

## ENGENHARIA A DISTÂNCIA: EXPERIMENTO REMOTO SOBRE TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM ALETAS<sup>1</sup>

*DISTANCE ENGINEERING: REMOTE EXPERIMENT ABOUT HEAT TRANSFER IN EXTENDED SURFACES*

Guilherme Meneghetti Palma<sup>2</sup>, Antonio Carlos Luperni Horta<sup>2</sup>, Ruy de Souza Júnior<sup>2</sup>

### Grupo Temático 1.

#### Subgrupo 1.1

#### Resumo:

A educação a distância (EaD) promove abrangência, flexibilidade e autonomia, sendo compreensível sua substancial disseminação na última década. Todavia, o aprendizado da prática de engenharia ainda encontra obstáculos para a adesão completa à modalidade a distância. Aulas experimentais em laboratórios didáticos costumam apresentar peculiaridades que dificultam a reprodução do conteúdo em formato não presencial. Tendo em vista esse cenário, este artigo tem por objetivo apresentar ferramentas e metodologias para embasar disciplinas experimentais na modalidade EaD. O exemplo abordado é sobre transferência de calor em superfícies estendidas (aletas), um experimento clássico da área de fenômenos de transporte, comum a praticamente todas as engenharias. O kit experimental utilizado contém três aletas de diferentes materiais e diâmetros, conectadas a uma resistência elétrica como fonte de calor. A obtenção dos valores de temperatura pela extensão das aletas é realizada por meio de termopares e os dados podem ser visualizados em tempo real a partir de um software de supervisão que pode ser acessado através de browsers em qualquer computador com acesso à internet. A partir da aquisição dos dados de forma remota, os estudantes podem compreender como se estabelece o perfil de temperatura nas diferentes superfícies estendidas e, então, comparar com os cálculos teóricos de transferência de calor entre as aletas e o meio. A metodologia apresentada foi aplicada no curso de bacharelado em Engenharia Ambiental EaD, no âmbito da Universidade Aberta do Brasil, e vinculado ao Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). O equipamento está instalado no Laboratório Didático do Departamento de Engenharia Química da UFSCar.

**Palavras-chave:** educação a distância, aletas, engenharia, transferência de calor

#### Abstract:

Distance education (DE) promotes comprehensiveness, flexibility and autonomy, so its substantial dissemination in the last decade is understandable. However, practice engineering learning still faces obstacles to complete adherence to distance learning. Experimental classes in didactic laboratories usually present peculiarities that make it difficult to reproduce the content in a non-face-to-face format. In view of this scenario, this article aims to present tools and methodologies to support experimental disciplines in distance education. The example covered is about heat transfer on cylindrical extended surfaces, a classic experiment in the area of transport phenomena, common to practically all engineering. The experimental kit contains three cylinders of different materials and diameters, connected to an electrical resistance as a heat source. The acquisition of

<sup>1</sup> Trabalho desenvolvido com apoio financeiro da CAPES e do CNPq

<sup>2</sup> Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Departamento de Engenharia Química

*temperature values along the cylinders is made by thermometers and the data can be viewed in real time from a supervisory software that can be accessed through browsers on any computer with internet access. By acquiring the data remotely, students can understand how the temperature profile is established on the different extended surfaces and then compare it with the theoretical calculations of heat transfer between the cylinders and the medium. The methodology presented was applied in the Bachelor's degree in Environmental Engineering DE, under the Open University of Brazil, linked to the Center for Exact Sciences and Technology of the Federal University of São Carlos (UFSCar). The equipment is installed at the Didactic Laboratory in the Chemical Engineering Department of UFSCar.*

**Keywords:** distance education, extended surfaces, engineering, heat transfer

## 1. Introdução

Quando se pensa em educação a distância, em geral há uma falsa concepção de que a modalidade tem início somente após o advento da internet. Na realidade, segundo Moore *et al.* (2008), trata-se de uma evolução por diversas gerações na história. No princípio através de textos enviados por correspondências na década de 1880, seguido pela difusão do rádio e televisão desde o início do século XX, universidades abertas, áudio e videoconferências e, por fim, o modelo atual de educação e aprendizado virtual baseado nas tecnologias da internet. Tendo em vista a perspectiva histórica brasileira, os primeiros registros de programas de EaD são encontrados a partir da década de 1960, quando foi criado, na estrutura do Ministério da Educação e Cultura (MEC), o Programa Nacional de Teleeducação (Prontel). O órgão foi substituído inicialmente pela Secretaria de Aplicação Tecnológica, então pela Coordenadoria Nacional de Educação a Distância e, desde 1995, pela Secretaria de Educação a Distância (COSTA; ZANATTA, 2014; SARAIVA, 1996).

Analisando o conceito moderno de educação a distância, é notável a vasta expansão do formato no Brasil na última década. De acordo com o Censo EAD.BR 2018 (ABED - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA, 2018), o número absoluto de matrículas aumentou de 528.320 em 2009 para 9.374.647 em 2018, sendo que dessas, 2.358.934 matrículas se encaixam na modalidade “totalmente a distância”. Apesar do crescimento acelerado, quando se analisa os percentuais relacionados às diferentes áreas de conhecimento, a engenharia compõe apenas 1,88% das matrículas em 2018, valor muito pequeno quando comparado, por exemplo, aos 31,23% relativos às ciências sociais aplicadas.

Diante desse cenário, este artigo se propõe a apresentar ferramentas e metodologias para a educação a distância da prática de engenharia, com intuito de promover sua expansão e abrangência. O estudo de caso se baseia num exemplo prático de transferência de calor pela extensão de aletas cilíndricas de diferentes materiais, contudo, os métodos, softwares e aparelhagem utilizados podem ser replicados para diversos experimentos didáticos de engenharia e ciências exatas.

## 2. Fundamentação teórica

Neste capítulo serão abordados quatro itens importantes: i) principais definições e teorias sobre educação a distância; ii) utilização das tecnologias digitais de informação e comunicação no aprendizado; iii) EaD nas ciências exatas e de tecnologia e por fim, iv) conceitos teóricos fundamentais para o estudo da transferência de calor em superfícies estendidas.



