Educação, v. 19, n. 1, p. 11-20, 2021.

BACICH, Lilian; MORAN, José. **Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática**. Penso Editora, 2017.

BACICH, Lilian; NETO, Adolfo Tanzi; DE MELLO TREVISANI, Fernando. **Ensino híbrido: personalização e tecnologia na educação**. Penso editora, 2015.

BAYER, Fernando Mariano; ARAÚJO, Olinto César Bassi de. **Controle Automático de Processos**. 2016. Disponível em: <https://proedu.rnp.br/handle/123456789/322>. Acesso em 24/04/2025.

BREGANON, Ricardo et al. **Desenvolvimento de Sistemas de Pêndulos Invertidos como Ferramentas Didáticas em Cursos de Engenharia de Controle e Automação**. Holos, v. 5, p. 1-14, 2021.

CAMPBELL, Stephen L. et al. **Modeling and Simulation in Scilab/Scicos**. Springer New York, 2006.

CAZAROTTO, Rafael. **Construção de um módulo didático de baixo custo para controle de nível usando o arduino**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2021.

COELHO, Lincoln Mansur; MARQUES, Adílio Jorge; SOUZA, Dominique Guimarães de. **A Teoria da Aprendizagem Significativa e o ensino de História**. Revista Educação Pública, v. 19, nº 31, 26 de novembro de 2019. Disponível em: <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/19/31/a-teoria-da-aprendizagem-significativa-e-o-ensino-de-historia>. Acesso em: 27/03/2024.

DA COSTA JUNIOR, Ademar Gonçalves. **Um exemplo da solução take-home na disciplina de Controle Digital do IFPB**. Cobenge 2023.

IFSUL campus Camaquã – **Programa da disciplina de Controle Processos**, 2015. Disponível em: <https://intranet.ifsul.edu.br/catalogo/download/programa/13476>. Acesso em: 17/10/2024.

IFSUL campus Camaquã - **Projeto Pedagógico do Curso técnico em Automação Industrial**, 2021. Disponível em: <https://intranet.ifsul.edu.br/catalogo/download/projeto/696>. Acesso em: 17/09/2024.

LIRA, Hiarley Martins. **Sistema didático de tanques acoplados para ensino de controle e automação**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso.

LORENZO, Roberto Blanco; DA CONCEIÇÃO MATOS, Sérgio Luiz. **Desenvolvimento de sistema de treinamento para sintonia de controladores de**

processos industriais contínuos. Revista Científica SENAI-SP-Educação, Tecnologia e Inovação, v. 1, n. 3, p. 24-41, 2023.

MARTINS, Samuel Barbosa. **Controle de velocidade de motor em malha fechada aplicado em um robô seguidor de linha virtual.** Trabalho de Conclusão de Curso - Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas, 2021.

MEC Ministério da educação - **Perguntas Frequentes Rede e-Tec Brasil**, 2018. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/rede-e-tec-brasil/rede-e-tec-brasil-perguntas-frequentes>. Acesso em: 13/10/2024.

MORAN, José. **Metodologias ativas e modelos híbridos na educação. Novas Tecnologias Digitais: Reflexões sobre mediação, aprendizagem e desenvolvimento.** 2017. Disponível em: https://moran.eca.usp.br/wp-content/uploads/2018/03/Metodologias_Ativas.pdf. Acesso em: 20/03/2025.

MOREIRA, Marco Antonio. **O que é afinal aprendizagem significativa?** 2010. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>. Acesso em 14/10/2024.

MOREIRA, Marco Antonio. **Abandono da narrativa, ensino centrado no aluno e aprender a aprender criticamente.** Conferência proferida no II Encontro Nacional de Ensino de Ciências da Saúde e do Ambiente, Niterói, RJ. 2011.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa crítica**, 2010. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigcritport.pdf>. Acesso em 16/09/2024.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares.** Editora livraria da física, 2011.

MOREIRA, Marco Antonio. **Potentially meaningful teaching units–PMTU.** Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2011.

MOREIRA, Marco Antonio. **Organizadores prévios e aprendizagem significativa**, 2012. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/ORGANIZADORESport.pdf>. Acesso em 14/10/2024.

MOREIRA, Marco Antonio. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas - UEPS.** 2011. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf> Acesso em 26/09/2024.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno.** Prentice Hall Brasil - 5ª edição, 2010.

OLIVEIRA, Adalberto Luiz de Lima et al. **Fundamentos de controle de processo.** Bento Ferreira, ES: SENAI/CST, 1999.

