

Desenvolvimento de um software educativo para projeto da separação sólido-líquido em centrífugas tubulares

Development of an educational software for the design of solid-liquid separation in tubular centrifuges

Lucas Donizete da Silva¹, Giselle Marcelino Lima¹, Beatriz Cristina Silvério¹, Kássia Graciele dos Santos¹

¹ Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), Uberaba, MG, Brasil

donizete.lucas@hotmail.com, gisellemarcelinolima@gmail.com, beatriz.silverio@uftm.edu.br, kassia.santos@uftm.edu.br

Recibido: 11/09/2018 | **Corregido:** 18/02/2020 | **Aceptado:** 05/03/2020

Cita sugerida: L. Donizete da Silva, G. M. Lima, B. C. Silvério, K. G. dos Santos, “Desenvolvimento de um software educativo para projeto da separação sólido-líquido em centrífugas tubulares,” *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, no. 25, pp.86-96, 2020. doi: 10.24215/18509959.25.e09

Esta obra se distribuye bajo **Licencia Creative Commons CC-BY-NC 4.0**

Resumo

A tecnologia está cada dia mais presente na vida moderna e tem sido importante aliada no ensino-aprendizagem dos cursos superiores de tecnologia e ciências exatas, principalmente nas engenharias. Muitas vezes, os discentes, julgam como difícil de assimilar conceitos abstratos, devido à grande quantidade de teoria e cálculos envolvidos dificultando a compreensão. A fim de reverter essa visão, o artigo tem como objetivo demonstrar a utilização da tecnologia no âmbito educacional e contribuir nas melhorias da aprendizagem dos conteúdos obrigatórios de um curso superior em engenharia química. Para tal, idealizou o “Projeto Centrífuga”, como ferramenta alternativa ao ensino de projeto de centrífugas tubulares, através de dados das condições operacionais e ampliação de escalas de projetos. Concluiu-se que a tecnologia é uma importante aliada na no processo educacional incentivando os acadêmicos tornando-os parte da construção do conhecimento.

Palabras clave: Centrífugas tubulares; Software aplicativo; Tecnologias educacionais; Aplicativos para engenharia.

Abstract

Technology is increasingly present in modern life and has been an important ally in the teaching and learning of advanced courses in technology and the exact sciences, especially in engineering. Often, the students think it difficult to assimilate abstract concepts, due to the large amount of theory and calculations involved making it difficult to understand. In order to reverse this view, the article aims to demonstrate the use of technology in the educational field and to contribute to improvements in the learning of the compulsory contents of a course in chemical engineering. For this purpose, he designed the "Centrifugal Project", as an alternative tool to teaching tubular centrifugal design, through data of the operational conditions and expansion of project scales. It was concluded that technology is an important ally in the educational process by encouraging academics to become part of the construction of knowledge.

Keywords: Tubular centrifuges; Software applications; Educational technologies; Engineering applications.

1. Introdução

Com a globalização, o mundo vem se deparando com mudanças significativas na comunicação. E o uso da tecnologia é um dos fatores que mais contribui para essa evolução. Não resta dúvida que a sociedade atual passou a ser conhecida como a “Sociedade da Informação”. A atual sociedade sofre com constantes mudanças e avanços tecnológicos, fazendo com que todos os setores incluindo a educação necessitem se adequar para a inclusão das novas tecnologias [1,2,3].

Na educação tradicional, com aulas expositivas, as conclusões muitas vezes são rápidas e sem a participação dos alunos no processo de ensino, as disciplinas acabam sendo então, pouco absorvidas e pouco proveitosas levando a monotonia das aulas [3]. Por conta disso, o aproveitamento das disciplinas se apresenta em constante queda, indicando a necessidade de mudanças na forma de ensinar [4].

Neste contexto, as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) trazem esperança de novos tempos para a educação, principalmente a educação superior. No qual, os alunos profissionais têm sido exigidos pelo mercado profissional e acadêmico, a apresentarem um conhecimento multidisciplinar e que se adequem rapidamente as mudanças tecnológicas que estão constantemente surgindo a uma velocidade muito grande. E essa exigência tem feito com que as universidades tenham que adaptar sua estrutura curricular, proporcionando visões tecnológicas ao ensino [5].

No entanto, a ferramenta tecnológica deve sempre estar aliada às práticas pedagógicas para se produzir com eficiência a construção do conhecimento e de forma mais prazerosa aos alunos [4].

Uma possibilidade inovadora ao ensino-aprendizagem nas engenharias e ciências exatas é a utilização das ferramentas computacionais, os “*softwares*” [6,7]. Jucá [8] classifica os *softwares* educacionais em *softwares* aplicativos e educativos. *Softwares* aplicativos são aqueles que não têm funcionalidade educacional, ou seja, não foram criados especificamente para essa função, mas se adequaram a educação e estão sendo utilizado como meio de ensino. E os *softwares* educativos, são aqueles desenvolvidos para construir o conhecimento relativo a um conteúdo didático [8]. A utilização da informática educativa proporciona uma ampliação do ambiente de ensino-aprendizagem uma vez, que os alunos podem vivenciar novas experiências, simular e ampliar a gama de atividades a serem trabalhadas, além de promover a integração disciplinar [5].

Valente Apud Vieira [9] afirma que o *software* pode ser interpretado como a explicitação do raciocínio do aprendiz, uma vez que fornece duas ferramentas importantes para o processo de construção do conhecimento. Primeiro é produto do pensamento do aprendiz se a ferramenta está funcionando adequadamente fornecendo resultados coerentes e segundo, a resposta imediata fornece os resultados que são construídos pelo

computador, podendo confrontar suas idéias originais com os resultados obtidos. Dessa forma Vieira [9] afirma que a comparação constitui o primeiro passo no processo reflexivo e cognitivo.

Jucá [10] também afirma em seu estudo, que pelo fato dos *softwares* apresentarem uma resposta a um determinado dado de entrada, estes também podem ser responsáveis pelo desenvolvimento do raciocínio lógico, pois a parte da resolução dos cálculos é feita pela máquina, porém o usuário é quem interpreta estes resultados.

Se observarmos trabalhos da literatura como exemplo o da avaliação do *software* aplicativo SanUSB, que foi criado com o intuito de estimular a programação, verifica-se que a tecnologia e utilização de *softwares* promove a reflexão e o desenvolvimento da autonomia dos alunos. Jucá verificou que a utilização desse *software* favorece a manipulação de situações semelhante a situações reais em que os alunos podem concluir, avaliar os resultados obtidos, o que possibilita o desenvolvimento do senso crítico e do raciocínio lógico dos usuários a medida em que podem levantar hipóteses, fazer interferências e tirar conclusões [10].