## 2.1. Educação a distância

Inicialmente, é importante a reflexão sobre o que define a educação a distância para que, então, sejam analisadas suas características e aplicabilidade. De acordo com Moore *et al.* (2008), o conceito da educação a distância é simplificado pela distância entre alunos e professores durante todo ou grande parte do tempo em que aprendem e ensinam e, por estarem em locais distintos, há a dependência de uma tecnologia para interagir e transmitir informações. De forma um pouco mais rigorosa, (SIMONSON *et al.*, 2008), define a educação a distância como uma educação formal, promovida por uma instituição, em que o grupo de aprendizado é separado e sistemas interativos de telecomunicação são utilizados para conectar alunos, recursos e instrutores.

Considerando a perspectiva da educação a distância realizada por instituições, várias modalidades podem ainda ser consideradas: cursos livres, cursos corporativos, educação de nível superior, técnico, básico, entre outros. Tendo em vista que o foco do trabalho é na educação superior, faz-se necessária a reflexão sobre a distinção entre os termos ensino e educação a distância. Note que o termo ensino ainda não havia sido utilizado neste texto, isso porque, em acordo com as ideias de Maroto (1995), ensino expressa treinamento, transmissão de informações e instrução. Diferentemente, educação se refere ao processo de aprendizado e construção de conhecimento para a formação humana. No contexto de aprendizado de nível superior, objeto de estudo deste artigo, portanto, invariavelmente se busca a promoção de educação. No entanto, a questão fundamental é como promover educação a distância de qualidade em uma área de conhecimento que historicamente reluta em aderir à modalidade.

## 2.2. Tecnologias para viabilização de educação remota

Para responder a questão do tópico anterior é necessária a reflexão de quais são os obstáculos existentes e quais recursos tecnológicos estão disponíveis para contornar esses obstáculos e viabilizar o processo. O primeiro impasse a ser destacado provém do próprio equívoco no entendimento do conceito de tecnologia. De acordo com Costa (2014), o termo tecnologia extrapola a materialidade dos equipamentos, englobando questões não tangíveis que permeiam a existência humana. Assim, como sugere Sancho (2001), além das tecnologias físicas há ainda tecnologias organizadoras (relativas à estruturação dos sistemas) e tecnologias simbólicas (interfaces de comunicação). Tais conceitos auxiliam a percepção de que não basta a tecnologia física, sensores conectados remotamente a computadores de alunos, por exemplo, ou então um ambiente virtual de aprendizagem (AVA), clássico modelo de tecnologia simbólica, para que a educação seja promovida de forma efetiva. É necessário que todas as esferas do conceito de tecnologia sejam consideradas. Torna-se, assim, essencial educar aqueles que promovem a educação para que entendam a importância da sinergia entre a tecnologia física, a estruturação e planejamento e as interfaces de comunicação com os estudantes.

Outro obstáculo à educação a distância são as próprias tecnologias físicas, que frequentemente requerem operação presencial. O aprendizado de engenharia, por exemplo, se depara com a utilização de diversos equipamentos desse tipo: reatores químicos, máquinas mecânicas, equipamentos de medição manual, etc. Todavia, a disseminação e barateamento das ferramentas de automação e controle tem tornado esse impasse muito menos expressivo. Dispositivos eletrônicos como Arduinos (Arduino AG, Itália), Raspberry Pi (Raspberry Pi Foundation, Reino Unido), entre outros, associados a softwares de medição e controle, como por exemplo o software Labview (National Instruments, Estados Unidos) e ferramentas de acesso remoto, Team Viewer (Team Viewer AG, Alemanha), permitem que operações complexas sejam realizadas e monitoradas de forma totalmente remota. Surge então o conceito de laboratórios remotos e virtuais, que viabilizam um novo formato de aprendizado prático a distância.

### 2.3. EaD nas ciências exatas e de tecnologia

Laboratórios virtuais para fins educacionais já vêm sendo financiados há alguns anos, sobretudo por instituições de fomento europeias e norte americanas. No trabalho de Potkonjak *et al.* (2016), por exemplo, é evidente o número já considerável de projetos relativos ao tema retratado. Stefanovic (2013) e Grodotzki *et al.* (2018), ambos ligados a instituições de ensino europeias, apresentam relatos sólidos da integração dos diversos equipamentos e plataformas necessários para o funcionamento de um laboratório virtual como ferramenta de educação. Tais iniciativas são fundamentais para proporcionar maior aceitação e confiabilidade na modalidade não presencial para os cursos de exatas e tecnologia. A realidade brasileira, no entanto, apresenta resultados mais tímidos, retratados em algumas tentativas de educação a distância para essas áreas de conhecimento e escassos projetos de laboratórios virtuais que têm surgido com certo atraso perante a realidade de outros países, com algumas exceções pontuais, como por exemplo os WebLabs citados por Cruz *et al.* (2006). A Tabela 1, a seguir, apresenta o número de instituições que oferecem cursos de engenharia presencial e a distância no estado de São Paulo. É evidente que neste momento a modalidade a distância ainda está longe de se estabelecer como alternativa sólida para educação de engenharia.

Tabela 1. Cursos de engenharia presencial e a distância oferecidos no estado de São Paulo.

Curso	Número de instituições que oferecem presencial	Número de instituições que oferecem a distância
Engenharia Aeronáutica	8	0
Engenharia Ambiental	31	11
Engenharia Civil	189	39
Engenharia de Computação	76	17
Engenharia de Materiais	13	0
Engenharia de Produção	195	55
Engenharia Elétrica	115	31
Engenharia Mecânica	107	26
Engenharia Química	59	2

Fonte: <http://emec.mec.gov.br/>, consulta no dia 02 de Maio de 2020

### 2.4 Transferência de calor em aletas

Para o entendimento das dificuldades e possíveis soluções para o aprendizado a distância da teoria de transferência de calor em aletas a partir de um experimento prático, é importante a contextualização teórica dos processos físicos que regem o experimento. A análise a seguir é indicada para estudantes e docentes familiarizados com a base matemática de engenharia e se inicia a partir da

definição de um problema, que seria como prever matematicamente a temperatura de uma superfície estendida em contato com um corpo aquecido. Para iniciar o modelo matemático, define-se um elemento infinitesimal de volume da aleta (Figura 1), pelo qual energia entra vinda do corpo quente e sai pela seção transversal por condução e também sai pela área superficial por convecção (INCROPERA *et al.*, 2007)

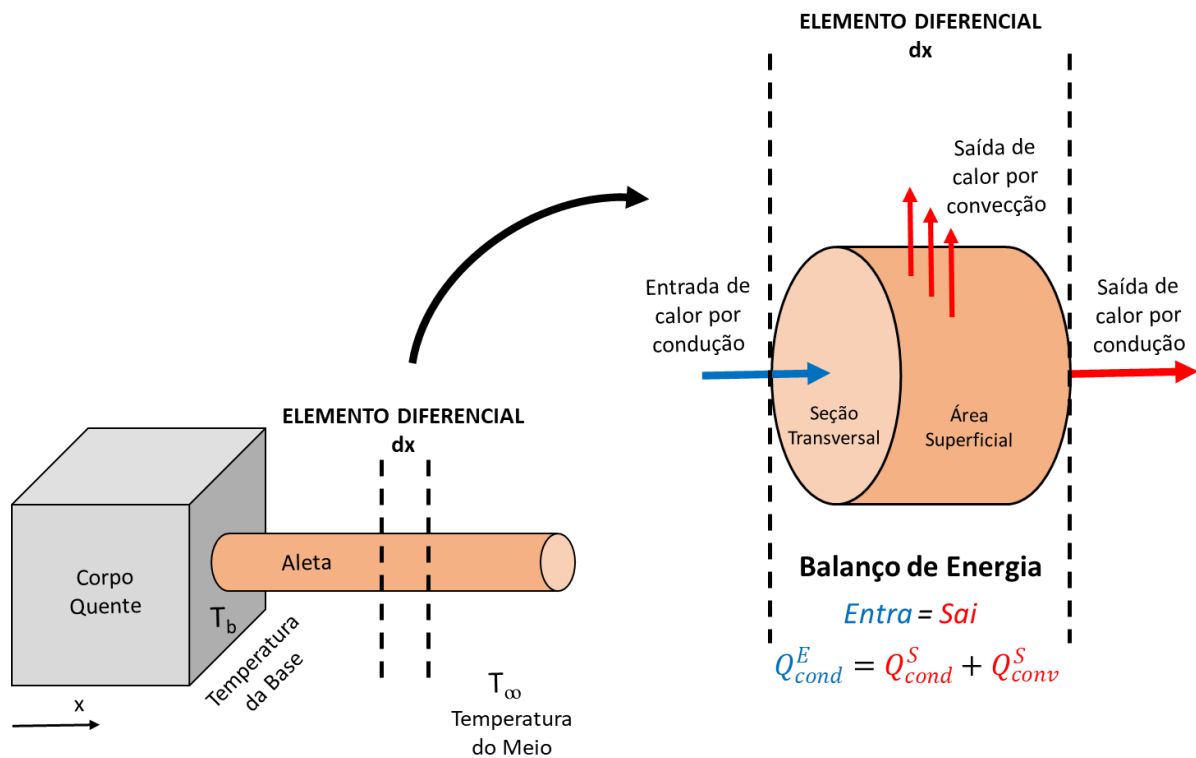


Figura 1. Esquema da aleta e elemento diferencial de volume em regime permanente.

Fonte: Acervo pessoal

Ao realizar um balanço diferencial de energia no elemento de volume com hipóteses de condução unidirecional, ou seja, não há condução de energia na direção radial ou angular da aleta, e também regime permanente, em que a variação de temperatura se dá apenas em relação à posição espacial na aleta e não em relação ao tempo, obtém-se uma equação para cada condição de contorno estabelecida na extremidade da aleta, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Equações de temperatura e calor para diferentes condições da extremidade da aleta.

Condições da extremidade ( $x=L$ )	Distribuição de temperatura, $\frac{T-T_\infty}{T_b-T_\infty}$	Taxa de transferência de calor, $q$
Transferência de calor por convecção	$\frac{\cosh(m(L-x)) + \left(\frac{h}{mk}\right) \sinh(m(L-x))}{\cosh(mL) + \left(\frac{h}{mk}\right) \sinh(mL)}$	$M \frac{\sinh(mL) + \left(\frac{h}{mk}\right) \cosh(mL)}{\cosh(mL) + \left(\frac{h}{mk}\right) \sinh(mL)}$

Adiabática	$\frac{\cosh(m(L-x))}{\cosh(mL)}$	M.tanh(mL)
Temperatura Especificada ( $T_L$ )	$\frac{\left(\frac{T_L - T_\infty}{T_b - T_\infty}\right) \sinh(mx) + \sinh(m(L-x))}{\sinh(mL)}$	$M \frac{\cosh(mL) - \left(\frac{T_L - T_\infty}{T_b - T_\infty}\right)}{\sinh(mL)}$
Aleta infinita	$e^{-mx}$	M
$m^2 = \frac{h \cdot P}{kA}$ $M = \sqrt{hPkA}(T_b - T_\infty)$		h = coeficiente convectivo; P = perímetro; D = diâmetro; k = condutividade térmica do material; A = área da seção transversal

Fonte: (INCROPERA *et al.*, 2007)

Utilizando o equacionamento apresentado na Tabela 2 os alunos podem comparar os dados experimentais com os valores calculados para verificar a precisão da metodologia matemática e também as variações experimentais observadas. Por fim, basta medir as dimensões espaciais e as temperaturas nas diferentes posições das aletas para encontrar o valor do coeficiente de transferência de calor por convecção e, conseqüentemente, a quantidade de calor trocada entre as aletas e o fluido que as envolve. Mais informações sobre a teoria de transferência de calor em superfícies estendidas podem ser encontradas em Incropera *et al.* (2007), Holman (2010) e Welty *et al.* (2008).

### 3. Metodologia

Esclarecido o contexto da educação a distância no Brasil, em especial nas áreas de exatas e tecnologia, e elucidados os conceitos teóricos necessários para o estudo da transferência de calor em superfícies estendidas, serão apresentadas a seguir as ferramentas e metodologias utilizadas para lecionar a prática do experimento com aletas no curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental a distância da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

#### 3.1 Kit experimental

O kit experimental automatizado utilizado se caracteriza como uma estação de transferência de calor em aletas. O modelo eleito, XP1404, foi desenvolvido pela empresa T&S Equipamentos Eletrônicos, São Carlos, SP, e adquirido com recursos CAPES (provenientes de Ação 20RJ). O kit contém 3 aletas de diferentes materiais e diâmetros, sendo a primeira de alumínio com diâmetro de 1,3cm; a segunda de aço inox com diâmetro de 2,5cm e a terceira também de aço inox com diâmetro de 1,3cm. Além disso, há ainda três resistências que fornecem calor às bases das aletas com controlador de temperatura acoplado, e 10 termopares posicionados em diferentes posições espaciais para cada aleta. As medições de temperatura adquiridas pelos termopares são feitas por um hardware local e podem ser acessadas de forma remota pelo software de monitoramento. A figura 2 ilustra o kit experimental descrito previamente.

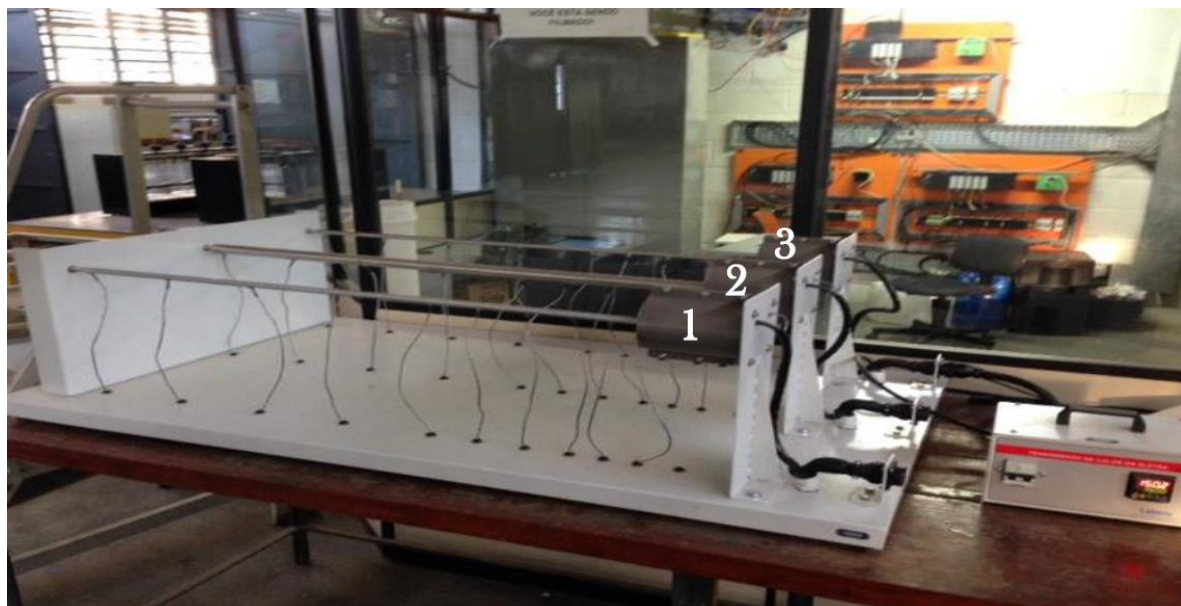


Figura 2. Kit experimental de transferência de calor em aletas cilíndricas. 1) Aleta de alumínio  $\phi=0,013$  m; 2) Aleta de inox  $\phi=0,025$  m; 3) Aleta de inox  $\phi=0,013$  m. Controlador de temperatura à direita da figura.

Fonte: Acervo pessoal

### 3.2 Estruturação e interfaces de comunicação

Para a compreensão e desenvolvimento dos cálculos relativos ao experimento é fundamental que os estudantes tenham acesso à teoria de transferência de calor, às características do kit experimental (dimensões, disposição, componentes, materiais, etc.) e às medições de temperatura obtidas pelos termopares posicionados nas diferentes posições das aletas. Dessa forma, diversas práticas diferentes podem ser adotadas em uma disciplina experimental envolvendo fenômenos de transporte. O organograma da Figura 3 apresenta a estrutura utilizada na disciplina em questão.

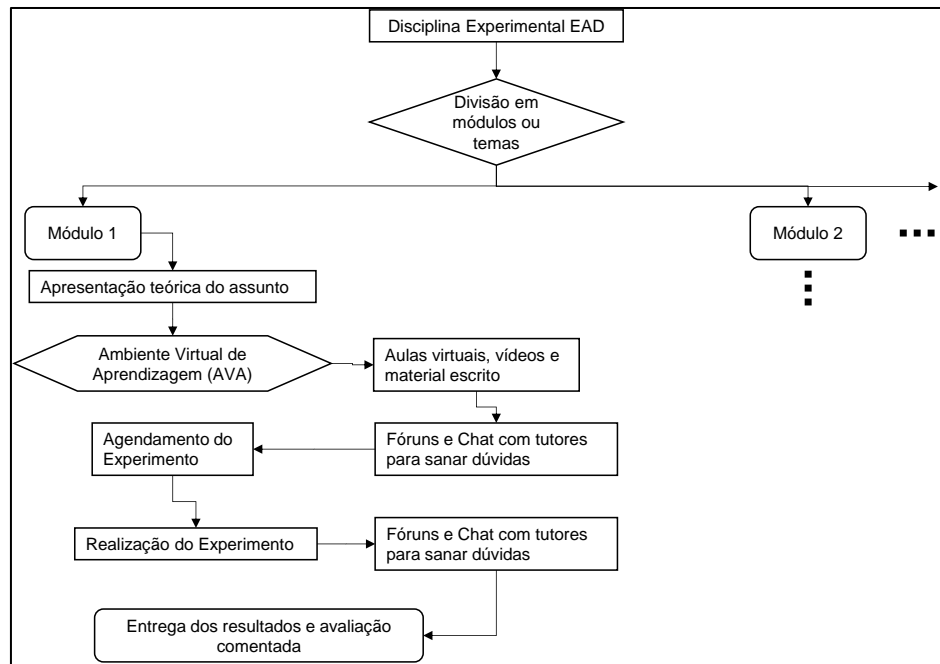


Figura 3. Organograma da disciplina experimental ofertada na modalidade EaD.

Fonte: Acervo pessoal

Especificamente para o módulo experimental abordado, algumas estratégias estão apresentadas na Figura 4.

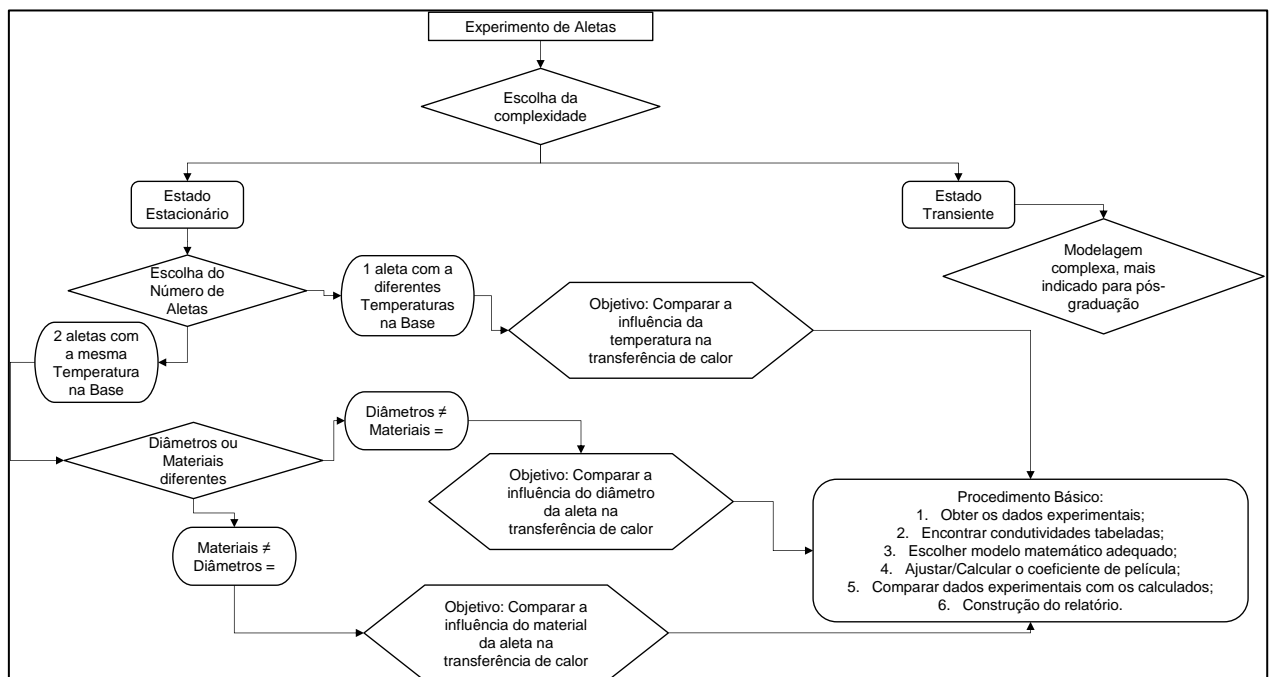


Figura 4. Fluxograma das diferentes estratégias experimentais do experimento de aletas para curso de graduação.

Fonte: Acervo pessoal



A escolha do objetivo do experimento pode ser feita pelo professor de modo que consiga oferecer diferentes abordagens para cada grupo de alunos, permitindo uma combinação diversificada de opções. Além desta escolha, o procedimento experimental deve ser bem delineado antes do experimento, devendo ser preferencialmente construído pelos alunos em etapa preparatória antes de partirem para a operação do experimento, que de qualquer forma não dispensa a presença de um técnico responsável por ligar e pré-configurar o equipamento. A interface do software de supervisão da estação experimental, acessada remotamente em um browser na internet, pode ser observada a seguir nas Figuras 5 e 6.

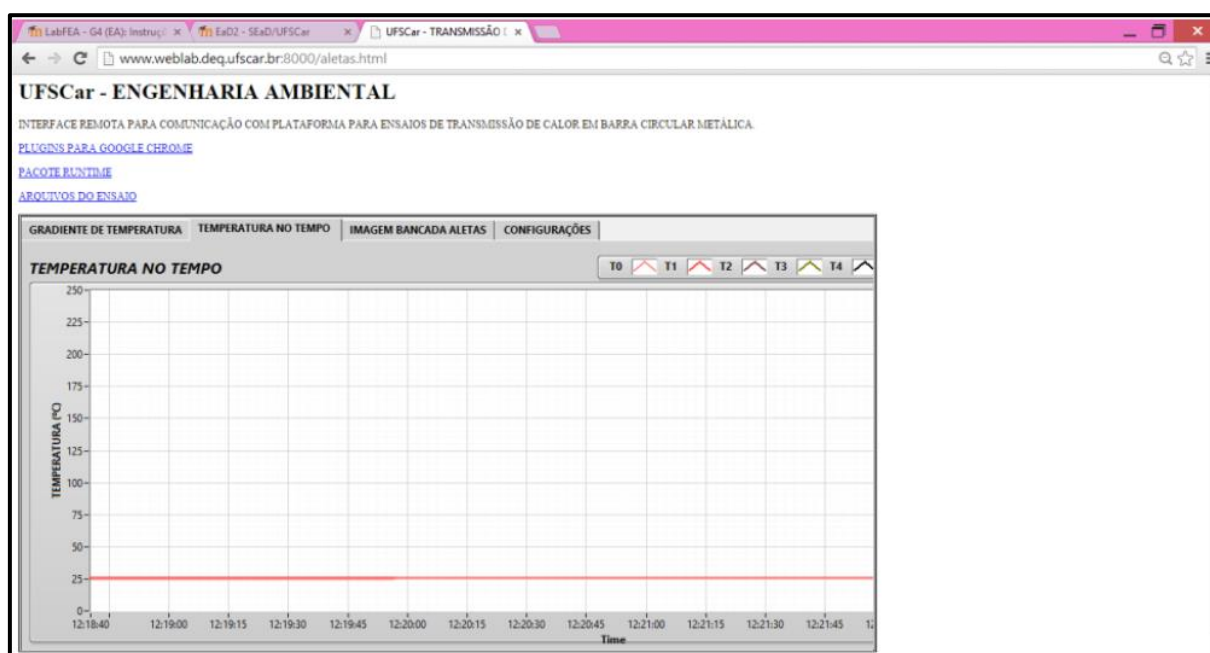


Figura 5. Software supervisorio aberto remotamente num browser da internet.

Fonte: Acervo pessoal

O sistema é composto de quatro telas: Gradiente de Temperatura, Temperatura no Tempo, Imagem Bancada Aletas e Configurações. A primeira tela permite a visualização dos dados de temperatura nas diferentes posições das aletas (sem variação com o decorrer do tempo); a segunda tela apresenta os dados dinâmicos de temperatura nas diferentes posições das aletas (valores que variam com o tempo); a terceira tela exibe uma imagem da estação experimental e a quarta tela permite que o usuário altere certas configurações do sistema (intervalo de aquisição, parâmetros de calibração, etc). Após a realização do experimento, os dados salvos podem ser disponibilizados no link "Arquivos de Ensaio". A partir desses dados os estudantes realizam os cálculos teóricos pertinentes e submetem seus trabalhos no AVA para avaliação.

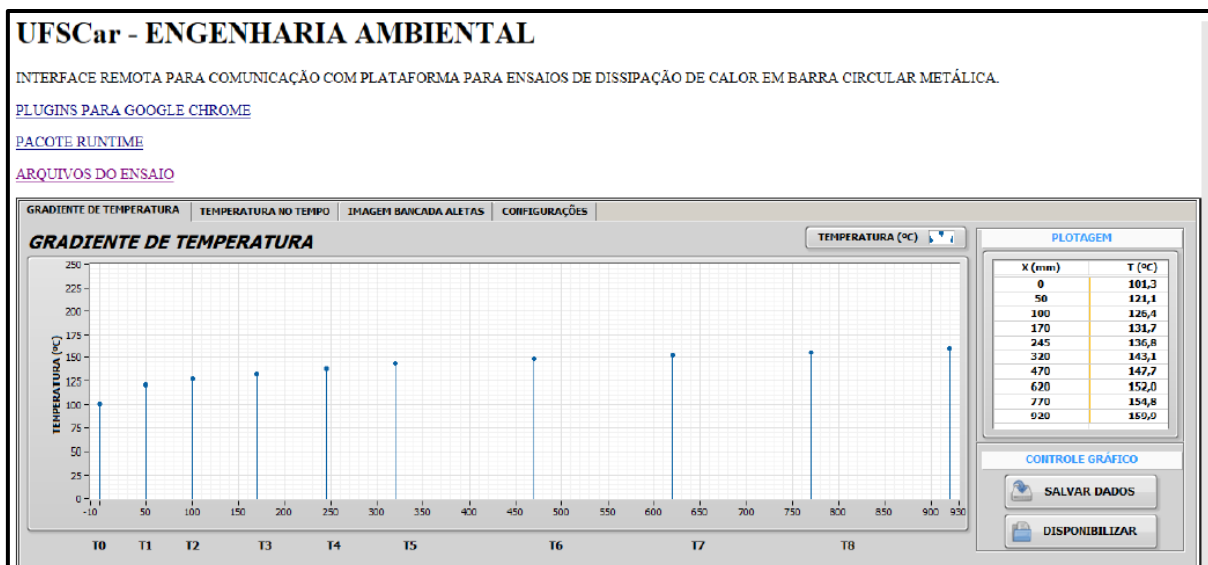


Figura 6. Software supervisorio aberto remotamente num browser da internet. Gradiente de temperatura.

Fonte: Acervo pessoal

Em termos de pesquisa, foram analisadas três ofertas deste módulo experimental EaD em turmas diferentes do curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental da UFSCar, ofertadas em 2016, 2017 e 2018. A avaliação foi baseada nos tipos de dúvidas e problemas encontrados pelos estudantes durante a prática experimental remota; na média das notas dos alunos participantes e na frequência de participação no experimento.

## 4. Resultados

### 4.1 Dúvidas e problemas relatados pelos estudantes

Nos momentos prévios e subsequentes ao experimento, os estudantes utilizavam o fórum de dúvidas disponibilizado no AVA para fazer questionamentos e relatar problemas aos tutores e professor responsável. Dessa forma, essas informações foram contabilizadas e categorizadas visando a compreensão do cenário apresentado e a sugestão de possíveis pontos de melhoria na metodologia aplicada.

As informações coletadas foram subdivididas em quatro categorias: i) Fundamentos teóricos; ii) Enunciado e objetivo do experimento; iii) Instalação e utilização de software; e iv) Agendamento. A primeira engloba as dúvidas e dificuldades relacionadas à compreensão do conteúdo teórico do experimento; a segunda está associada ao entendimento de como o experimento deveria ser realizado; a terceira envolve os impasses devido à instalação e utilização do software supervisorio e a quarta engloba os problemas de agendamento de horários para realização do experimento. A Figura 7 a seguir apresenta o percentual relacionado a cada uma dessas categorias na média das turmas de 2016, 2017 e 2018.

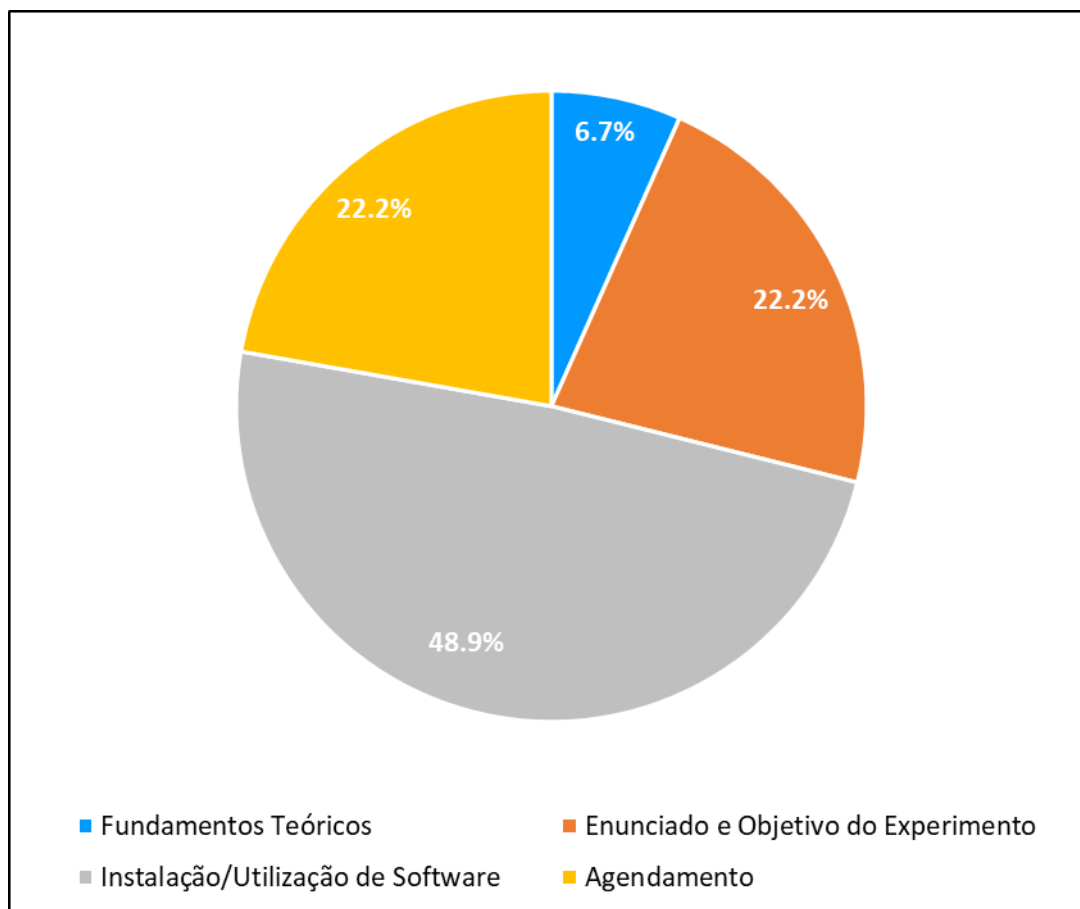


Figura 7. Percentual das diferentes categorias de dúvidas e problemas relatados pelos estudantes do curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental EaD da UFSCar. Média das turmas de 2016, 2017 e 2018.

Fonte: Acervo pessoal

É notável que a maior dificuldade relatada pelos estudantes para a realização do experimento com aletas foi relacionada à instalação do software de supervisão. Em geral os problemas estavam associados à compatibilidade do programa com o sistema operacional dos computadores dos alunos e ao browser requerido para acesso à interface do software. Naturalmente, a dimensão desse problema se reduziu com o passar dos anos, a categoria que representava 87,5% dos impasses relatados em 2016 (primeiro ano de operação da estação experimental) passou a 33,3% em 2018. Tal fato ocorreu por conta dos ajustes técnicos realizados e pelo desenvolvimento de instruções mais precisas após os relatos dos estudantes nos primeiros anos. Visando obter resultados ainda melhores, é possível desenvolver materiais de ensino de alguns conceitos ainda mais básicos que são fundamentais para a utilização do software supervisor (como instalar os diferentes browsers de internet, por exemplo).

Em seguida, observa-se um número considerável de dúvidas associadas ao enunciado e objetivo do experimento. Os questionamentos foram variados: relacionados à forma de utilização dos dados obtidos no experimento, aos procedimentos para escrever o relatório experimental, ao modo de buscar informações pertinentes à realização de cálculos, às dimensões do kit experimental, entre outros. Neste caso, é essencial uma reflexão com relação às informações que devem ser fornecidas ao aluno e o quanto se espera de proatividade de um estudante de engenharia. É inegável que a

orientação para a realização de um experimento a distância deve ser detalhada e precisa, todavia é fundamental que os alunos aprendam a buscar informações por conta própria em diferentes bibliografias e consigam desenvolver um relatório único, embasado nas informações encontradas e hipóteses assumidas. Assim, os resultados identificados neste artigo sugerem que há oportunidades de melhoria na instrução de realização do experimento, porém, há também necessidade de um maior engajamento dos estudantes que não recebem todas as informações em um primeiro momento.

A terceira categoria a ser analisada é referente aos problemas de agendamento de horários para a realização do experimento. A grande maioria dessas ocorrências foi devido ao conflito de agendas entre alunos e tutores. Indubitavelmente, a melhor estratégia para solucionar esse impasse é a adaptação do aparato experimental para que possa se manter ligado ininterruptamente e, assim, não seja necessária a presença do tutor junto ao kit para a obtenção dos dados.

Por fim, a última informação a ser avaliada no gráfico é quanto às questões relativas a conceitos teóricos. Neste caso, é natural que o número de dúvidas tenha sido menor em virtude de um material escrito didático e bem estruturado. Além disso, houve ainda a orientação de referências bibliográficas sólidas para a consolidação e aprofundamento do aprendizado. Vale comentar que o treinamento prévio dos tutores para que compreendam a fundo os fundamentos teóricos é de extrema importância.

#### 4.2 Média das notas e frequência de participação

Além da análise das dúvidas e problemas relatados pelos estudantes, é pertinente também a avaliação da metodologia a partir dos dados de média das notas obtidas pelos alunos e frequência de participação na atividade experimental. Essas informações podem ser encontradas na Figura 8 a seguir.

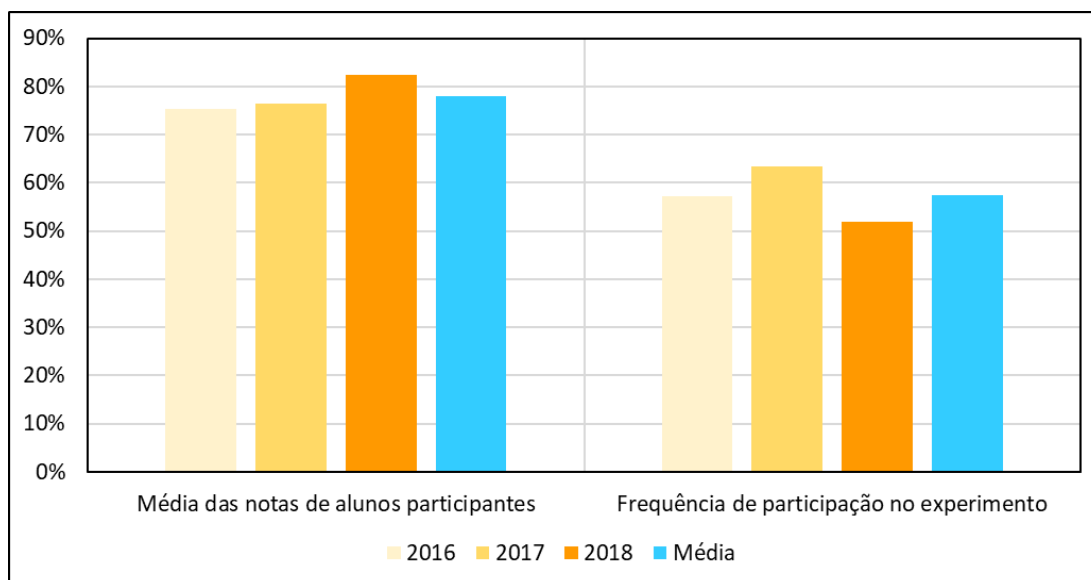


Figura 8. Média das notas dos alunos participantes e frequência de participação no experimento de aletas nas turmas de 2016, 2017, 2018 e a média dos 3 anos.

Fonte: Acervo pessoal

Como esperado, considerando que não houveram grandes mudanças de metodologia e critérios de avaliação entre os anos, os valores de média de notas e frequência se mantiveram

similares. A média de 78% de desempenho dos estudantes participantes (média de notas nos três anos considerados) indica que a assimilação do conteúdo foi efetiva a partir da realização do experimento de forma remota. Certamente, a possibilidade de interação dos alunos com a estação experimental através do software supervisor e a ocorrência de erros e ajustes durante a execução do procedimento experimental foram fatores essenciais que proporcionaram essa consolidação do conhecimento.

Com relação à frequência de participação, pôde-se observar um valor médio de 58% nos três anos avaliados. Como pudemos observar na avaliação das dúvidas e problemas relatados pelos estudantes, alguns fatores que podem ser trabalhados para uma melhoria futura neste indicador são: constante evolução no desenvolvimento de procedimentos eficientes para que os alunos não tenham dificuldades e falta de motivação ao lidar com a instalação de softwares; desenvolvimento de uma estação completamente remota para que não haja problemas de agendamento de horários entre técnicos e estudantes; e aperfeiçoamento do material instrutivo para que a quantidade de incertezas seja reduzida e o engajamento seja maior. Vale lembrar que o perfil do aluno EAD é diferente do presencial, visto que geralmente são pessoas que trabalham durante o dia e possuem poucos horários livres em comum, o que dificulta a dinâmica das disciplinas experimentais que geralmente são feitas em grupo.

## 5. Considerações finais

Após o planejamento e realização do experimento de transferência de calor em aletas com os estudantes de Bacharelado em Engenharia Ambiental a distância da UAB-UFSCar, é evidente que a consideração prévia de todas as esferas da tecnologia (tecnologias físicas, organizacionais e interfaces de comunicação) é fundamental para o desenvolvimento de um curso sólido a distância para a prática de engenharia. Ademais, o crescimento da aplicação da modalidade não presencial nessa área depende fortemente da disseminação do potencial das diferentes ferramentas disponíveis e da qualidade dos resultados obtidos através da utilização dessas ferramentas.

A integração entre sensores, software de supervisão e o ambiente virtual de aprendizagem se mostrou muito efetiva e abre espaço para o desenvolvimento de novos softwares e equipamentos mais baratos (não comerciais) com a utilização de plataformas abertas e aparelhos simples de medição e controle. A expansão do modelo para outros tipos de experimentos, além do estudo da transferência de calor em aletas, também é facilmente aplicável e tem grande potencial para auxiliar na disseminação da EaD em áreas de exatas e tecnologia.

Em referência às dúvidas, notas e frequência apresentadas pelos estudantes no estudo de caso com as turmas de Bacharelado em Engenharia Ambiental a distância, é notável que as maiores oportunidades de melhoria estão associadas à orientação de instalação e utilização do software de supervisão, detalhamento ainda mais criterioso em relação às instruções para a realização do experimento e a adaptação da estação experimental para a possibilidade de operação completamente remota. Ademais, é notável que a necessidade dos alunos de buscarem proativamente informações e dados além dos fornecidos gerou engajamento, que a interação dos estudantes com o software supervisor proporcionou uma consolidação consistente do conhecimento e que o material teórico desenvolvido é consistente e originou poucas dúvidas.

Quanto às opções didáticas oferecidas pelo sistema apresentado, se mostraram muito abrangentes e flexíveis, uma ferramenta ideal para uso em cursos de engenharia tanto em modelo EaD quanto no presencial.

## 6. Referências bibliográficas

ABED - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA. **Censo EAD.BR 2018**. Curitiba: [s. n.], 2018.

COSTA, Maria Luisa Furlan; ZANATTA, Regina Maria. **Educação a Distância no Brasil: aspectos históricos, legais, políticos e metodológicos**. 3. ed. Maringá: EDUEM, 2014. *E-book*.

CRUZ, Antonio José Gonçalves *et al.* WEBLABS EM ENGENHARIA QUÍMICA: DESENVOLVIMENTO, IMPLEMENTAÇÃO E OPERAÇÃO REMOTA DE EXPERIMENTOS DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA VIA INTERNET. **COBENGE**, [S. l.], 2006.

GRODOTZKI, Joshua; ORTELT, Tobias R.; TEKKAYA, A. Erman. Remote and Virtual Labs for Engineering Education 4.0: Achievements of the ELLI project at the TU Dortmund University. **Procedia Manufacturing**, [S. l.], v. 26, p. 1349–1360, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.126>

HOLMAN, J. P. **Heat Transfer**. 10th. ed. New York: Mc Graw Hill, 2010. *E-book*.

INCROPERA, Frank P. *et al.* **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 6th. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd, 2007. *E-book*.

MAROTO, M. L. M. **Educação a distância: aspectos conceituais**. Rio de Janeiro: [s. n.], 1995.

MOORE, Michael G.; KEARSLEY, Greg. **Uma Visão Integrada Educação a Distância**. São Paulo: Camara Brasileira do Llvro, 2008. *E-book*.

POTKONJAK, Veljko *et al.* Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. **Computers and Education**, [S. l.], v. 95, p. 309–327, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>

SANCHO, Juana Maria. **Para uma Tecnologia Educacional**. Porto Alegre: Artmed, 2001. *E-book*.

SARAIVA, Terezinha. Educação a distância no Brasil. *In: Em Aberto*. Brasília: [s. n.], 1996. p. 16–27. *E-book*.

SIMONSON, Michael *et al.* **Teaching and Learning at a Distance - Foundations of Distance Education**. [S. l.]: Pearson, 2008. *E-book*.

STEFANOVIC, Miladin. The objectives, architectures and effects of distance learning laboratories for industrial engineering education. **Computers & Education**, [S. l.], 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.011>. Acesso em: 1 maio. 2020.

WELTY, James R. *et al.* **Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer**. 5th. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd, 2008. *E-book*.