SALES, L. G, Maia M. C. **Física Básica I.** Fortaleza, UAB/IFCE, 2011

SANTANA, Myllena Syngred Raimundo. **Análise de estratégias de controle de nível baseadas em arduino, controle PID e LabVIEW, sob a ótica da prevenção de acidentes ambientais.** 2021.

SILVA, Claudio Pereira da; CORRÊA, Elidiane Ferreira Bispo. **Aprendizagem significativa na Educação Profissional: uma revisão bibliográfica.** Revista Brasileira da Educação Profissional e Tecnológica, [S. l.], v. 1, n. 23, p. e13668, 2023. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/RBEPT/article/view/13368>. Acesso em: 27/03/2024.

SMETANA, Lara Kathleen; BELL, Randy L. **Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature.** International Journal of Science Education, v. 34, n. 9, p. 1337-1370, 2012.

UFRGS, **Scilab – Blog Software Livre na Educação.** s.d. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/soft-livre-edu/software-educacional-livre-na-wikipedia/scilab>. Acesso em: 14/10/2024

VIEIRA, Eros B. et al. **Application of Scilab/Xcos for process control applied to chemical engineering educational projects.** Computer applications in engineering education, v. 27, n. 1, p. 154-165, 2019.

YIN, Robert K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim.** Penso Editora, 2016.

Apêndice A.

MATRIZ CURRICULAR DO CURSO TÉCNICO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL DO CAMPUS CAMAQUÃ

Quadro 18: Matriz curricular do Curso Técnico em Automação Industrial do campus Camaquã.

Ano	Disciplina	Hora relógio anual
1º ano	Circuitos elétricos I	60
	Fundamentos de Mecânica	60
	Desenho técnico	90
	Metodologia de projetos	60
	Lógica para automação	60
	Língua Portuguesa e Literatura Brasileira I	60
	Matemática I	90
	Física I	60
	Educação Física I	60
	Filosofia I	30
	Sociologia I	30
	Língua Estrangeira Moderna - Inglês	60
	Arte	60
	Geografia I	60
2º ano	Máquinas Térmicas, Hidráulicas, Pneumáticas e Eletropneumática	90
	Máquinas I	60
	Circuitos elétricos II	60
	Linguagem de programação	90
	Eletrônica digital	60
	Resistência dos materiais	60
	Língua Portuguesa e Literatura Brasileira II	60
	Matemática II	60
	Física II	60
	Educação Física II	60
	Filosofia II	30
	Sociologia II	30
	História I	60
	Química I	60
3º ano	Instrumentação	60

	Microcontroladores	120
	Eletrônica analógica	60
	Máquinas II	90
	Controladores lógicos programáveis	90
	Língua Portuguesa e Literatura Brasileira III	60
	Matemática III	60
	Física III	60
	Educação Física III	60
	Filosofia III	30
	Sociologia III	30
	Geografia II	60
	Biologia I	60
4º ano	Internet das coisas	60
	Sistemas de supervisão e comunicação	120
	Introdução à robótica	60
	Controle de processos	60
	Eletrônica de potência	60
	Língua Portuguesa e Literatura Brasileira IV	60
	Matemática IV	60
	Filosofia IV	30
	Sociologia IV	30
	História II	60
	Química II	60
	Biologia II	60
	Gestão e empreendedorismo	60
	Língua Estrangeira Moderna - Espanhol	60

Fonte: Adaptada da matriz curricular do PPC do curso técnico em automação industrial.

Apêndice B.



PPGCITED

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
E TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TCLE

Projeto de Pesquisa: Sequência didática como possibilidade para potencializar as aprendizagens práticas em controle de processos no curso técnico em automação industrial

Instituição realizadora da Pesquisa: Instituto Federal de Ensino, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense

Pesquisador responsável: Ricardo Prediger

Objetivo:

Elaborar e validar uma sequência didática que faça uso de um software de simulação, com o propósito de potencializar as aprendizagens em controle de processos no Curso Técnico de Automação Industrial

Procedimentos a serem utilizados:

A pesquisa será produzida a partir de dados coletados junto aos alunos do curso Técnico em Automação Industrial do IFSul campus Camaquã. Para isso, será solicitado que o sujeito responda a um questionário, para que os dados coletados sejam utilizados para tabulação e posterior análise. Há o comprometimento do pesquisador em não divulgar os nomes dos sujeitos dessa pesquisa e nem mesmo informações que possam vir a expô-los, garantindo o sigilo e privacidade absoluto de seu anonimato.

Além disso, o sujeito da pesquisa terá os esclarecimentos desejados e a assistência adequada, se necessária, antes e durante a realização da pesquisa.

Desde já agradeço sua colaboração e atenção frente a pesquisa aqui apresentada.