Por outro lado, as novas gerações têm mostrado grande afinidade e gosto pelos recursos tecnológicos, e tendo em vista a busca incessante por estratégias educacionais que aperfeiçoem o ensino-aprendizagem conectando a teoria com a prática, abordando de forma interativa os conceitos relacionados à engenharia química e preparando o aluno profissional para o dia a dia fora das salas de aula, o “Projeto Centrífuga” busca transacionar para o ambiente computacional a resolução de problemas relacionadas à engenharia química, especificamente, na área de separação de particulados. Dessa forma, os professores podem utilizar essa ferramenta alternativa em atividades interativas com os alunos, mostrar caminhos diferentes para resolução de problemas encontrados em livros didáticos, propor e simular novas atividades além de possibilitar aos alunos uma visão mais ampla da teoria, um contato com novas tecnologias e ser responsável pelo próprio aprofundamento do seu conhecimento.

É de conhecimento desses autores, a existência de *softwares* educativos, (tutoriais e aplicativos) utilizados para projetos de equipamentos de operações unitárias como trocadores de calor, (Aspen HTFS[®]), projeto de colunas de destilação, turbinas e compressores (ChemCAD[®]). Porém, até este momento, este grupo de pesquisadores e educadores desconhece uma ferramenta didática capaz de proporcionar ao aluno de forma eficaz e simplificada os cálculos de projeto de centrífugas tubulares. Sucintamente, de forma a proporcionar uma formação interdisciplinar e diferenciada aos graduandos em engenharia química, desenvolveu-se o *software* educativo intitulado como “Projeto Centrífuga”. O *software* foi preparado para ser utilizado com um recurso auxiliar no ensino de centrífugas tubulares proporcionando cálculos de condições operacionais e *scale up* de projetos pilotos desse tipo de centrífuga, além disso, possibilitar a contextualização do aluno no cotidiano profissional.

1.1. Projeto de Centrífugas Tubulares

As operações unitárias, um dos pilares da formação do engenheiro químico demonstra ser uma das áreas mais complexas na formação dessa profissão, pois envolvem muitos conceitos e cálculos para projetar, analisar e avaliar equipamentos utilizados na indústria e, por essas razões, não é facilmente compreendido. Assim, se faz necessário o desenvolvimento de novas tecnologias e ferramentas educacionais facilitadoras do conhecimento dessa área, principalmente os projetos de equipamentos como centrífugas tubulares.

As centrífugas são equipamentos industriais utilizados para a separação de sólidos e líquidos. É um processo muito importante no meio industrial e bastante difundido na realização de decantação de sólidos e filtração, envolvendo a separação de líquidos imiscíveis e partículas sólidas [11].

Segundo, Gomide [12] o processo de centrifugação pode ser dividido em descontínuo, contínuo ou semi contínuo. No processo descontínuo a alimentação e descarga são feitos com o equipamento desligado/parado. No semi contínuo o processo é feito em batelada, mas sem interrupções da operação de carga e descarga. Por fim, no processo contínuo a alimentação e retirada do produto são feitos de forma permanente.

As centrífugas podem ser classificadas em dois tipos: sedimentadoras e filtrantes. Nas centrífugas sedimentadoras ou decantadoras as partículas são recuperadas devido à ação de um campo gravitacional de força que atua separando-as radialmente do líquido [13]. Um subtipo dessas centrífugas são as centrífugas tubulares, que tem um processo semi contínuo, portanto, em batelada.

O desenvolvimento de um projeto de centrífuga tubular é considerado como um estudo multidisciplinar, pois envolvem aspectos de engenharia química, mecânica e elétricas [13].

Nesse processo de centrifugação, a suspensão contendo líquidos e sólidos é alimentado em uma bacia e girados em torno do seu próprio eixo à alta velocidade, acionado indiretamente por um motor elétrico ou turbina [13]. Os sólidos presentes na suspensão possuem maior densidade e sob a força centrífuga, movem-se em direção as paredes do cesto onde se acumulam [11]. Esse material segue então, em direção a parte cônica da centrífuga e são retirados. Conforme Peçanha [13], a intensidade de campo centrífugo depende unicamente da velocidade de rotação da bacia. Dessa forma, as centrífugas podem ser utilizadas em diferentes velocidades de rotação. Quando dado uma vazão e uma velocidade rotacional pode-se obter um desempenho e avaliar o desempenho ótimo no processo [13]. Logo, essas variáveis são importantes para o controle operacional das centrífugas.

Outra variável importante para avaliar o desempenho de uma centrífuga é através do diâmetro de corte, que é o diâmetro das partículas coletadas com eficiência de 50%.

Para um projeto de centrífuga ser viável a diferença entre as densidades do sólido e do líquido a ser separados deve ser maior que $0,1 \text{ g.cm}^{-3}$ [8].

2. Metodologia

A criação e desenvolvimento do *software* “Projeto Centrífuga” teve como base três pilares: educação, tecnologia da informação e as operações unitárias (Engenharia Química). Com objetivo de proporcionar aos usuários um *software* de fácil compreensão e utilização, com funções úteis para calcular as condições operacionais das centrífugas tubulares, fazer scale up de projetos pilotos e ainda, realizar o projeto de dimensionamento de uma nova centrífuga.

Para o elaboração do *software* foi utilizado o ambiente operacional Windows e o programa computacional Borland Delphi. O Borland Delphi é uma Interface de desenvolvimento integrado (IDE), prática, fácil de utilizar, com um grande aparato bibliográfico para auxiliar durante a utilização do mesmo. Essa IDE tem como linguagem de programação Object Pascal que é a linguagem pascal orientada a objetos. De modo geral, trata-se de uma aplicação multicamadas, cliente/servidor, com um compilador integrado a uma ambiente de desenvolvimento amigável [14].

A construção desse *software* se deu em três estágios, planejamento inicial, desenvolvimento do conteúdo do aplicativo e por fim, a avaliação e revisão através de simulações de exercícios dados em salas de aulas referentes às centrífugas tubulares.

No primeiro estágio, realizou-se um estudo aprofundado sobre as centrífugas tubulares de forma a explorar os conceitos importantes de conteúdo e com isso nortear o desenvolvimento do aplicativo. Para tal, foram realizadas pesquisas bibliográficas, considerando as contribuições de diversos autores conhecidos na área científica relacionados à projeção e análise de equipamentos industriais, dentre eles, pode-se citar: Massarani [15], Svarovsky [16] e Peçanha [13].

É importante ressaltar que essa ferramenta foi desenvolvida não somente para acadêmicos de engenharia química, mas também para profissionais da área, portanto, espera-se que haja um conhecimento básico a respeito de centrífugas, separação do campo centrífugo, como o conhecimento de grade e eficiência, conceito sigma e diâmetro de corte.

Depois de realizado esse levantamento prévio teve início à etapa seguinte, o desenvolvimento do aplicativo. Inicialmente com a customização da página inicial e a apresentação de suas funcionalidades conforme Figura 1.



Figura 1. Interface inicial do programa.

Nota-se que o programa possui cinco ferramentas de cálculo entre elas: dimensionamento de raio, dimensionamento de vazão, cálculo de diâmetro de corte, grade de eficiência, determinação sigma das centrífugas e Scale up do projeto. Cada uma dessas ferramentas será melhor detalhadas a seguir. Vale destacar que foi adotado no programa o sistema CGS, logo, todos os dados informados devem obrigatoriamente estar neste sistema de unidades.

Na implementação do código fonte do programa, a princípio utilizou-se o conceito sigma no projeto de centrífugas tubulares e as equações das funcionalidades apresentados a seguir.

2.1. Dimensionamento do Raio

Para dimensionar o raio da centrífuga tubular é necessário informar alguns parâmetros de projeto. Nesse sentido, é relevante inserir a densidade e a viscosidade do fluido, a densidade da partícula a ser separada e a velocidade angular de rotação da cesta da centrífuga.

Admitindo como hipótese do projeto, que essas partículas são esféricas e possuem regime de Stokes. Dessa forma, a Equação 1 permite obter o valor do parâmetro K. Levando em consideração, que $\Delta\rho$, refere-se as densidades da partícula e do fluídos, a viscosidade dinâmica do fluido (μ) e a velocidade angular de rotação (ω). Utilizando a Equação 2 é possível determinar o raio da centrífuga, para isso é fundamental informar as condições operacionais como vazão (Q), diâmetro máximo de coleta (xmax) que se deseja separar, assim como a especificação sobre a geometria da centrífuga em termos de altura (L) e o diâmetro interno da cesta (R_0).

$$K = \frac{\Delta\rho\omega^2}{18\mu} \quad (1)$$

$$x_{\max} = \left(\frac{Q \ln(R/R_0)}{K\pi L(R^2 - R_0^2)} \right)^{0,5} \quad (2)$$

Nota-se que a variável de interesse, o raio da centrífuga (R), aparece em um logaritmo e ao quadrado no denominador da função. Dessa forma, a equação é implícita em termos de R no cálculo para determinação do raio. Nesse sentido, a alternativa empregada para solução

deste problema é um processo iterativo, o qual incrementa valores de R até que ocorra convergência de valores, ou seja, até ambos os membros da equação se igualem.

2.2. Cálculo do Diâmetro de Corte

A trajetória empenhada de uma partícula dentro da bacia permite realizar sua coleta ao final da bacia e com isso, determinar o valor de diâmetro de corte dessa partícula [11].

$$d^* = \left(\frac{Q}{2\pi L K} \ln \left[\frac{2R^2}{R^2 + R_0^2} \right] \frac{1}{(R^2 - R_0^2)} \right)^{0,5} \quad (3)$$

em que, Q é a vazão de alimentação da suspensão, L é o comprimento da bacia. Definidas as informações acima, foi especificado através da Equação 3 o diâmetro de corte, isto é, o diâmetro das partículas que podem ser coletados com eficiência de 50% [13, 16].

2.3. Dimensionamento da Vazão

A vazão de alimentação (Q) foi obtida através da Equação 4, na qual identifica-se a velocidade terminal da partícula no regime de Stokes (v_t), o diâmetro de corte (d^*), viscosidade do fluido (μ) e a diferença entre as densidades do sólido (ρ_s) e do fluido (ρ) e a velocidade de rotação da centrífuga (ω).

$$Q = \frac{(\rho_s - \rho)g(d^*)^2}{18\mu} \frac{\pi(R^2 - R_0^2)L\omega^2}{g \ln(R/R_0)} \quad (4)$$

2.4. Scale Up do Projeto da Centrífuga

O valor de sigma (Σ) foi determinado através da Equação 5, que caracteriza a geometria da centrífuga [10].

$$\Sigma = \frac{\pi L(3R^2 + R_0^2)\omega^2}{2g} \quad (5)$$

A etapa de ampliação de escala do equipamento (Scale up) tem como objetivo manter a mesma velocidade terminal da partícula empregada no teste inicial de bancada. Obtendo assim os novos valores utilizando da Equação 6.

$$\left(\frac{Q}{\Sigma} \right)_1 = \left(\frac{Q}{\Sigma} \right)_2 \quad (6)$$

em que $(Q/\Sigma)_1$ refere-se aos dados da centrífuga de bancada e o índice 2 aos dados da centrífuga ampliada, para utilização industrial.

2.5. Grade Eficiência Individual de Coleta

E por fim, a grade de eficiência de coleta que permite através de gráfico demonstrar a relação do menor diâmetro até o maior diâmetro e sua respectiva eficiência de coleta. Propôs-se obter esse gráfico utilizando-se da Equação 7, em que G(x) representa a eficiência individual

de coleta da partícula com diâmetro x que é um determinado diâmetro de partícula. Verifica-se que a Equação 7 menciona um parâmetro K_2 , obtido através da Equação 8. Trata-se de uma constante particular referente à geometria tubular e a vazão do fluido [11].

$$G(x) = \frac{1 - \exp(-2KK_2x^2)}{1 - \exp(-2KK_2x_{\max}^2)} \quad (7)$$

$$K_2 = \left(\frac{\pi L(R^2 - R_0^2)}{Q} \right) \quad (8)$$

Após a realização do código fonte, finalmente, a terceira etapa denominada validação de *software*. Validar um *software* significa verificar se o mesmo atende aos objetivos propostos no projeto. Fazendo parte nesse teste, está a criação de situações de utilização do mesmo bem como a validação de cálculos. Nesse sentido, consideraram-se como teste de verificação de cálculos, exercícios propostos em livros didáticos relacionados ao tema e comparou-se a resolução em sala de aula com os resultados encontrados através do *software*. Buscou-se averiguar, caso fosse necessário ainda, ajustes pontuais de erros durante a compilação e execução do mesmo.

2.6. Procedimento de Avaliação do Software Como Ferramenta Pedagógica

Foi realizada uma atividade extraclasse com os alunos do curso de Engenharia Química, que cursaram a Disciplina de Operações Unitárias III no 2º semestre de 2019. A atividade foi disponibilizada empregando a plataforma Moodle, usada pela Universidade Federal do Triângulo Mineiro- Uberaba –MG, Brasil, para atividades de ensino a distância e assistência às disciplinas ministradas na graduação e na pós-graduação.

Foi inserido um arquivo contendo um tutorial, os alunos deveriam fazer os mesmos exercícios propostos neste artigo, usando o *software* avaliado. Também foi disponibilizado o arquivo executável (.exe) do programa em uma pasta comprimida (.zip, com 839 kB), de forma que para abrir o programa não é necessária sua instalação, apenas clicar na tecla ENTER. O arquivo executável também roda em celulares com plataforma *Android*.

Após a execução das atividades do tutorial, os alunos deveriam responder um formulário de avaliação do *software* e de sua eficácia como ferramenta educacional. O formulário foi adaptado de Oliveira (2001), contendo 23 questões relativas à: característica do *software*, confiabilidade e usabilidade do *software*, eficiência de cálculo, portabilidade do *software*, conteúdo do *software* relacionado à disciplina, eficácia na aprendizagem. Foram 22 questões de múltipla escolha, sendo que a maioria permitia uma resposta neutra ou intermediária, e uma questão discursiva.

No total, 32 estudantes de Engenharia Química realizaram a atividade, dando o *feedback* por meio do preenchimento do formulário. Após a realização da atividade e a resposta dos alunos ao questionário, os resultados foram avaliados, obtendo-se o percentual de respostas favoráveis e desfavoráveis.

3. Apresentação e Análise dos Resultados

3.1 Procedimento de Avaliação do Funcionamento do Software

O primeiro recurso na lista do programa permite dimensionar o raio de uma centrífuga. Utilizando este item calculou-se o raio de uma centrífuga de bancada laboratorial, cujos dados estão disponíveis em Svarovsky [15]. Essas informações foram inseridas na interface, conforme mostra a Figura 2 e obteve-se exatamente o valor de 2,2 cm registrado no livro.

Figura 2. Janela para dimensionamento do raio.

Na Figura 3 é mostrado a janela na qual os dados da geometria do equipamento, condição operacional de velocidade e característica do fluido e da partícula são discriminados. O resultado obtido é apresentado através de uma caixa de mensagem, na parte inferior da interface, destacando a possibilidade de imprimir o valor da vazão em cm^3/s ou em m^3/h a critério do usuário.

Dimensionar Vazão da Centrífuga

Preencha os seguintes campos:

Geometria

Raio (R) cm R0 cm

Comprimento cm Velocidade de Rotação rpm

Material

Densidade da partícula ρ_s g/cm³ Densidade do fluido ρ g/cm³

d* μm Viscosidade μ P

Resultados

cm³/s m³/h

Project1

A vazão a ser utilizada é de: 0.32 m³/h.

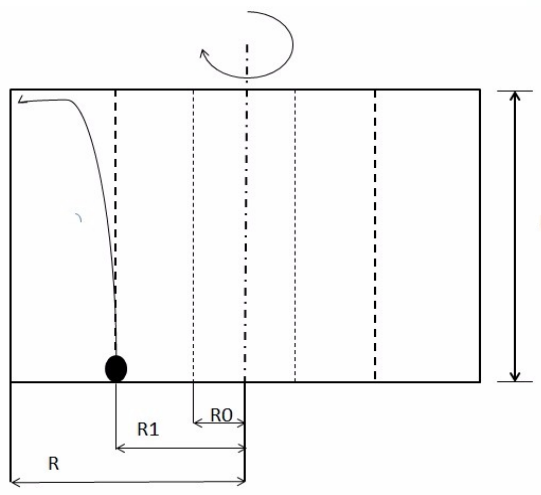


Figura 3. Cálculo da vazão de operação

A grade de eficiência é outro recurso disponível no programa. Para avaliar as potencialidades deste item investigou-se a eficiência de separação obtida em uma centrífuga *Sharples Supercentrifuge* (8RY). Este equipamento possuía as seguintes dimensões: $R=2,223$ cm; $R_0=1,071$ cm e $L=19,6$ cm. Essa operação foi realizada com velocidade de rotação de 8000 rpm e vazão de $7,57 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para separar uma suspensão muito fina

de óxido de titânio ($\rho_s=4000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) em água a 23°C com concentração 0,5% v/v [14].

Na Figura 4 é apresentada a inserção de dados para produção de uma grade de eficiência e o gráfico resultante. Além disso, é possível imprimir a curva gerada através do Botão Imprimir posicionado no lado inferior esquerdo da tela.

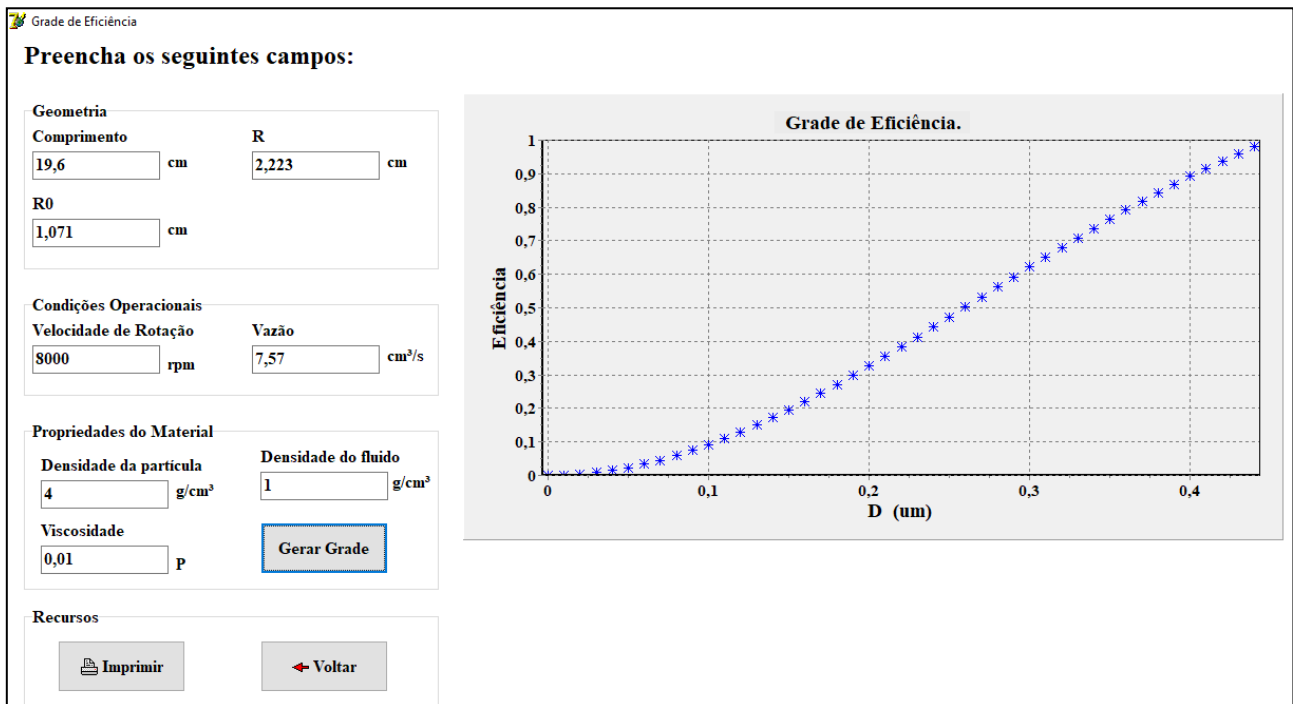


Figura 4. Interface para grade eficiência.

São apresentados na Figura 5 as curvas para eficiência de separação. A curva da Figura 5 (a) foi gerada a partir do *software* utilizando a Equação 7, enquanto a Figura 5 (b) apresenta a grade eficiência experimental, disponível na literatura [16]. É possível observar uma ótima concordância entre as curvas produzidas no programa e a curva disponível na literatura. Além disso, é possível perceber a proximidade entre grade prevista segundo a equação e a grade experimental.

Por fim, o processo de projeto de equipamentos em escala industrial a partir de uma escala piloto, conhecido por

Scale up pode ser aplicado, como nosso exemplo, em um caso de clarificação de uma suspensão de argila em água numa centrífuga tubular. Ensaios de laboratório mostram que um produto clarificado satisfatório pode ser obtido com vazão de $8 \text{ cm}^3/\text{s}$. Dessa forma, utilizou esta ferramenta para determinar a capacidade da centrífuga tubular industrial para operar com o mesmo tipo de suspensão. A Centrífuga piloto (1) possui comprimento $L=20 \text{ cm}$; $R=2,2 \text{ cm}$; $R_0=1,1 \text{ cm}$; $\omega=20000 \text{ rpm}$. Para a Centrífuga industrial (2), temos: Comprimento $L=73,4 \text{ cm}$; $R=5,21 \text{ cm}$; $R_0=2,26 \text{ cm}$; $\omega=15000 \text{ rpm}$ [13].

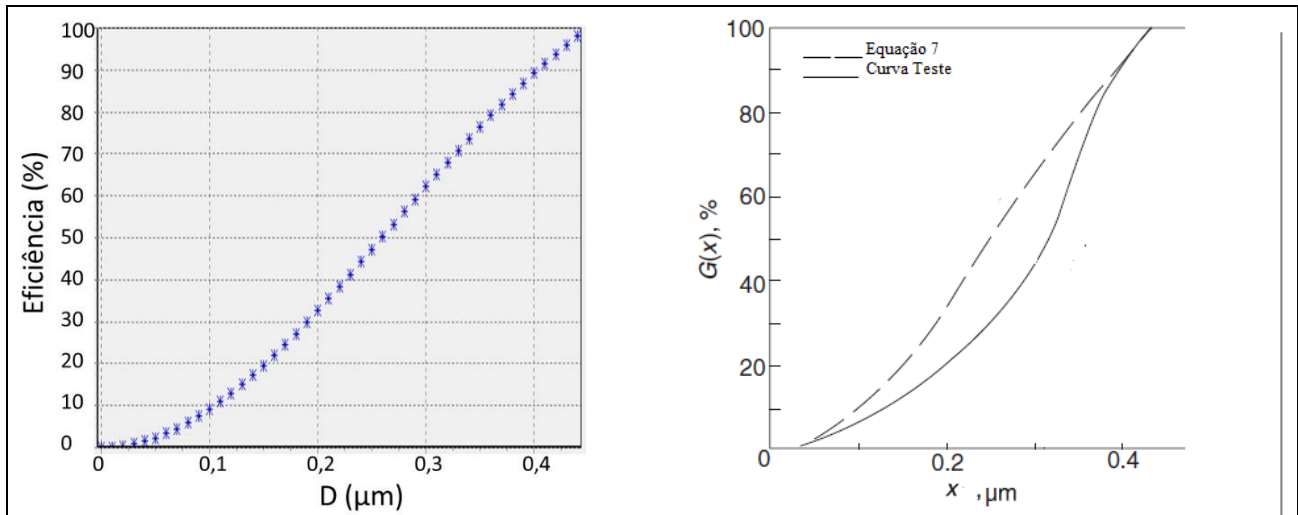


Figura 5. Grade de eficiência individual de coleta ($G(x)$,%) da centrífuga tubular: (a) fornecida pelo aplicativo; (b) Adaptado de Svarovsky [13].

Primeiro escolhe-se a opção *Scale up* que se encontra no topo da sua tela inicial do programa, ao lado da aba “Fechar” e em seguida, preenche-se os dados. O resultado é apresentado em uma caixa de diálogo na parte inferior da tela, conforme a Figura 6. O valor para a vazão encontrado nas especificações da centrífuga industrial foi de $90,86 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, similarmente ao resultado apresentado na literatura, de $90,8 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

The screenshot shows the 'Scale up' interface with the following data entered:

Equipamento Piloto	
Comprimento	20 cm
Velocidade de Rotação	20000 rpm
Distância entre alimentação e descarga (R_0)	1,1 cm
Raio da Centrífuga (R)	2,2 cm
Vazão	8 cm^3/s

Equipamento Industrial	
Comprimento	73,4 cm
Velocidade de Rotação	15000 rpm
Distância entre alimentação e descarga (R_0)	2,26 cm
Raio da Centrífuga (R)	5,21 cm

A dialog box titled 'Project1' displays the result: "A vazão na pinata industrial é de: 90,8586426235563 cm^3/s ".

Figura 6. *Scale up* para vazão de planta industrial.

3.2 Resultado da Avaliação do *Software* como Ferramenta Pedagógica

A Tabela 1 apresenta as perguntas do formulário com suas opções de escolha, bem como a porcentagem de respostas obtidas para cada alternativa. Pode-se observar que quanto a portabilidade e usabilidade, a maioria dos alunos consideraram o *software* de fácil instalação (87,5%), de fácil interação (80%), que dispensa outros recursos para ser utilizado (93,8%), adequado à faixa etária do público alvo (96,9%).

Tabela 1. Formulário de avaliação do *software* como ferramenta educacional: perguntas de múltipla escolha.

PERGUNTAS	RESPOSTAS (%)		
	A	B	C
1. O <i>SOFTWARE</i> É DE FÁCIL INSTALAÇÃO? A. SIM B. INDIFERENTE C. NÃO	87.5	12.5	0.0
2. O <i>SOFTWARE</i> PERMITE A INTERAÇÃO DO USUÁRIO? A. SIM, CONSIGO INTERAGIR BEM COM O <i>SOFTWARE</i> B. SIM, MAS DE FORMA MUITO LIMITADA C. NÃO É INTERATIVO	80.0	20.0	0.0
3. O <i>SOFTWARE</i> ESTÁ DE ACORDO COM AS FINALIDADES E OBJETIVOS PROPOSTOS? A. SIM B. EM PARTES ESTÁ DE ACORDO C. NÃO	83.3	16.7	0.0
4. ESTE <i>SOFTWARE</i> É MAIS EFICAZ DO QUE OUTRA METODOLOGIA USADA EM SALA DE AULA PARA ATINGIR OS OBJETIVOS A QUE SE PROPÕE? A. SIM B. TEM MESMA EFICÁCIA DOS MÉTODOS EM SALA DE AULA C. NÃO, OUTROS MÉTODOS SÃO MAIS EFICAZES	59.4	34.4	3.1
5. DISPENSA OUTROS RECURSOS (IMPRESSORA, DISCOS FLEXÍVEIS) PARA SER USADO? A. SIM, CONSIGO USAR INDEPENDENTE DE OUTROS DISPOSITIVOS B. NÃO, DEPENDE DE OUTRO DISPOSITIVO ALÉM DO COMPUTADOR	93.8	6.3	
6. O <i>SOFTWARE</i> GERA RESULTADOS OU EFEITOS CORRETOS DE ACORDO COM A ESPECIFICAÇÃO, OU SEJA, PRODUZ RESULTADOS PRECISOS? A. SIM B. AS VEZES C. NÃO É PRECISO	87.5	12.5	0.0
7. SUAS FUNÇÕES E BOTÕES DE OPERAÇÃO SÃO APROPRIADOS PARA AS TAREFAS ESPECIFICADAS? A. SIM B. EM PARTES C. NÃO	87.5	12.5	0.0
8. O <i>SOFTWARE</i> É APROPRIADO A FAIXA ETÁRIA DO SEU PÚBLICO ALVO? A. SIM B. TALVEZ C. NÃO	96.9	3.1	0.0
9. OCORREU ALGUMA FALHA DURANTE O USO DO <i>SOFTWARE</i> ? A. NÃO B. SIM, APENAS QUANDO COLOQUEI VALORES DE ENTRADA ALEATÓRIOS C. SIM, MUITOS ERROS	25.0	65.6	6.3
10. AS RESPOSTAS PROPORCIONADAS SÃO IMEDIATAS, OU SEJA, O TEMPO DE RESPOSTA AO COMANDO DAS FUNÇÕES É RÁPIDO? A. SIM SÃO RÁPIDAS B. UM POUCO C. NÃO, SÃO LENTAS	78.1	21.9	0.0
11. O <i>SOFTWARE</i> TRANSMITE CONCEITOS TEÓRICOS DE FORMA ADEQUADA? A. SIM B. ALGUNS CONCEITOS ESTÃO ADEQUADOS C. HÁ CONCEITOS EQUIVOCADOS	96.9	3.1	0.0
12. O PROGRAMA PROPORCIONA FACILIDADE DE APLICAÇÃO, COM INTERFACE AMIGÁVEL AO USUÁRIO? A. SIM B. UM POUCO C. NÃO	90.6	9.4	0.0
13. NO TUTORIAL, AS INSTRUÇÕES SÃO CLARAS E LÓGICAS? A. SIM B. UM POUCO C. NÃO	96.9	3.1	0.0
14. O <i>SOFTWARE</i> PERMITE DESENVOLVER E TESTAR NOVAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS, DIFERENTES DO TUTORIAL? A. SIM B. NÃO	78.1	21.9	
15. VOCÊ TESTOU NOVAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS, DIFERENTES DO TUTORIAL? A. SIM, FIQUEI INTERESSADO E TESTEI PARA OUTRAS CONDIÇÕES B. NÃO TESTEI OUTRAS CONDIÇÕES	59.4	40.6	
16. OS ALUNOS PODEM CHEGAR A DETERMINADOS PONTOS SEM SEGUIR UMA SEQUÊNCIA OBRIGATÓRIA? A. SIM B. NÃO	87.5	12.5	
17. O MATERIAL VISUAL (FIGURAS, GRÁFICOS, SIMULAÇÕES) ESTÁ ADEQUADO À APLICAÇÃO? A. SIM B. UM POUCO C. NÃO	87.5	9.4	3.1
18. O <i>SOFTWARE</i> POSSIBILITA A RESOLUÇÃO DE EXERCÍCIOS DE NÍVEIS DIFERENTES, RELACIONADOS COM O CONTEÚDO ESTUDADO NA DISCIPLINA? A. SIM B. ALGUNS C. NÃO	59.4	40.6	0.0
19. O <i>SOFTWARE</i> UTILIZA DE FORMA CORRETA A ORTOGRAFIA E GRAMÁTICA? A. SIM B. SIM, MAS CONTÉM ALGUNS ERROS C. NÃO	90.6	9.4	0.0
20. AJUSTA-SE AOS OBJETIVOS CURRICULARES DA DISCIPLINA DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS? A. SIM, COMPLETAMENTE B. SIM, MAS EM PARTES C. NÃO	56.3	43.8	0.0
21. VOCÊ CONSEGUIRIA USAR O <i>SOFTWARE</i> SEM NENHUM CONHECIMENTO TEÓRICO PRÉVIO? A. NÃO, AS AULAS TEÓRICAS SÃO ESSENCIAIS PARA USAR O <i>SOFTWARE</i> B. TALVEZ C. SIM, O USO DO <i>SOFTWARE</i> É INTUITIVO	31.3	31.3	37.5
22. VOCÊ CONSIDERA QUE O USO DO <i>SOFTWARE</i> AGREGOU OU CONSOLIDOU OS CONHECIMENTOS ADQUIRIDOS NA DISCIPLINA, OU SEJA, VOCÊ APRENDEU USANDO O APLICATIVO? A. SIM, MUITO B. UM POUCO C. NÃO AGREGOU CONHECIMENTO	46.9	53.1	0.0
23. DÊ SUA OPINIÃO DE EXPERIÊNCIA PESSOAL COM O USO DO <i>SOFTWARE</i> . VOCÊ ACREDITA QUE O USO DESTES TIPO DE FERRAMENTA AUMENTA A APRENDIZAGEM?	DISCURSIVA		

Quanto a outras características do *software*, os alunos consideraram o *software* de acordo com os objetivos propostos (83,3%), com funções e botões apropriados para as tarefas especificadas (87,5%), gráficos e parte visual adequada à aplicação (87,5%), que usa adequadamente a ortografia e a gramática (90,6%), sendo de fácil utilização e com interface amigável ao usuário (90,6%).

Quanto à confiabilidade e eficiência de cálculo, o *software* forneceu resultados precisos (87,5%), gerando resultados rápidos (78,1%) ou relativamente rápidos (21,9%), sendo que apenas 25% dos usuários não relataram erros ao usar o *software*, 65,6% dos usuários relataram falhas no uso do *software* apenas quando lançaram valores de entrada aleatórios, que combinados geravam erros de cálculo devido a divisões por números próximos de zero.

No entanto, cerca de 6,4% dos alunos obtiveram vários erros, ou por problemas com o antivírus ou por ter que usar o ponto como separador decimal. Sendo assim, uma correção no arquivo fonte do *software* foi realizada para que em todos os dados de entrada o separador decimal fosse a vírgula.

Segundo a avaliação, os alunos reconheceram de forma total (56,3%) ou parcial (43,7%) uma relação do *software* com o conteúdo da disciplina de Operações Unitárias III.

Além disso, o *software* possibilitou a resolução de exercícios de níveis diferentes (40,6%) ou de alguns outros exemplos (50,4%) relacionados ao conteúdo da disciplina, transmitindo os conceitos teóricos da disciplina de forma adequada (96,9%).

Com relação às instruções de uso, o tutorial foi claro, com instruções lógicas (96,9%), sendo que o *software* permitiu ao usuário testar outras condições operacionais das centrífugas diferentes das contidas no tutorial (78,1%). No entanto, apenas 59,4% dos alunos relataram que ficaram interessados e testaram novas condições operacionais, diferentes do tutorial.

Provavelmente os alunos que disseram que o *software* não permite realizar outras simulações fizeram essa afirmação

por não terem tentado. Cerca de 87,2% dos alunos confirmaram que é possível usar o *software* sem seguir uma sequência obrigatória de cálculo, ou seja, como demonstrado nos exemplos resolvidos neste trabalho, é possível resolver diferentes problemas relacionados ao projeto e operação das centrífugas tubulares, o que mostra a versatilidade do *software*.

É importante ressaltar que este software foi proposto como ferramenta para auxílio na aprendizagem. Assim, quanto à eficácia na aprendizagem, todos os alunos afirmaram que o uso do *software* agregou algum grau de conhecimento, sendo que 46,9% relataram que aprenderam muito com a atividade. Todos os alunos afirmaram que o *software* ou é mais eficaz (59,4%) ou tem a mesma eficácia de outra metodologia (34,4%) usada em sala de aula para realizar o projeto de centrífugas tubulares. No entanto, apenas 31,3% dos estudantes afirmou que conseguiria usar o *software* sem conhecimentos prévios da teoria, enquanto 37,5% disseram que seria inviável usar o *software* sem os conhecimentos prévios obtidos em sala de aula. De fato, não se espera que todo o público leigo tenha interesse ou consiga usar o *software*, apesar de seu uso ser intuitivo. Espera-se na verdade que o *software* seja usado como uma ferramenta educacional para alunos que estão em contato com os conceitos teóricos do projeto deste equipamento, de forma que os alunos possam ganhar mais sensibilidade física dos parâmetros usados na modelagem e simular novos cenários de operação.

Quando foi solicitado aos alunos escreverem sua opinião de experiência pessoal com o uso do *software* e se este contribuiu para o processo de aprendizagem, apenas 3,1% dos alunos se absteve de responder à pergunta. A Tabela 2 traz exemplos de respostas dadas pelos alunos. Através dessas respostas, podemos afirmar que houve um grande interesse dos alunos pelo uso dessa tecnologia como auxílio ao ensino, mas também ressaltaram a importância das aulas teóricas sobre o equipamento, necessárias para manusear bem o *software*.

Tabela 2. Exemplos de respostas à Pergunta dissertativa do formulário de avaliação do *software* como ferramenta educacional.

23. DÊ SUA OPINIÃO DE EXPERIÊNCIA PESSOAL COM O USO DO SOFTWARE. VOCÊ ACREDITA QUE O USO DESTA TIPO DE FERRAMENTA AUMENTA A APRENDIZAGEM?

Exemplos de respostas:

- “Sim, acho que é uma boa alternativa pra resolução mais rápida dos problemas propostos em alguns exercícios, porém é necessário ter conhecimento prévio do que se trata. Muito interessante!”
- “Sim é possível que o uso deste tipo de ferramenta aumente o aprendizado, porem depende do interesse do aluno.”
- “O *software* agrega no aprendizado, porém é necessário entender a teoria antes. Facilita nos cálculos e é mais rápida a resolução, não se torna algo maçante. Mas é necessário entender o porquê dos valores no programa, e o sentido físico do resultado.”
- “O *software* é bastante intuitivo apresentando dificuldade apenas na inserção dos valores onde ora se pede vírgula ora se pede ponto para separação de casas decimais. O uso de *softwares* ajuda a conciliar a resolução de exercícios com a teoria, sendo uma opção de resolução mais rápida e interativa.”
- “É uma forma mais dinâmica de aprendizagem. É um *software* muito bom.”
- “Acredito que o *software* agrega muito ao conhecimento que aprendemos em sala, é uma maneira interativa, gostei muito.”
- “Teve alguns momentos que o *software* parou de funcionar, acredito que seja por causa que inseri alguns números aleatórios.”

Isso aconteceu principalmente com a parte 1 (Dimensionar o raio de uma centrífuga). As outras partes acredito que rodou bem, mesmo com alguns números aleatórios. Um ponto de melhoria: colocar um aviso de que não dá para dimensionar com os valores inseridos.”

- “Muito interessante a proposta, pois nos permite ter noção, de forma rápida e eficiente, de como as variáveis interferem no dimensionamento e em condições de operações, facilitando a compreensão física do equipamento.”
- “Aumenta, facilita e ajuda com certificação de resultados. Quanto à experiência com o *software*, acho importante mencionar que o baixei tanto no celular quanto no computador.

A maioria das críticas negativas foi quanto ao uso de ponto e vírgula como separador decimal, problema já sanado, e a erros que ocorreram quando os alunos colocaram valores sem fundamentação física. Por isso, acatamos a sugestão de um aluno e adicionamos uma mensagem de erro, que irá informar ao usuário que os valores informados ao *software* não estão numa escala que permite o projeto. Assim, acreditamos que esta ferramenta pode ser empregada com eficácia para reforçar a aprendizagem relacionada ao projeto e operação de centrífugas tubulares, tanto em sala de aula sob a instrução do professor, ou como atividade de reforço extraclasse.

Conclusões

A utilização de um *software* compilador orientado a objeto e a implementação de rotinas de cálculo com base em equações de projeto disponíveis na literatura permitiu desenvolver de um aplicativo intuitivo e útil para a realização de diversos cálculos de projeto relacionados à centrífugas tubulares, comumente empregadas no cenário industrial. Além disso, é possível ainda a avaliação do desempenho da separação sólido-fluido em centrífugas, por meio da grade de eficiência do equipamento nas condições operacionais desejadas.

Após o desenvolvimento do aplicativo, foram realizados alguns estudos de caso baseados em exercícios da literatura comumente ministrados nas aulas da disciplina de Operações Unitárias, curso de Engenharia Química, nos quais foi possível verificar que a ferramenta computacional desenvolvida é coerente e efetiva no fornecimento de resultados esperados teoricamente.

Em termos didáticos, o desenvolvimento deste *software* durante o curso de Operações Unitárias, proporcionou aos alunos envolvidos um maior entendimento da disciplina, se mostrando como uma ferramenta didática que ativa a criatividade do aluno, e o incentiva a empregar outras ferramentas tecnológicas na resolução de problemas ligados à engenharia

Referências

[1] D. P. Faraum Jr, , M. M. Cirino. “A utilização de tecnologias no ensino da química: um olhar para a formação inicial.” in Anais do: Encontro Nacional de Química, Florianópolis: Divisão de Ensino de Química da Sociedade Brasileira de Química, Florianópolis, SC, 2016. pp. 25-28.

[2] D. Marin, “Professores de matemática que usam a tecnologia de informação e comunicação para o ensino

superior”. 2009. 164f. Dissertação (*Mestrado em Educação Matemática*) – Instituto de Geociência e

Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

[3] S. L. Brito. “Um ambiente Multimediatizado para a construção de Conhecimento em Química,” *Química Nova na Escola*, Ituiutaba, vol. 14, no. 03, pp.13-15. 2001.

[5] G. N. Mathias, M. L. P. Bispo; C. L. C. Amaral. “Uso de tecnologias de informação e comunicação no ensino de química no ensino médio,” in Anais : *Encontro Nacional de Pesquisas em Educação e Ciências – ENPEC-7.*, 2009 Florianópolis, S.C., Florianópolis, 2009.

[6] G. M. Zilli, G. Lambert. “Desenvolvendo a educação através da robótica móvel: Uma proposta pedagógica para o ensino de engenharia”. In Anais: “*Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE*”, vol. 38., 2010, Fortaleza, **Anais...** Fortaleza, pp. 12-15, set. 2010.

[7] W. G. Silva, “Aplicando o software Winplot para o ensino de sistemas lineares,” *Revista EAD & Tecnologias digitais na educação*, Dourados, vol. 5, no. 7, pp. 110-118, 2017.

[8] S. C. S. Jucá, “A relevância dos softwares educativos na educação profissional,” *Revista Ciências e Cognição*, Rio de Janeiro, vol. 8, pp. 22-28, 2006.

[9] F. M. S. Vieira, “Avaliação de Software Educativo: Reflexões para uma Análise Criteriosa”. 1999. Disponível em: <http://www.edutecnet.com.br/Textos/Alia/MISC/edm_agali2.htm>. Acesso em: março 2007.

[10] S. C. S. Jucá, P. C. M de Carvalho, F. T. Brito, “SanUSB: software educacional para o ensino da tecnologia de Microcontroladores,” *Revista Ciências e Cognição*, Rio de Janeiro, vol. 14, pp. 134-144, 2009.

[11] A. M. Grandi “Avaliação de duas centrífugas para remoção da água superficial do café.” 2003. 78 f. Tese (*Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia mecânica*), Universidade de Viçosa, Viçosa, 2003.

[12] R. Gomide. “Operações Unitárias” in *Separações Mecânicas.* 3º volume: São Paulo: R. Gomide, 1980.

[13] R. P. Peçanha. “*Sistemas particulados: operações unitárias envolvendo partículas e fluidos.*”, 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

[14] G. Massarani. “*Fluidodinâmica em sistemas particulados*”. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2001.

[15] L. Svarovsky. “Solid-Liquid Separation.” Trad. 4 ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 2000.

[16] M. A. Cremasco. “Operações Unitárias em Sistemas Particulados”. Ed. Blucher, 2 ed. 2015.

Información de Contacto de los Autores:

Lucas Donizete da Silva

Universidade Federal do Triângulo Mineiro UFTM, Av.
Randolfo Borges , 1250, Departamento de Engenharia Química,
Bairro Univerdecidade CEP 38062-200
Uberaba, M. G.
Brasil
donizete.lucas@hotmail.com

Giselle Marcelino Lima

Universidade Federal do Triângulo Mineiro UFTM, Av.
Randolfo Borges , 1250, Departamento de Engenharia Química,
Bairro Univerdecidade CEP 38062-200
Uberaba, M. G.
Brasil
gisellemarcelinolima@gmail.com

Beatriz Cristina Silvério

Universidade Federal do Triângulo Mineiro UFTM, Av.
Randolfo Borges , 1250, Departamento de Engenharia de
Alimentos, Bairro Univerdecidade CEP 38062-200
Uberaba, M. G.
Brasil
beatriz.silverio@uftm.edu.br

Kássia Graciele dos Santos

Universidade Federal do Triângulo Mineiro UFTM, Av.
Randolfo Borges , 1250, Departamento de Engenharia Química,
Bairro Univerdecidade CEP 38062-200
Uberaba, M. G.
Brasil
kassia.santos@uftm.edu.br

Lucas Donizete da Silva

Graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM). Possui formação técnica em programação de computadores pelo IFTM. Doutorando e Mestre em Ciências pela Universidade Federal de Uberlândia.

Giselle Marcelino Lima

Graduada em Engenharia Química pela UFTM e mestranda no Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnologia (PMPIT). Técnica em Gestão Ambiental pelo IFTM. Atua como técnica em tecnologia da informação da UFTM.

Beatriz Cristina Silvério

Doutora em Ciências pela Universidade Federal de Uberlândia, atua como docente na Universidade Federal do Triângulo Mineiro em disciplinas de Fenômenos de Transportes e Operações Unitárias, e em pesquisas nas áreas de Engenharia Química.

Kássia Graciele dos Santos

Docente no curso de Engenharia Química na UFTM e atua como membro efetivo docente nos programas de Pós-Graduação PPGMQMG e PMPIT. Ganhadora do Prêmio Capes de Tese de Doutorado 2012, da área de Engenharias II.