Camaquã, ____ de _____ de 2024.

Nome do sujeito da pesquisa

Assinatura do sujeito da pesquisa

Assinatura do Pesquisador



PPGCITED

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
E TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO

INSTITUTO FEDERAL SUL-RIO-GRANDENSE

CÂMPUS PELOTAS – VISCONDE DA GRAÇA

Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias na Educação - PPGCITED

Curso de Mestrado Profissional em Ciências e Tecnologias na Educação

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, _____, RG nº _____, responsável legal por _____, nascido(a) em ____/____/____, declaro ter sido informado (a) e concordo com a participação, do (a) meu filho (a) como participante, no Projeto de pesquisa "Sequência didática como possibilidade para potencializar as aprendizagens práticas em controle de processos no curso técnico em automação industrial".

Autorização:

() Autorizo o uso da imagem na Dissertação de Mestrado.

() Não autorizo o uso da imagem na Dissertação de Mestrado.

Camaquã, ____ de dezembro de 2024.

Nome e assinatura do pai/responsável legal pelo menor

Nome e assinatura do responsável por obter o consentimento

Apêndice C.

QUESTÕES QUE FORÃO PROPOSTAS AOS ALUNOS COMO PARTE DA AVALIAÇÃO DA UEPS

1. De que maneira o simulador contribuiu para sua compreensão do funcionamento do controlador PID e de suas diferentes ações (Proporcional, Integrativa e Derivativa)?
2. Como o exemplo prático de controle de velocidade de um veículo facilitou (ou dificultou) o processo de ajuste dos ganhos do controlador PID?
3. As discussões em grupo e as orientações do professor durante os encontros contribuíram para esclarecer suas dúvidas sobre o conteúdo?
4. Quais foram as maiores dificuldades encontradas durante o desenvolvimento das atividades propostas? Como elas poderiam ser superadas?
5. Você se sente mais preparado para aplicar os conceitos de controle de processos no contexto real após participar dessa UEPS? Explique sua resposta.

Apêndice D.

Avaliação Contínua da Sequência Didática

Identificação do Encontro

- Data:
 - Turma:
 - Número de períodos:
 - Tema do Encontro:
 - Atividades/Ações:
-

Relato e observações da aula.

Espaço para Observações Gerais

- Aspectos positivos observados:

- Dificuldades ou desafios identificados:

- Sugestões de melhoria para os próximos encontros:

Critérios de Observação

1. Participação Ativa

- Os estudantes participam ativamente das discussões?
() Não participam.
() Participam pouco e de forma superficial.
() Participam ativamente, mas com intervenções pontuais.
() Participam ativamente, demonstrando reflexão e engajamento.

Observações:

2. Levantamento de Dúvidas e Reflexões

- Os estudantes levantam dúvidas relevantes relacionadas ao conteúdo?
() Não levantam dúvidas.
() Levantam dúvidas básicas e pontuais.
() Levantam dúvidas relevantes que demonstram interesse e compreensão.
() Levantam dúvidas aprofundadas que mostram integração do conhecimento.

Observações:

3. Interação nas Simulações

- Durante o uso do simulador digital, os estudantes:
 - ☐ Demonstram dificuldades em utilizar o simulador e pouco engajamento.
 - ☐ Utilizam o simulador com alguma dificuldade, mas seguem as instruções.
 - ☐ Utilizam o simulador com autonomia e demonstram compreensão das atividades propostas.
 - ☐ Utilizam o simulador de forma autônoma, integrando os conceitos discutidos.

Observações:

4. Trabalho em Grupo

- A interação entre os estudantes é:
 - ☐ Inexistente ou conflituosa.
 - ☐ Superficial e pouco colaborativa.
 - ☐ Colaborativa, mas com pouca integração.
 - ☐ Altamente colaborativa, com troca de ideias e respeito mútuo.

Observações:

5. Desenvolvimento Cognitivo

Os estudantes demonstram avanços na compreensão dos conceitos de Controle de Processos e Controladores PID?

- ☐ Não demonstram avanços.
- ☐ Demonstram avanços pontuais.
- ☐ Demonstram avanços significativos, mas com lacunas de entendimento.
- ☐ Demonstram domínio dos conceitos, integrando-os nas atividades práticas.

Observações:

6. Engajamento e Motivação

O nível de engajamento e motivação dos estudantes é:

- ☐ Baixo, com sinais de desinteresse.
- ☐ Moderado, mas sem demonstração de entusiasmo.
- ☐ Bom, com sinais de curiosidade e comprometimento.
- ☐ Muito bom, com participação ativa e entusiasmo nas atividades.

Observações:
