

Uma nova abordagem para o Problema de Balanceamento de Currículo Acadêmico

Title: A new approach to the Balancing Academic Curriculum Problem

Título: Una nueva aproximación al Problema de Balanceo de Currículo Académico

Clayton Brás de Souza Lopes
Universidade Federal dos Vales
do Jequitinhonha e Mucuri
ORCID: 0000-0002-2669-6160
clayton@ufvjm.edu.br

Cristiano Grijó Pitanguí
Universidade Federal de São
João del-Rei
ORCID: 0000-0002-3961-2042
pitanguí.cristiano@ufsj.edu.br

Luciana Pereira de Assis
Universidade Federal dos Vales
do Jequitinhonha e Mucuri
ORCID: 0000-0002-7891-7172
lpassis@ufvjm.edu.br

Fabiano Azevedo Dorça
Universidade Federal de Uberlândia
ORCID: 0000-0003-3281-0246
fabianodor@ufu.br

Alessandro Vivas Andrade
Universidade Federal dos Vales
do Jequitinhonha e Mucuri
ORCID: 0000-0003-4713-5159
alessandrovivas@ufvjm.edu.br

Resumo

O Balanceamento de Currículo Acadêmico é uma alternativa de construção de percursos curriculares, com o foco no planejamento da carga de trabalho do estudante, ao atribuir disciplinas a períodos de forma balanceada, com relação ao número de créditos, e respeitando os pré-requisitos. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um modelo multiobjetivo, intitulado Balanceamento de Currículo Acadêmico com Dados de Retenção, que possui três objetivos: distribuir de forma mais homogênea os créditos entre os períodos, aproximar as disciplinas inter-relacionadas, e balancear mais adequadamente as disciplinas com índices de retenção elevados. O modelo foi transcrito utilizando um algoritmo exato de Programação Inteira Quadrática Mista, e Programação por Restrições. Devido à sua característica multi-objetivo, foi aplicado o método da Soma Ponderada na consecução das soluções, constituídas na fronteira de Pareto. Os resultados experimentais obtidos pelos testes em um currículo do ensino superior, proporcionaram melhorias significativas no equilíbrio da carga de trabalho dos estudantes. Uma ferramenta computacional que abarca o novo modelo foi desenvolvida, de modo a possibilitar a aplicação da abordagem proposta em cenários reais, favorecendo a aprendizagem e a conclusão do curso no tempo ideal. Em uma Pesquisa de Opinião realizada com estudantes e gestores, restou demonstrado o cumprimento dos objetivos da ferramenta, e a sua aplicabilidade.

Palavras-chave: Problema de Balanceamento de Currículo Acadêmico; Programação Inteira Quadrática Mista; Programação por Restrições; Método da Soma Ponderada; Fronteira de Pareto; Desenvolvimento Web.

Abstract

Academic Curriculum Balancing is an alternative for building curricular paths, with a focus on planning the student's workload, by assigning subjects to periods in a balanced way in relation to the number of credits and respecting the prerequisites. This work presents the development of a multi-objective model entitled Balancing Academic Curriculum with Subjects Failure Data, which has three objectives: distribute credits more evenly between periods, bring interrelated disciplines closer and more adequately balance disciplines with high retention. The model was transcribed using an exact Mixed Quadratic Integer Programming and Constraint Programming, and given its multi-objective feature, the Weighted Sum method was applied in the achievement of the solutions, constituted in the Pareto frontier. The experimental results obtained by tests in a higher education curriculum provided significant improvements in the balance of student workload. A computational tool that encompasses the new model was developed, in order to

enable the application of the proposed approach in real scenarios, favoring learning and completion of the course in the ideal time. In an survey carried out with students and managers, the fulfillment of the objectives of tool and its applicability remained demonstrated.

Keywords: *Balancing Academic Curriculum Problem; Mixed Integer Quadratic Programming; Constraint Programming; Weighted Sum Method; Pareto Frontier; Web Development.*

Resumen

El Equilibrio Curricular Académico es una alternativa para la construcción de trayectorias curriculares, con foco en la planificación de la carga horaria del estudiante, mediante la asignación de asignaturas por periodos de forma equilibrada en relación al número de créditos y respetando los prerrequisitos. Este trabajo presenta el desarrollo de un modelo multiobjetivo titulado Equilibrio Curricular con Datos de Fracaso en las Materias, el cual tiene tres objetivos: distribuir créditos de manera más equitativa entre periodos, acercar disciplinas interrelacionadas y equilibrar más adecuadamente disciplinas con alta retención. El modelo fue transcrito utilizando un algoritmo exacto de Programación Entera Mixta y Programación por Restricciones, y dada su característica multiobjetivo, se aplicó el método de Suma Ponderada en la obtención de soluciones, constituidas en la frontera de Pareto. Los resultados experimentales obtenidos al probar un plan de estudios de educación superior proporcionaron mejoras significativas en el equilibrio de la carga de trabajo de los estudiantes. Se desarrolló una herramienta computacional que engloba el nuevo modelo, con el fin de posibilitar la aplicación del enfoque propuesto en escenarios reales, favoreciendo el aprendizaje y culminación del curso en el tiempo ideal. En una Encuesta de Opinión realizada a estudiantes y directivos se demostró el cumplimiento de los objetivos de la herramienta y su aplicabilidad.

Palabras clave: *Problema de Equilibrio del Currículo Académico; Programación Entera Cuadrática Mixta; Programación por Restricciones; Método de Suma Ponderada; Frontera de Pareto; Desarrollo Web.*

1 Introdução

Muitas definições de sucesso da trajetória estudantil são encontradas na literatura, que variam desde o resultado de métricas que avaliam a aprendizagem, até a persistência para aquisição de conhecimento (Slim, Heileman, Kozlick, & Abdallah, 2014). Da perspectiva das instituições de ensino superior, o sucesso do estudante é medido, especialmente, pelos índices de graduação e tempo para a obtenção do diploma (Slim, 2016).

Algumas preocupações se destacam para justificar este ponto de vista, uma vez que o ensino superior é o principal suporte para o desenvolvimento das nações, as próprias instituições, que proporcionam o conhecimento, os governos, e as sociedades têm expectativas diversas.

Para as instituições, é necessário reduzir as vagas ociosas e garantir boa reputação. Os governos mensuram o investimento na educação superior pela quantidade de estudantes ingressantes (Magalhães, Silveira, Abrantes, Ferreira, & Wakim, 2010), além de despenderem recursos para a manutenção daqueles em situação de desigualdade. Por outro lado, a sociedade, onde estão inclusos os cidadãos e a indústria, aguarda a mão de obra com qualidade, quantidade, e tempo necessários (Slim, 2016).

É por meio do planejamento curricular que são realizadas intervenções para que o estudante obtenha as melhores experiências (Vasconcellos, 1995), favorecendo a sua permanência no curso e sua constituição como profissional no tempo ideal e, portanto, satisfazendo a tríade instituições, governos e sociedades.

Em um sentido prático, o currículo se materializa na lista de disciplinas, no conteúdo das áreas do saber e experiências a serem vividas pelo estudante (Saviani, 2003; Lopes & Macedo, 2017), e na grade (ou percurso) curricular como um roteiro a ser seguido, de estrutura tempo-dependente, geralmente dividida por semestres ou períodos acadêmicos (Chakradhar et al., 2019; Pinto & Ferreira, 2020).

Para que a absorção e o desenvolvimento de conhecimento sejam efetivos, é necessário que a construção de grades curriculares migre do modo primário, cunhado nas experiências dos participantes nesta tarefa, para outro que lide objetivamente com variáveis curriculares que constituam restrições e que impactam as chances do estudante atingir a graduação (Mendez, Ochoa, Chiluita, & De Wever, 2014; Slim, 2016).

Neste contexto, a carga de trabalho do estudante é destacada por Kember (2004) como uma variável de currículo que impacta no progresso do estudante (Rubio et al., 2013). G. Silva, Stroele, Dantas, & Campos (2019) destacam que a sobrecarga de trabalho interfere negativamente no desenvolvimento estudantil, à medida que dificulta a absorção de conteúdo e a formação do conhecimento. Em contrapartida, Ramsden & Entwistle (1981) e Chambers (1992) indicam que a carga de trabalho curricular adequada induz a uma abordagem de aprendizagem profunda (Biggs, 1987; Entwistle & Tait, 1990), quando o estudante faz reflexões e relações de conteúdo. Contudo, quando excessiva, incorre em uma abordagem superficial (Biggs, 1987; Entwistle & Tait, 1990), onde a aprendizagem ocorre passivamente, sem motivação, denotando um ambiente de aprendizagem insatisfatório. Bowyer (2012) aponta a excessiva carga de trabalho do estudante como um fator estressante e que dificulta a gestão do tempo, culminando, por vezes, no abandono do curso.

No sentido de se reduzir os efeitos da sobrecarga curricular, Castro & Manzano (2001) apresentaram o Problema de Balanceamento de Currículo Acadêmico (BACP - *Balancing Academic Curriculum Problem*), um problema de otimização classificado como NP-Difícil (Chiarandini, Di Gaspero, Gualandi, & Schaerf, 2012), que consiste em atribuir as disciplinas aos períodos, distribuindo o número de créditos o mais uniformemente possível, respeitando os pré-requisitos, e contribuindo, portanto, para que o estudante possa fazer uso mais eficiente de seus esforços.

Por considerar que, além da carga horária ou número de créditos, outras variáveis são importantes quando se avalia a possível percepção de carga de trabalho do estudante, este trabalho propõe um novo modelo do BACP, denominado Balanceamento de Currículo Acadêmico com Dados de Retenção (BACF - *Balancing Academic Curriculum With Subjects Failure Data*). O problema proposto utiliza índices históricos de retenção de estudantes nas disciplinas. O BACF visa, simultaneamente, balancear a carga de créditos, aproximar disciplinas inter-relacionadas e distribuir disciplinas com elevados índices de retenção ao longo dos períodos acadêmicos, levando em consideração os pré-requisitos e demais restrições pedagógicas. O BACF emprega o método da Soma Ponderada e, conseqüentemente, seus resultados são constituídos na fronteira de Pareto.

Paralelamente, este trabalho apresenta um *software* denominado Curricular, que abarca o BACF. O Curricular possui interfaces para a geração e manutenção de grades curriculares balanceadas e padronizadas, a serem implementadas nos cursos, ou personalizadas, que proporcionam ao estudante, a cada período, o conjunto e sequenciamento de disciplinas que melhor se adequam ao seu perfil.

Portanto, este trabalho apresenta os seguintes questionamentos: o BACF é capaz de construir uma grade curricular otimizada que forneça um indicativo de melhoria nas cargas de trabalho do

estudante? Como as disciplinas com índices de retenção elevados se distribuem, nas soluções geradas pela modelagem que negligencia este critério, em comparação com as distribuições nas soluções geradas pelo BACF? O Curricular é aplicável a cenários reais, dado o potencial impacto na trajetória acadêmica estudantil?

Para obtenção de respostas aos questionamentos, apresenta-se uma análise dos resultados que demonstram a influência dos pesos, e a relação entre os critérios que representam os objetivos a serem otimizados. A relevância de cada critério é destacada em um contexto real. O modelo é validado a partir de uma grade curricular de um curso de graduação em Sistemas de Informação de uma universidade pública brasileira. Por fim, visando verificar a aplicabilidade do Curricular, realizou-se uma Pesquisa de Opinião após testes do *software* em um ambiente acadêmico.

Vale destacar que, no Brasil, as estruturas curriculares do ensino superior e básico são distintas, definidas de acordo com seus objetivos, carga horária, conteúdos e metodologias, que devem se adequar às suas respectivas etapas de formação. Este trabalho foca nas estruturas curriculares do ensino superior, onde o curso é dividido em semestres (ou períodos) e cada semestre tem associado um conjunto de disciplinas. As disciplinas possuem um número de créditos que refletem o número de horas/aula semanais. Neste sentido, qualquer curso que tenha características semelhantes, como os cursos técnicos dos institutos federais, pode-se beneficiar do sistema proposto para obtenção de currículos com disciplinas mais bem distribuídas ao longo do curso.

2 Trabalhos Correlatos

Considerando a importância do balanceamento de currículo acadêmico, Brás, Assis, Vivas, Pitanguí, & Dorça (2023) realizaram uma revisão sistemática da literatura sobre o tema. Os autores utilizaram os métodos encontrados em Kitchenham & Charters (2007) para o desenvolvimento do trabalho, aplicando-os sobre os repositórios Scopus¹, ACM Digital Library², Semantic Scholar³, Directory of Open Access Journal⁴, ScienceDirect⁵, Springer Link⁶, IEEE Xplore⁷ e Engineering Village⁸, sob o argumento de suas relevâncias na disponibilização de trabalhos na área de Informática na Educação. A pesquisa adotou como critérios de inclusão, trabalhos publicados em eventos ou revistas, a partir de 2001, visto que o primeiro trabalho sobre o tema ocorreu nesse ano. Trabalhos não escritos em inglês, português e espanhol, bem como não inseridos no tema de balanceamento de currículo acadêmico, foram desconsiderados. Como resultado, aprofundaram os estudos em 14 trabalhos, e apontaram a existência de um baixo volume de publicações sobre o problema, além da falta de ferramentas computacionais para auxílio a gestores educacionais e estudantes na construção de percursos curriculares. Estes trabalhos, em conjunto a Rubio, Vidal-Silva, Carter, & Tupac-Yupanqui (2021) e Yin et al. (2023), os dois mais atuais sobre o tema, serão brevemente apresentados a seguir.

¹ Scopus <https://www.scopus.com>

² ACM Digital Library <https://dl.acm.org>

³ Semantic Scholar <https://www.semanticscholar.org>

⁴ Directory of Open Access Journals <https://doaj.org>

⁵ ScienceDirect <https://www.sciencedirect.com>

⁶ Springer Link <https://link.springer.com>

⁷ IEEE Xplore <https://ieeexplore.ieee.org>

⁸ Engineering Village <https://www.engineeringvillage.com>

Castro & Manzano (2001) apresentaram a primeira formulação do BACP, com aplicação a três instâncias de referência do CSPLib (Jefferson, Miguel, Hnich, Walsh, & Gent, 1999), utilizando programação por restrição e programação inteira. O trabalho de Hnich, Kiziltan, & Walsh (2002) comparou diferentes modelos do BACP que utilizaram esses métodos.

Alguns trabalhos apresentam variações do problema que se diferem pelos critérios e restrições incorporadas. Rosas-Tellez, Martínez-Flores, & Zanella-Palacios (2011) incluíram a possibilidade de indicar previamente o período que algumas disciplinas devem ser inseridas. Por outro lado, Gaspero & Schaerf (2008) e Chiarandini et al. (2012) incluíram as preferências do professor ao buscar um currículo acadêmico balanceado. Ünal & Uysal (2014) incorporaram ao modelo, informações de pré-requisitos e relacionamento entre disciplinas, uma vez que estas devem estar em períodos próximos. Os autores nomearam o modelo de resolução do BACP como Balanceamento de Currículo Baseado em Relacionamento (RBCB - *Relevance Based Curriculum Balancing*). Com uma proposta similar, Slim, Heileman, Lopez, Yusuf, & Abdallah (2015) apresentaram o Balanceamento de Currículo Baseado na Crucialidade (CBCB - *Crucial Based Curriculum Balancing*) que visa equilibrar o currículo concomitantemente à redução dos caminhos necessários para que um curso seja concluído no tempo ideal.

Por ser classificado como um problema NP-Difícil, alguns autores propuseram métodos baseados em meta-heurísticas como Algoritmo Genético (Lambert, Castro, Monfroy, & Saubion, 2006; Castro, Crawford, & Monfroy, 2009; Chakradhar et al., 2019; Villalobos-Cid, Orellana, Vasquez, Pinto-Sothers, & Inostroza-Ponta, 2019), Colonia de Formigas (Rubio et al., 2013), Algoritmos dos Vaga-lumes (Rubio, Soto, Jorquera, Aguilera, & Vidal, 2018; Rubio et al., 2021; Yin et al., 2023) e outros baseados em busca local (Monette, Deville, Dupont, Deville, & Dupont, 2007; Gaspero & Schaerf, 2008).

As instâncias da CSPLib foram utilizadas pela maioria dos trabalhos para avaliar os métodos propostos. Alguns deles, Ünal & Uysal (2014); Slim et al. (2015); Rubio et al. (2018); Villalobos-Cid et al. (2019), utilizaram dados reais, e, ainda, Chiarandini et al. (2012); Rubio et al. (2013, 2018, 2021); Yin et al. (2023) analisaram seus modelos com ambos os tipos de dados. Os trabalhos correlatos a presente pesquisa estão sintetizados na Tabela 1.

O BACF, modelo desenvolvido neste trabalho, agrega diferentes critérios de otimização e restrições dispersos nos modelos encontrados nos trabalhos relacionados. Um dos critérios, refere-se ao balanceamento da carga de créditos e restrições advindas do modelo proposto no trabalho de Castro & Manzano (2001), base para todos os demais estudos. Outro critério, visa reduzir a distância entre disciplinas inter-relacionadas ao longo dos períodos acadêmicos, como proposto no modelo RBCB de Ünal & Uysal (2014). Há, ainda, a incorporação da restrição de fixação de disciplinas em períodos específicos, idealizada por Rosas-Tellez et al. (2011).

Objetivando-se desenvolver um modelo que se aproximasse ainda mais aos cenários reais, foi possível promover uma modelagem mais abrangente. Verifica-se, em todas as abordagens apresentadas, que as validações são realizadas, com resultados positivos, quando a carga de créditos é balanceada ao longo dos períodos acadêmicos, porém, sem oferecer coerências nas localizações das disciplinas. Neste sentido, é implementado no BCAF uma restrição que define um período limite para a localização de disciplinas que pertençam a um ciclo básico. Assim, caso um determinado currículo preveja que algumas disciplinas são básicas para o desenvolvimento do conhecimento das demais, necessitando-se, portanto, que estas se situem até um período pré-

Tabela 1: Síntese dos trabalhos correlatos.

Autor	Problema	Método	Dados	Software
Castro & Manzano (2001)	BACP	Programação Inteira Programação por Restrição	CSPLib	Não
Hnich et al. (2002)	BACP	Programação Inteira Programação por Restrição	CSPLib	Não
Lambert et al. (2006)	BACP	Algoritmo Genético Programação Inteira	CSPLib	Não
Monette et al. (2007)	BACP	Busca Local Programação Inteira	CSPLib	Não
Gaspero & Schaerf (2008)	BACP Preferência docente	Programação Inteira	Reais	Não
Castro et al. (2009)	BACP	Algoritmo Genético Busca Local	CSPLib	Não
Rosas-Tellez et al. (2011)	BACP Disciplina em um período específico	Algoritmo Genético	CSPLib	Não
Chiarandini et al. (2012)	BACP Preferência docente	Busca Local Programação Inteira	Reais	Não
Rubio et al. (2013)	BACP	Colônia de Formigas	CSPLib Reais	Não
Ünal & Uysal (2014)	Balanciamento de Currículo Baseado em Relacionamentos	Programação Inteira Quadrática Mista Relaxação Lagrangeana	Reais	Não
Slim et al. (2015)	Balanciamento de Currículo Baseado na Crucialidade	Programação Inteira	Reais	Não
Rubio et al. (2018)	BACP	Algoritmo dos Vaga-lumens	CSPLib e Reais	Não
Chakradhar et al. (2019)	BACP	Algoritmo Genético	CSPLib e Reais	Não
Villalobos-Cid et al. (2019)	BACP	Algoritmo Genético Programação Inteira Quadrática	Reais	Não
Rubio et al. (2021)	BACP	Algoritmo dos Vaga-lumens	CSPLib e Reais	Não
Yin et al. (2023)	BACP	Algoritmo dos Vaga-lumens Busca Local	CSPLib e Reais	Não

definido da grade curricular, o modelo proposto permite que esta parametrização seja realizada e que o balanceamento ocorra respeitando-se esta restrição.

Embora o RBCB gere grades curriculares, especialmente visando a aproximação de disciplinas inter-relacionadas, a estratégia de manutenção da coerência da localização de disciplinas neste trabalho diferencia-se daquela empregada por Ünal & Uysal (2014). No RBCB, para garantir a coerência das atribuições das disciplinas, é sempre necessário acessar a matriz $D_{n \times n}$ de distância entre os períodos. Abaixo da diagonal principal da matriz são atribuídos valores exorbitantes, no caso o valor 100, de modo a penalizar uma grade curricular construída sem respeitar a regra. No BACF, um parâmetro é definido, representando a distância mínima que deve haver entre disciplinas inter-relacionadas. A associação do parâmetro a uma restrição, impede que uma disciplina se localize em período posterior ao da qual é dependente, sendo uma estratégia mais simplificada e eficiente do que aquela empregada por Ünal & Uysal (2014), impedindo que o modelo gere soluções inviáveis quanto a este objetivo.

Dentre os estudos da literatura, é notório que o índice de retenção das disciplinas seja negligenciado. Dados não são utilizados de modo a permitir que as grades curriculares sejam geradas observando-se indicadores de complexidade de disciplinas, culminando com a possibilidade daquelas que, historicamente, possuem elevados índices de retenção, localizem-se no mesmo período, o que desfavorece o estudante, pois tarefas difíceis implicam na percepção de sobrecarga de trabalho (E. Silva, Franco, Ferro, & Fidalgo, 2019). Assim, este trabalho se destaca pelo desenvolvimento de um terceiro e novo objetivo de balanceamento, incorporando dados históricos de índices de retenção, que visa impedir, o quanto possível, a localização de disciplinas em um mesmo período, quanto maiores forem seus índices de retenção.

Neste trabalho, são implementados métodos exatos, quais sejam Programação Inteira Quadrática Mista, e Programação por Restrições. Ressalta-se que o modelo é multi-objetivo, com três

critérios de balanceamento, sendo um deles representado por uma função quadrática, o que já o torna mais complexo e difícil de resolver. Como o BCAF utiliza a Programação por Restrições como uma de suas técnicas de otimização, ao adicionarem-se outras importantes restrições adequadas a cenários reais, e ordenadas de modo a usufruir dos benefícios da técnica, a redução do domínio de busca promoveu eficiência ao modelo, gerando soluções ótimas em tempo viável.

Quanto aos dados utilizados, o BCAF utiliza-se de dados históricos de desempenho dos estudantes para tornar possível a consistência dos resultados em um de seus critérios de otimização, sendo uma abordagem completamente nova na literatura. Este é um indicativo de que outros dados curriculares podem ser utilizados em outros objetivos de balanceamento, trazendo coerência e consistência para o desenvolvimento curricular.

Em se tratando da disponibilização de interfaces para que usuários construam grades em ambientes acadêmicos, não foi encontrada nenhuma ferramenta, limitando os trabalhos à apresentação apenas dos modelos de balanceamento de grades curriculares. Um dos resultados desta pesquisa, é a disponibilização de um *software*, o Curricular, capaz de gerar grades curriculares balanceadas a serem fornecidas pelos cursos, como um caminho ideal para a obtenção do diploma. Dificuldades inerentes aos estudantes, tais como, conciliação de trabalho com os estudos, problemas pessoais, participação em projetos acadêmicos que demandam muito tempo e esforços, dificuldades em disciplinas, reprovações, dentre outros, impactam os desejos do estudante. Em que pese o fato de que a grade curricular recomendada pelo curso possa oferecer uma possível melhor trilha a ser seguida pelo estudante, conforme sublinha (Lima, Silva, & Silva, 2019), por vezes ela nem sempre pode ser estritamente seguida. Estes motivos, correntemente, acarretam na formatação de grades curriculares incoerentes, com disciplinas que deveriam estar nos períodos iniciais, estando localizadas nos períodos finais do curso, ordens e distâncias aleatórias de disciplinas inter-relacionadas e, efetivamente, no desbalanceamento da carga de trabalho. Considerando este contexto, o Curricular foi modelado, pois fornece também um meio para que sejam construídos caminhos personalizados, sem no entanto descuidar da carga de trabalho, essência que rege o campo do balanceamento de currículo acadêmico.

Em que pese as abordagens da literatura terem sido validadas, uma importante limitação é verificada nesses trabalhos. Considerando as utilizações dos modelos em cenários reais, quando do balanceamento de uma grade curricular, estes geram, cada um, apenas uma solução ótima ou uma boa solução, limitando os modelos como suportes à decisão, ao não finalizar o balanceamento com outras soluções candidatas a oferecer um bom caminho a ser percorrido pelo estudante. Assim, não é apresentada ao tomador de decisão a possibilidade de definir a priorização de um critério de balanceamento. Embora a solução apresentada forneça um equilíbrio da carga de créditos e bons resultados para os demais critérios, a realidade do tomador de decisão pode exigir um melhor resultado de um critério, mesmo que seja em detrimento de outro que ainda poderá ter um valor aceitável. O que é mais importante? Equilibrar créditos e/ou manter uma grade com as disciplinas inter-relacionadas mais próximas, e/ou balancear a grade de acordo com índices de retenção? Diferentemente dos demais trabalhos relacionados, a presente pesquisa fornece uma abordagem capaz de apoiar a tomada de decisão curricular, entregando um conjunto de soluções geradas pela ponderação de critérios de otimização de forma diferenciada.

O balanceamento de currículo acadêmico é um tema muito relevante, dada a necessidade de construção de percursos curriculares que promovam uma aprendizagem efetiva, e a conclusão do curso em tempo ideal. Entretanto, é possível identificar a escassez de trabalhos relacionados

e, inclusive naqueles resgatados pela revisão da literatura, não foi encontrado nenhum que aborde o tema no Brasil, sendo este o primeiro trabalho nacional sobre o balanceamento de currículo acadêmico. Somadas a isso, as estruturas das abordagens anteriores, em sua grande maioria, negligenciam outros objetivos a serem alcançados para reduzir a sobrecarga de trabalho estudantil.

3 BACF: Balanceamento de Currículo Acadêmico com Dados de Retenção

Conforme Chiarandini et al. (2012), existem outros critérios atrelados aos cenários reais que podem ser usados em formulações do BACP. O BACF é uma nova modelagem multiobjetivo que surge como uma alternativa para compor o planejamento curricular ao balancear a carga de trabalho do estudante. O modelo tem por objetivos minimizar:

- (a) número máximo de créditos por período (Castro & Manzano, 2001);
- (b) distância entre disciplinas inter-relacionadas (Ünal & Uysal, 2014);
- (c) acumulado dos índices de retenção por período.

Conforme E. Silva et al. (2019), tarefas difíceis implicam em maior carga de trabalho para o estudante e, portanto, a incorporação do terceiro critério deve-se à percepção de que o índice de retenção é um indicativo de dificuldades enfrentadas em uma disciplina, constituindo-se em um fator relevante, mas não explorado na literatura do balanceamento de currículo acadêmico. A utilização de dados históricos de retenções em disciplinas permite a geração de resultados de balanceamento consistentes ao considerar o desempenho de estudantes quando do desenvolvimento de grades curriculares.

O BACF é um modelo de Programação Inteira Quadrática Mista e Programação por Restrições, construído agregando a modelagem do BACP, incorporando um objetivo e uma restrição, respectivamente dos trabalhos de Ünal & Uysal (2014) e Rosas-Tellez et al. (2011), e criando uma nova função objetivo e diversas outras restrições. A modelagem matemática do BACF é apresentada a seguir, sendo destacados os parâmetros, restrições e funções objetivo incorporados, bem como todos aqueles exclusivos do novo modelo proposto.

- **Parâmetros incorporados:**

- Castro & Manzano (2001):

- * m : número de disciplinas.
- * n : número de períodos acadêmicos.
- * α_i : número de créditos de uma disciplina i , $\forall i = 1, \dots, m$.
- * β : carga mínima acadêmica permitida por período.
- * γ : carga máxima acadêmica permitida por período.
- * ε : número máximo de disciplinas por período.

- Ünal & Uysal (2014):
 - * r_{iq} : elemento da matriz R_{mxm} contendo o nível de relação entre as disciplinas i e q .
 - * d_{jk} : elemento da matriz D_{nxn} contendo a distância entre os períodos j e k .
- **Parâmetros exclusivos:**
 - pl : período acadêmico limite para atribuição de disciplinas do ciclo básico.
 - $dmax_y$: distância mínima permitida, quando o nível de relação é y , entre disciplinas i e u .
 - $dmax_{pr}$: distância máxima permitida entre um pré-requisito e uma disciplina dependente.
 - ir_i : índice de retenção (porcentagem) da disciplina i .
 - pl : período acadêmico limite para atribuição de disciplinas do ciclo básico.
 - $dmax_y$: distância mínima permitida, quando o nível de relação é y , entre disciplinas i e u .
 - $dmax_{pr}$: distância máxima permitida entre um pré-requisito e uma disciplina dependente.
 - ir_i : índice de retenção (porcentagem) da disciplina i .
- **Variáveis de decisão incorporadas:**
 - Castro & Manzano (2001):
 - * $x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se a disciplina } i \text{ está atribuída ao período } j; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$
 - * c_j : carga acadêmica do período j , $\forall j = 1, \dots, n$.
 - * c : carga máxima acadêmica entre todos os períodos.
- **Variável de decisão exclusiva:**
 - ir : maior acumulado dos índices de retenção das disciplinas entre todos os períodos.
- **Funções objetivo incorporadas:**
 - Castro & Manzano (2001):
 - *

$$\text{Minimizar } c = \text{Max}\{c_1, \dots, c_n\} \quad (1)$$
 - Ünal & Uysal (2014):
 - *

$$\text{Minimizar } cl = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{q=1}^m r_{iq} d_{ij} x_{ij} x_{qk} \quad (2)$$
- **Função objetivo exclusiva:**

–

$$\text{Minimizar } ir = \text{Max}\{ir_1, \dots, ir_n\} \quad (3)$$

• **Restrições incorporadas:**

– Castro & Manzano (2001):

* Definição da carga acadêmica:

$$c_j = \sum_{i=1}^m \alpha_i x_{ij}, \forall j = 1, \dots, n \quad (4)$$

* Toda disciplina i deve estar atribuída a apenas um período j :

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \forall i = 1, \dots, m \quad (5)$$

* Uma disciplina i tem uma disciplina u como pré-requisito:

$$x_{ij} \leq \sum_{r=1}^{j-1} x_{ur} = 1, \forall j = 2, \dots, n \quad (6)$$

* A carga de um período j deve ser sempre menor ou igual à maior carga:

$$c_j \leq c, \forall j = 1, \dots, n \quad (7)$$

* A carga de um período j deve ser maior ou igual ao mínimo requerido:

$$c_j \geq \beta, \forall j = 1, \dots, n \quad (8)$$

* A carga de um período j deve ser menor ou igual ao máximo requerido:

$$c_j \geq \gamma, \forall j = 1, \dots, n \quad (9)$$

* O número de disciplinas de um período j deve ser maior ou igual ao mínimo requerido:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq \delta, \forall j = 1, \dots, n \quad (10)$$

* O número de disciplinas de um período j deve ser menor ou igual ao máximo requerido:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq \varepsilon, \forall j = 1, \dots, n \quad (11)$$

– Rosas-Tellez et al. (2011):

* Disciplina i deve ser atribuída a um período j , caso exista regra pedagógica que assim estabeleça:

$$x_{ij} = 1, i \in 1, \dots, m; j \in 1, \dots, n \quad (12)$$

• **Restrições exclusivas:**

- Disciplina i deve ser atribuída até um período limite pl , caso exista regra pedagógica que assim estabeleça:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}pl \leq pl, i \in 1, \dots, m \quad (13)$$

- O índice de retenção de um período deve ser sempre menor ou igual ao maior índice entre todos os períodos:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij}ir_i \leq ir, \forall j = 1, \dots, n \quad (14)$$

- Disciplina i , com nível de relação y com disciplina u , deve estar, no mínimo, $dmax_y$ períodos antes de u :

$$\left(\sum_{k=1}^n x_{uk}k - \sum_{j=1}^n x_{ij}j \right) \geq dmax_y, \quad \forall i = 1, \dots, m; \quad \forall u = 1, \dots, m \quad (15)$$

- Disciplina i , sendo pré-requisito da disciplina u , deve estar, no máximo, $dmax_{pr}$ períodos antes de u :

$$\left(\sum_{k=1}^n x_{uk}k - \sum_{j=1}^n x_{ij}j \right) \leq dmax_{pr}, \quad \forall i = 1, \dots, m; \quad \forall u = 1, \dots, m \quad (16)$$

As três funções objetivo do BACF são apresentadas a seguir, sendo a primeira originada da formulação do BACP, de Castro & Manzano (2001), a segunda originada do RCB, de Ünal & Uysal (2014), e a terceira caracterizada pela modelagem proposta.

• **Funções objetivo do BACF:**

$$Minimizar = \begin{cases} c = Max\{c_1, \dots, c_n\}, \\ cl = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{q=1}^m r_{iq}d_{iq}x_{ij}x_{qk}, \\ ir = Max\{ir_1, \dots, ir_n\} \end{cases} \quad (17)$$

- c : maior carga de créditos entre todos os períodos (Castro & Manzano, 2001).
- cl : somatório dos produtos da pontuação de relacionamento entre as disciplinas e suas distâncias ao longo dos períodos acadêmicos (custo do *layout*) (Ünal & Uysal, 2014).
- ir : maior acumulado dos índices de retenção das disciplinas entre todos os períodos.

Observando-se a modelagem do BACF, podem ser verificadas suas características exclusivas. Embora o balanceamento possa ser alcançado, é fundamental garantir a coerência na atribuição das disciplinas aos períodos. Algumas disciplinas podem ser classificadas como de ciclo básico (ou básicas, ou fundamentais), sendo desejável (ou até necessário) que sejam posicionadas em períodos acadêmicos iniciais. A restrição representada pela equação 13 associada ao parâmetro pl garante que estas disciplinas sejam atribuídas até um período pré-determinado.

Por meio da restrição representada na equação 15 e pelo parâmetro $dmax_y$, o BACF possibilita a coerência da localização de disciplinas que possuam alguma pontuação de relacionamento, impedindo que uma disciplina seja atribuída a um período acadêmico posterior ao qual a disciplina dependente foi inserida.

A flexibilidade de definição da distância entre disciplinas com relações de pré-requisitos é realizada pela restrição da equação 16 associada ao parâmetro $dmax_{pr}$. Assim, é permitida a tentativa de construção de grades curriculares balanceadas em que um pré-requisito não esteja muito distanciado de suas disciplinas dependentes, sendo possível que estas disciplinas estejam localizadas, idealmente, em períodos acadêmicos adjacentes.

A equação 14 gera a restrição que é conjugada com a variável contínua ir . A variável de decisão adicional ir é aquela que representa uma das funções objetivo do BACF. Portanto, é por meio desta restrição que são garantidas as reduções dos valores de ir , e o respectivo balanceamento da grade curricular neste critério que compõe o conjunto de funções objetivo do BACF representado na equação 17.

4 Materiais e Métodos

O trabalho Castro & Manzano (2001) implementou o modelo utilizando as técnicas de Programação Inteira e Programação por Restrições. Considerando que o BACF estende a primeira formulação do BACP, incorpora uma função objetivo quadrática do RCB e cria uma nova função objetivo representada por uma variável contínua, esta nova modelagem é implementada por meio de Programação Inteira Quadrática Mista combinada com Programação por Restrições.

Para solucionar um modelo multiobjetivo, existem diversos métodos exatos que possibilitam transformar uma modelagem com múltiplos objetivos, em outra mono-objetivo. Dentre estas, destaca-se o método da Soma Ponderada (Grodzevich & Romanko, 2006), que foi utilizado neste trabalho. Este método constrói uma única função pela soma das funções objetivo, em que os critérios definidos são multiplicados por coeficientes de ponderação (Grodzevich & Romanko, 2006).

Uma vez que os critérios do BACF possuem diferentes magnitudes, com valores que variam da casa das centenas, como o critério de créditos, até a casa de milhares, como o custo do *layout*, suas normalizações foram realizadas a partir dos pontos *Utopia* e *Nadir* (Grodzevich & Romanko, 2006), garantindo a consistência das soluções.

Com o método da Soma Ponderada e a normalização dos critérios, a função objetivo é apresentada na equação 18:

$$\text{Minimize } p_c \left(\frac{c - Z_c^U}{Z_c^N - Z_c^U} \right) + p_{cl} \left(\frac{cl - Z_{cl}^U}{Z_{cl}^N - Z_{cl}^U} \right) + p_{ir} \left(\frac{ir - Z_{ir}^U}{Z_{ir}^N - Z_{ir}^U} \right) \quad (18)$$

onde p_c , p_{cl} e p_{ir} referem-se aos pesos dos critérios de créditos (c), custo do *layout* (cl) e índices de retenção (ir), respectivamente.

O conjunto de soluções deve ser constituído, então, por grades curriculares que, em ao

menos um dos critérios de balanceamento, não foi melhorada por nenhuma outra. Dada a característica multiobjetivo do BACF, a investigação dos resultados gerados pauta-se na formação da fronteira de Pareto, originada a partir do método da Soma Ponderada empregado no modelo.

O modelo matemático do BACF foi implementado computacionalmente e teve os resultados gerados com a utilização do *solver* Gurobi[®] (Gurobi, 2022), e suporte da linguagem de programação Python (Van Rossum & Drake, 2011).

Para avaliação da abordagem proposta neste trabalho, foram utilizados dados regulamentares, e de retenção publicizados de um curso de Sistemas de Informação (SI), de uma universidade pública brasileira. Este curso adota o sistema de créditos, e é composto por 9 períodos, 80 disciplinas, resultando em um total de 178 créditos. Dividindo-se estes créditos pelos 9 períodos, tem-se uma média de 19,77 créditos por período, sem considerar ou tratar as restrições do problema. O curso utiliza o sistema de créditos associados à sua carga horária. O regulamento do cursos analisado define que um crédito equivale a quinze horas de atividades acadêmicas (?), teóricas ou práticas. O mesmo regulamento estabelece que a carga de créditos mínima e máxima são de 4 e 36 créditos, respectivamente, e o número mínimo e máximo que um estudante deve se matricular são de 2 e 10 disciplinas, respectivamente.

Dentre as 80 disciplinas, 48 são obrigatórias, sendo as demais consideradas eletivas. Pela ausência de padronização na oferta dessas últimas na grade do curso, as mesmas não foram utilizadas neste estudo. Não fazem parte do trabalho, também, as disciplinas Atividades Complementares e Estágio Supervisionado. Assim, ao final, totalizaram-se 46 disciplinas consideradas nesse trabalho. Além dos créditos, foram utilizados dados históricos de 12 anos (2008 a 2019) de índices de retenção associados às disciplinas utilizadas no estudo.

Duas matrizes foram utilizadas, definidas de acordo com Ünal & Uysal (2014): a primeira, $D_{n \times n}$, representa as distâncias entre os períodos, e a segunda, $R_{m \times m}$, armazena as pontuações de relacionamentos entre as disciplinas, com valores que variam entre 1 e 9, se houver relação, e 0, caso contrário. Estas pontuações foram definidas a partir de opiniões de especialistas. A Tabela 2 apresenta, a partir de dados do curso, as somas e seus valores máximos, por período, dos créditos (c) e os acumulados de índices de retenção (ir), e a soma dos produtos da distância pela relação entre cada par de disciplinas (ou custo do *layout*) (cl), representando o estado atual de balanceamento da grade curricular.

Tabela 2: Créditos e acumulados de índices de retenção por período, seus valores máximos, e o custo do *layout* da grade curricular.

1º período		2º período		3º período		4º período		5º período		6º período	
$\sum c_i$	$\sum ir_i$										
19	160	24	271	24	233	21	129	24	111	22	97
7º período		8º período		9º período		c	ir (%)	cl			
$\sum c_i$	$\sum ir_i$	$\sum c_i$	$\sum ir_i$	$\sum c_i$	$\sum ir_i$	24	271	1082			
17	33	19	49	8	63						

5 Resultados

A Tabela 3 apresenta os pontos da fronteira de Pareto, as médias de cada critério, e o tempo computacional, resultantes da aplicação do modelo BACF. Inicialmente, é importante destacar que, o tempo computacional para a obtenção de resultados revela a eficiência do modelo, considerando a

possibilidade de emprego do BACF em cenários reais, quando podem ser tomadas decisões mais assertivas em configurações de grades curriculares. Sob esta ótica, aponta-se que o tempo demandado para o balanceamento da grade foi de apenas 246,99 segundos. Portanto, embora a utilização da Programação Inteira Quadrática Mista eleve a complexidade do modelo, o uso da Programação por Restrições restringe consideravelmente o espaço de busca.

Tabela 3: Dados da fronteira de Pareto gerada.

<i>c</i>	<i>ir (%)</i>	<i>cl</i>	<i>p_c</i>	<i>p_{ir}</i>	<i>p_{cl}</i>	<i>c</i>	<i>ir (%)</i>	<i>cl</i>	<i>p_c</i>	<i>p_{ir}</i>	<i>p_{cl}</i>	<i>c</i>	<i>ir (%)</i>	<i>cl</i>	<i>p_c</i>	<i>p_{ir}</i>	<i>p_{cl}</i>	Média <i>c</i>	Média <i>ir (%)</i>	Média <i>cl</i>	CPU (s)
36	220	373	0,0	0,0	1,0	22	155	424	0,2	0,2	0,6	20	156	561	0,6	0,1	0,3	21	145	723	246,99
36	155	388	0,0	0,1	0,9	22	155	424	0,1	0,2	0,7	20	156	561	0,3	0,2	0,5				
36	152	407	0,0	0,2	0,8	22	155	424	0,1	0,1	0,8	20	156	561	0,3	0,2	0,5				
36	135	557	0,0	0,5	0,5	22	130	868	0,2	0,6	0,2	20	140	793	0,4	0,2	0,4				
36	135	557	0,0	0,4	0,6	22	129	985	0,2	0,8	0,0	20	138	835	0,8	0,1	0,1				
36	135	557	0,0	0,3	0,7	22	129	985	0,2	0,7	0,1	20	138	835	0,7	0,2	0,1				
36	129	747	0,0	0,8	0,2	21	135	766	0,2	0,4	0,4	20	138	835	0,5	0,3	0,2				
36	129	747	0,0	0,7	0,3	20	196	421	0,5	0,0	0,5	20	138	835	0,4	0,4	0,2				
36	129	747	0,0	0,6	0,4	20	172	457	0,4	0,1	0,5	20	138	835	0,3	0,4	0,3				
36	128	868	0,0	1,0	0,0	20	172	457	0,4	0,1	0,5	20	136	973	0,3	0,5	0,2				
36	128	868	0,0	0,9	0,1	20	172	457	0,2	0,1	0,7	20	136	973	0,3	0,6	0,1				
24	139	515	0,1	0,3	0,6	20	172	457	0,2	0,1	0,7	20	136	973	0,4	0,5	0,1				
24	135	579	0,1	0,4	0,5	20	157	552	0,5	0,1	0,4	20	136	973	0,4	0,6	0,0				
23	129	836	0,1	0,7	0,2	20	157	552	0,5	0,1	0,4	20	136	973	0,5	0,4	0,1				
23	129	836	0,1	0,6	0,3	20	157	552	0,5	0,1	0,4	20	136	973	0,5	0,5	0,0				
23	129	836	0,1	0,5	0,4	20	157	552	0,5	0,1	0,4	20	136	973	0,6	0,3	0,1				
23	128	948	0,1	0,9	0,0	20	156	561	0,6	0,1	0,3	20	136	973	0,6	0,4	0,0				

Dados os critérios avaliados com base na grade curricular vigente (Tabela 2), a carga horária máxima obtida é de 24. Comparando com a solução apresentada pelo modelo, qualquer peso diferente de 0 atribuído ao critério *c*, já é suficiente para retornar um balanceamento mais adequado dos créditos ao longo do curso. Quanto ao custo do *layout*, o modelo proposto garante soluções de melhor qualidade, com valores oscilando entre 373 e 985. Até mesmo o limite superior obtido é mais satisfatório que a distribuição das disciplinas na grade atual (*cl* = 1082).

Ao serem avaliados os acumulados dos índices de retenção, *ir*, em cada período, da grade vigente do curso, verifica-se o valor máximo de 271%. As soluções apresentadas deste curso na fronteira de Pareto, neste critério, oscilam entre 128% e 172%, muito abaixo do índice obtido na grade correspondente. Vale destacar, inclusive, que 271% é o ponto *Nadir*, ou seja, o valor máximo que se pode obter considerando este critério de otimização. Assim como ocorre com os demais critérios, a média de *ir* possui um valor melhor do que o valor máximo na grade vigente.

Nota-se uma melhora significativa em todos os três critérios avaliados, e como o modelo proposto foi capaz de apresentar diferentes possibilidades ao tomador de decisão para construção de um currículo melhor balanceado, o que acarreta em uma melhor distribuição da carga de trabalho do estudante ao logo do curso.

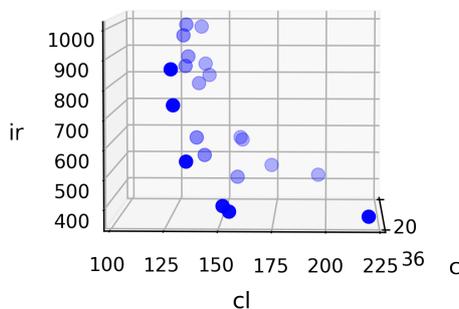


Figura 1: Soluções da fronteira de Pareto.

A impossibilidade de otimização simultânea dos critérios, conforme pode-se visualizar no gráfico da Figura 5, que apresenta a fronteira de Pareto dos advinda dos dados gerados, possibilita construir grades curriculares balanceadas, destacadas pelas suas diversidades de configurações.

Comparando as soluções obtidas pelo BACF, que inclui o critério de índice de retenção, com o BACP de mesma modelagem, que descarta este critério, identifica-se uma grande melhora na distribuição de disciplinas que possuem valores elevados desse atributo. A Tabela 4 apresenta a fronteira de Pareto da modelagem que descarta o critério *ir*.

Tabela 4: Fronteira de Pareto obtida com a exclusão do critério de índice de retenção.

p_c	p_{cl}	c	cl	ir	Média c	Média cl	Média ir (%)
0,9	0,1	20	421	196,0	20	392,0	208
0,8	0,2	20	421	200,0			
0,7	0,3	20	421	233,0			
0,6	0,4	20	421	200,0			
0,5	0,5	20	421	196,0			
0,4	0,6	20	421	242,0			
0,3	0,7	20	421	233,0			
0,2	0,8	20	421	218,0			
0,1	0,9	20	421	233,0			
0,0	1,0	20	136	210,0			

No BACF, quando o índice de retenção é descartado do balanceamento, o critério de créditos da grade curricular do curso avaliado apresenta média aproximada de 20 créditos. O critério de custo do *layout* retorna média aproximada de 392. Estes valores indicam que a grade do curso foi, na grande maioria das soluções, melhor balanceada, comparando com os respectivos valores da grade vigente presentes na Tabela 2. Cabe destacar, que a média para o critério de índices de retenção, quando foi descartado no BACF, foi de 208%. Quando foi ponderado, a média foi de, aproximadamente, 145% e, como pôde ser visto anteriormente, nesta condição, o modelo continua a apresentar soluções otimizadas na maioria absoluta dos casos.

Os dados apresentados demonstram, portanto, um ganho significativo no balanceamento da carga de trabalho, uma vez que o modelo continua a apresentar soluções substancialmente otimizadas para os critérios anteriores, com o incremento do balanceamento de um novo critério indicador de percepção de carga de trabalho do estudante.

Para evitar que ocorra, como em trabalhos anteriores, quando os modelos ficaram limitados à transcrição computacional e confirmação das suas eficiências, desenvolveu-se o *software* Curricular, que abarca o BACF. Seu objetivo é tornar a abordagem aplicável a ambientes acadêmicos.

5.1 Interfaces e Experiência de Usuário

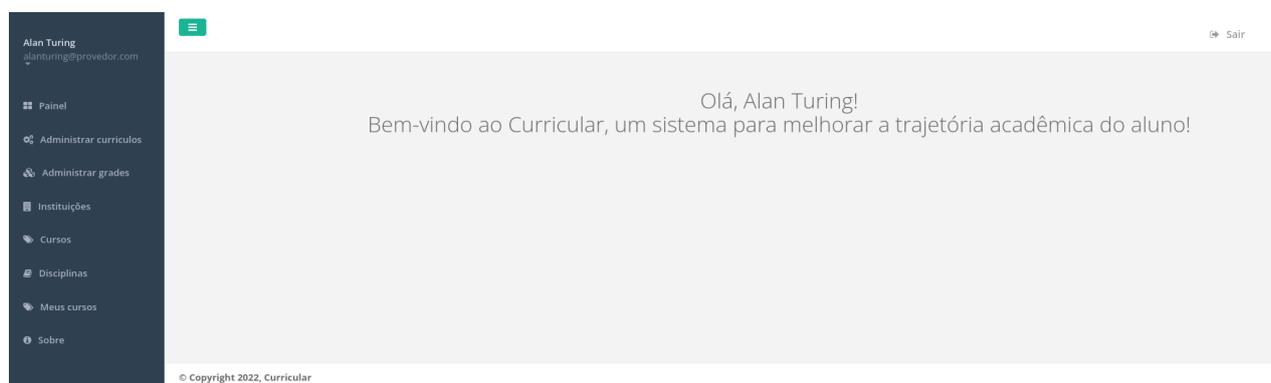
Fundamental para facilitar a aplicação do BACF é a utilização de um *software* que abarque este modelo. Portanto, este trabalho apresenta como um dos seus objetivos, o desenvolvimento de um *software* que permita aos usuários aplicarem a abordagem a cenários reais, não se limitando a currículos do ensino superior, pois é viável a sua aplicação a outros graus de ensino que utilizem currículos em formatos semestrais, com a carga horária representadas por créditos.

Nomeado como Curricular, o *software* desenvolvido oferece suporte a gestores de cursos na construção de grades curriculares balanceadas a serem oferecidas aos estudantes como um caminho padronizado a ser percorrido até se graduarem. Devido a todas as restrições curriculares, mais notadamente aquela de pré-requisitos, basta uma simples retenção em uma disciplina, para

que o estudante não consiga seguir a grade oferecida pelo curso, sendo submetido a uma grade curricular incoerente e, possivelmente, desbalanceada.

Sob esta ótica, o Curricular também permite aos estudantes, a partir de suas listas de disciplinas a serem cursadas, e a cada semestre, a geração de grades curriculares balanceadas e personalizadas. O Curricular é um *software web*, desenvolvido por meio do *framework* Django (Django, 2022), com uso do SGBD PostgreSQL (Group, 2022), está hospedado na plataforma em nuvem Heroku (Center, 2022), podendo ser acessado em <https://curricularapp.herokuapp.com/>. A Figura 2 apresenta a interface renderizada após o *login* do usuário.

Figura 2: Interface inicial do módulo Gestor.



Considerando que o Curricular é um sistema com potencial impacto na trajetória acadêmica estudantil, fez-se necessária a verificação da Experiência de Usuário (UX - User Experience), como quesito fundamental a fim de constatar a sua aplicabilidade.

Neste sentido, visando realizar uma Pesquisa de Opinião Pública, o Curricular foi disponibilizado com acesso livre, permitindo simulações de construções de grades curriculares reais pelos usuários. Para sua avaliação, foi disponibilizado um *link* com o Questionário de Experiência de Usuário (UEQ - User Experience Questionnaire), desenvolvido por Laugwitz, Held, & Schrepp (2008), e que, conforme Rauschenberger, Schrepp, Cota, Olschner, & Thomaschewski (2013), possibilita uma avaliação rápida de UX para qualquer produto provido de interatividade.

O UEQ avalia a UX sob duas dimensões, pragmática e hedônica, retiradas do modelo de Hassenzahl (2008). A dimensão pragmática é orientada para a funcionalidade, medida por critérios de usabilidade. Em contrapartida, a dimensão hedônica se relaciona ao contentamento sobre o *design* visual, com características de interfaces agradáveis (Hassenzahl, 2008; Orehovački, Plan-tak Vukovac, Džeko, & Stapić, 2018).

O questionário utiliza a escala de *Likert* (Likert, 1932), com valores de -3 (indicativo da resposta mais negativa) a +3 (indicativo da resposta mais positiva), entre 26 pares de adjetivos opostos que apontam para seis escalas, a saber: Atratividade, Transparência, Eficiência, Controle, Estimulação e Inovação. Segundo Laugwitz et al. (2008), a Atratividade representa uma reação emocional pura (por exemplo, bom ou ruim), de aceitação ou rejeição do produto, sem conter qualquer informação que indique o motivo. As demais localizam-se em uma das dimensões, pragmática ou hedônica, sendo que as categorias Transparência, Eficiência e Controle correspondem à

dimensão pragmática, e as demais, Estimulação e Inovação, correspondem à dimensão hedônica.

O UEQ apresenta os resultados consolidados pelo cálculo das médias das escalas, e das dimensões. As médias compreendidas entre -0,8 e 0,8 indicam uma avaliação neutra. Aquelas maiores do que 0,8, indicam uma avaliação positiva, e inferiores a -0,8, indicam uma avaliação negativa. As médias de cada par de adjetivos opostos podem ser verificadas, possibilitando a identificação de quesitos do *software* que precisam de atenção.

Adicionalmente ao UEQ, e com objetivo de subsidiar melhorias e evoluções do Curricular, foram criados dois campos com caráter de Entrevista, sendo estes:

- Na sua opinião, o software Curricular pode contribuir para a melhoria da trajetória acadêmica do estudante? Por quê?
- Caso deseje, forneça mais opiniões sobre o *software* Curricular.

Conforme Laugwitz et al. (2008), o UEQ apresenta resultados consistentes a partir da quantidade de, aproximadamente, 30 opiniões. Neste trabalho, em um universo de 33 participantes, 4 opiniões suspeitas de aleatoriedade foram descartadas. A aplicação do UEQ permitiu uma análise quantitativa de UX, a partir de dados e gráficos extraídos das próprias planilhas eletrônicas do UEQ. As perguntas abertas forneceram dados para uma análise qualitativa, reforçadas por opiniões especializadas de 5 usuários coordenadores, e ex-coordenadores de cursos em versão específica do questionário. Para cada par de adjetivos opostos, a Tabela 5 apresenta suas médias.

Tabela 5: Dados das médias de respostas para cada par de adjetivos opostos do Curricular.

Item	Média	Adjetivo	Antônimo	Escala
1	2,1	Desagradável	Agradável	Atratividade
2	1,7	Incompreensível	Compreensível	Transparência
3	1,9	Criativo	Sem criatividade	Inovação
4	1,7	De Fácil aprendizagem	De difícil aprendizagem	Transparência
5	2,4	Valioso	Sem valor	Estimulação
6	1,6	Aborrecido	Excitante	Estimulação
7	2,2	Desinteressante	Interessante	Estimulação
8	1,4	Imprevisível	Previsível	Controle
9	1,7	Rápido	Lento	Eficiência
10	2,3	Original	Convencional	Inovação
11	1,3	Obstrutivo	Condutor	Controle
12	2,4	Bom	Ruim	Atratividade
13	1,2	Complicado	Fácil	Transparência
14	2,3	Desinteressante	Atrativo	Atratividade
15	1,7	Comum	Vanguardista	Inovação
16	2,0	Incômodo	Cômodo	Atratividade
17	2,3	Seguro	Inseguro	Controle
18	2,4	Motivante	Desmotivante	Estimulação
19	2,3	Atende as expectativas	Não atende as expectativas	Controle
20	2,2	Ineficiente	Eficiente	Eficiência
21	1,9	Evidente	Confuso	Transparência
22	2,2	Impraticável	Prático	Eficiência
23	2,2	Organizado	Desorganizado	Eficiência
24	2,1	Atraente	Feio	Atratividade
25	2,3	Simpático	Antipático	Atratividade
26	1,9	Conservador	Inovador	Inovação

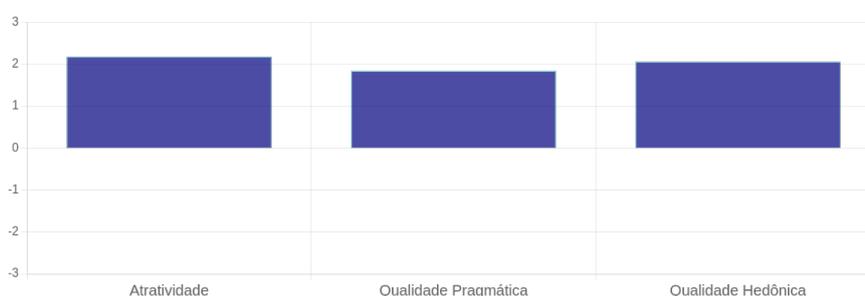
Por exemplo, conforme o item 7 da Tabela 5, aproximadamente 96% das respostas caracterizaram o Curricular como mais interessante do que desinteressante. Este mesmo item, mostra que, das 29 respostas efetivas, a média para esse par de adjetivos opostos foi de 2,2, reforçando uma avaliação positiva, baseado na definição do UEQ. Pode-se verificar que em todos os pares, as respostas se distribuíram mais positiva do que neutra ou negativamente, e que todas as médias ficaram acima de 0,8, indicando avaliações positivas em todas as escalas.

Considerando que os números gerais demonstram avaliações positivas do Curricular em todas as escalas, o UEQ permite visualizar como se encontram as dimensões, as escalas de avaliação e a Atratividade do produto, partindo de uma visão mais geral, até a visualização de itens passíveis de melhorias. A Atratividade, e as médias das dimensões podem ser verificadas na Tabela 6, e no gráfico da Figura 3.

Tabela 6: Dados das médias de respostas para cada dimensão do Curricular.

Qualidades Pragmática e Hedônica	
Atratividade	2,18
Qualidade Pragmática	1,84
Qualidade Hedônica	2,06

Figura 3: Médias das dimensões de avaliação do Curricular.



Notadamente, verifica-se que o sistema obteve uma grande aceitação (ou possibilidade de uso real), sendo esta de, aproximadamente, 73% em relação ao maior valor possível. Este número pode ter implicação das dimensões pragmática e hedônica. Destas, a dimensão pragmática foi aquela que obteve a avaliação menos positiva, com uma média de 61%, embora indique que o sistema cumpre realmente com seu objetivo, atendendo as expectativas, demonstrando praticidade, fácil aprendizagem, eficiência e rapidez. A dimensão hedônica indica interfaces interessantes e inovadoras, atingindo uma média de, aproximadamente, 69%.

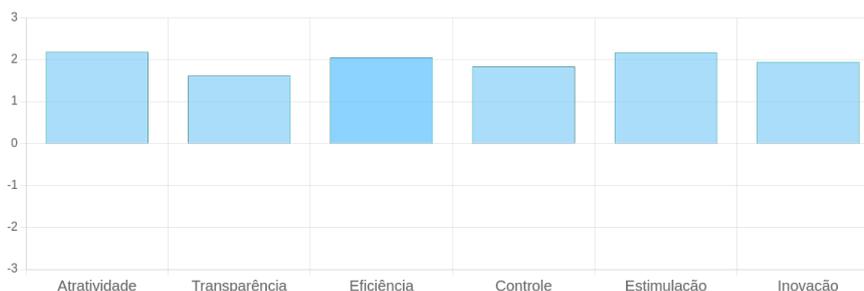
Diante dos números positivos, possibilidades de melhorias ainda podem ser verificadas, seja nas dimensões pragmática e hedônica, seja na aceitabilidade do produto. As médias das escalas de avaliação são consolidadas na Tabela 7, e suas distribuições podem ser verificadas no gráfico da Figura 4. Da dimensão pragmática, as avaliações menos positivas, em ordem decrescente, foram das escalas Transparência, Controle e Eficiência. Destas, aquela que teve respostas menos positivas foi a de Transparência, com uma média de 1,621. Verificando a Tabela 5, o par de adjetivos opostos que reduziu o valor da média foi o complicado/fácil, o que denota uma necessidade de melhoria quanto a facilidade de aprendizagem do sistema. Na mesma tabela, quanto a escala Controle, as respostas apontam para a possibilidade de reformulação de ações do usuário, visto que os pares de adjetivos opostos Imprevisível/Previsível e Obstrutivo/Condutor tiveram as avaliações menos positivas. A Eficiência foi a escala mais bem avaliada pelos usuários na dimensão Pragmática, com uma média de 2,062, com o par Lento/Rápido, aquele com avaliação menos positiva, porém, possivelmente impactado pela geração das soluções com números de disciplinas mais elevados.

No que concerne à dimensão hedônica, a escala de menor média de avaliação, com valor de 1,948, foi a Inovação. Destaca-se que esta escala refere-se ao quanto a interface de usuário

Tabela 7: Dados de médias de respostas das escalas do Curricular.

Escola	Média
Atratividade	2,185
Transparência	1,621
Eficiência	2,052
Controle	1,836
Estimulação	2,172
Inovação	1,948

Figura 4: Médias das escalas de avaliação do Curricular.



possui característica de novidade, uma característica hedônica, e não o quanto o sistema é inovador quanto ao seu objetivo, uma característica pragmática. Sob esta ótica, verificam-se que os pares de adjetivos opostos receberam avaliações semelhantes, com um valor ligeiramente menor para o par comum/vanguardista. Considera-se esta avaliação consistente, afinal, o desenvolvimento das interfaces baseou-se em padrões simplistas já estabelecidos do desenvolvimento de aplicações *web*. A Estimulação foi a escala mais bem avaliada na dimensão hedônica. Dos seus quatro pares de adjetivos opostos, o par aborrecido/excitante foi aquele que obteve avaliação que mais se afastou da média dos outros três. Os demais tiveram resultados positivos.

A Atratividade, escala que indica as chances de uso futuro do sistema, baseada nas emoções puras dos avaliadores (Laugwitz et al., 2008), foi muito bem avaliada, com média de 2,185. Até mesmo o par de adjetivos opostos, incômodo/cômodo, que obteve a avaliação menos positiva nesta escala, aproximou-se dos resultados das respostas dos demais pares. A avaliação na escala Atratividade demonstra ser coerente, visto que a aceitação do sistema é impactada pelos resultados em todas as demais escalas que, no geral, foram muito bem avaliadas.

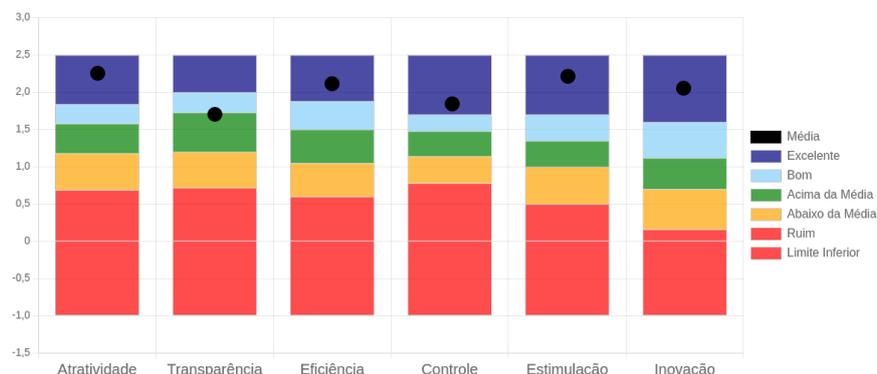
O UEQ ainda disponibiliza a possibilidade de realização de comparações a partir de um conjunto de *benchmark*, obtidos por meio de questionários respondidos por 21.175 pessoas, em 468 estudos de diversos tipos de produtos de *software* financeiros, páginas *web*, compras virtuais e redes sociais, com a última atualização em 25 de abril de 2022 (Laugwitz et al., 2008). A Tabela 8 e o gráfico da Figura 5 exibem os dados de comparação com produtos de referência.

Tabela 8: Dados de comparações das escalas do Curricular com escalas de outros sistemas de referência.

Escola	Média	Comparação com benchmark	Interpretação
Atratividade	2,18	Excelente	No intervalo dos 10% melhores resultados
Transparência	1,62	Acima da média	No intervalo dos 25% melhores resultados
Eficiência	2,05	Excelente	No intervalo dos 10% melhores resultados
Controle	1,84	Excelente	No intervalo dos 10% melhores resultados
Estimulação	2,17	Excelente	No intervalo dos 10% melhores resultados
Inovação	1,95	Excelente	No intervalo dos 10% melhores resultados

O Curricular enquadra-se entre os 10% melhores produtos quanto às escalas de Atrativi-

Figura 5: Gráfico de comparação das escalas do Curricular com escalas de outros sistemas de referência.



dade, Eficiência, Controle, Estimulação e Inovação, sendo Excelente a descrição do melhor resultado possível. Até mesmo a escala Transparência, aquela com avaliação menos positiva, como abordado anteriormente, figura-se com avaliação acima da média, localizando-se entre os 25% melhores resultados.

No que concerne a análise qualitativa, a Entrevista traz alguns padrões específicos, de respostas de estudantes e docentes, no que tange à pergunta: **“Na sua opinião, o software Curricular pode contribuir para a melhoria da trajetória acadêmica do estudante? Por quê?”**, que é fortemente associada ao objetivo do Curricular. A seguir apresentam-se as respostas de estudantes, identificadas como RE09, RE15 E RE17, sobre essa questão.

- *"Sim, porque através das grades balanceadas poderei selecionar melhor as disciplinas, para que o período não seja tão desgastante e assim mais agradável para concluir o período e também diminuir o risco de reprovação." (RE09)*
- *"Sim. Pode contribuir bastante para o pessoal que está iniciando ou com matérias pendentes, justamente pelo os dados que relatório traz, o percentual de retenção. Achei muito inovador e interessante." (RE15)*
- *"Normalmente o que o seu software faz, os alunos fazem no bate papo com os amigos no início do semestre, o que pode gerar uma impressão ruim para algumas matérias, 'tal matéria é muito difícil', ao mesmo tempo que algumas pessoas nem o fazem, pegando matérias sem noção do assunto ou dificuldade, então delegando o trabalho a um software ajuda em um escolha mais bem feita, sem pensar muito, de uma forma que também evita o acúmulo de matérias difíceis para o fim do curso, como aconteceu comigo." (RE17)*

Dado que o campo de resposta foi definido como não obrigatório, dos 29 estudantes, 7 deixaram o campo em branco. As demais 22 opiniões seguiram o padrão das respostas anteriores, com respostas mais sucintas, como:

- *"Sem dúvida alguma." (R02)*
- *"Sim, pode ajudar na organização das matérias a serem feitas nos períodos restantes do curso." (RE04)*
- *"Sim, pois ele nos ajuda a escolher melhor quais disciplinas pegar [sic]." (R05)*

- *"Sim, pois os dados apresentados sobre cada matéria podem ajudar muito na hora de escolher a grade."* (RE06)
- *"Sim, pois é possível fazer comparações de acordo com a minha necessidade de trajetória."* (RE07)
- *"Sim, pois ajuda a ter mais controle da grade curricular."* (R12)
- *"Sim, pois, auxilia muito no sobrecarregamento das disciplinas, assim nos deixando mais confortáveis no decorrer dos períodos."* (RE28)

Verifica-se que há uma preocupação dos estudantes quanto a sobrecarga de trabalho, a falta de dados que subsidiam suas matrículas, e o risco de ser reprovado. As respostas indicam que o Curricular tem potencial para contribuir com a construção de grades curriculares mais otimizadas e adaptadas à realidade de cada estudante em particular. As respostas de docentes, identificadas, por RD01, RD02, RD03, RD04, RD05, são apresentadas a seguir.

- *"Sim. O estudante poderá usar o Curricular como guia efetivo para nortear suas decisões ao se matricular em cada semestre."* (RD01)
- *"Sim. Porque o discente poderá ter o suporte de um sistema na escolha eficiente das disciplinas a cursar em cada período. E o coordenador do curso também terá esse apoio ao pensar na grade curricular do curso, junto ao Núcleo Docente Estruturante e Colegiado."* (RD02)
- *"Pode contribuir muito. Principalmente na tomada de decisão para coordenadores no planejamento de grades curriculares mais balanceadas, podendo assim, favorecer uma melhor distribuição das disciplinas de um curso. Com isso o curso pode vir a ser melhor aproveitado pelos discentes. Vislumbro grande utilização por parte dos discentes, no planejamento e remanejamento das escolhas dos melhores caminhos para cursar um curso."* (RD03)
- *"Sim. Os alunos podem contar com o auxílio para definir trilhas diversas para integrarmos créditos das disciplinas especialmente quando o aluno estiver irregular. Também é uma ferramenta que contribuirá para gestão da coordenação/ docentes na organização de projeto pedagógico."* (RD04)
- *"Sim. O software possibilita de maneira simples e eficaz a tomada de decisões do professor e do coordenador do curso."* (RD05)

As respostas variaram, salientando desde os benefícios diretos oferecidos pelo Curricular aos estudantes na construção de grades curriculares personalizadas, até a utilidade e eficácia na construção de grades curriculares quando do desenvolvimento de projetos pedagógicos de cursos.

Em outro campo da Entrevista, com a instrução: **“Caso queira, dê mais opiniões sobre o software Curricular:”**, as respostas, tanto dos estudantes, quanto dos docentes, variaram entre comentários valorosos, e sugestões quanto à usabilidade. A seguir, são destacadas algumas sugestões, sendo aquelas referentes aos estudantes identificadas por RE002, RE06, RE07, RE09, RE014, RE15, RE16, RE023, RE024; e dos coordenadores e ex-coordenadores por RD01, RD02, RD03, RD04, RD05.

- *"Para mim está perfeito." (RE002)*
- *"Achei meio difícil de aprender a usar se não tiver alguém guiando." (RE06)*
- *"Na opção de escolher as matérias que já foram concluídas, talvez um layout checkbox [sic] seria melhor." (RE07)*
- *"Na parte de selecionar as disciplinas, deveria ter uma caixa de marcar para ser mais ágil na seleção das mesmas." (RE014)*
- *"O software cumpre o que promete. O que precisa talvez, é só fazer alguns ajustes como colocar caixas de marcação para selecionar as matérias. Mas muito show o software." (RE15)*
- *"Muito legal! Parabéns!" (RE023)*
- *"Muito bom!" (RE024)*
- *"Um software espetacular! Um poderoso apoio na tomada de decisão tanto do estudante ao se matricular, como de coordenador de curso e professores ao projetarem a grade curricular em projetos pedagógicos." (RD01)*
- *"O sistema poderá futuramente incluir os horários das disciplinas no semestre para que não tenha problema em relação a distribuição da matriz curricular." (RD02)*
- *"Grande iniciativa e qualidade. Parabéns aos envolvidos." (RD03)*
- *"Acho que é necessário informar o progresso do balanceamento das grades, pois o usuário não sabe se já concluiu ou não (não é evidente). Seria interessante gerar o comparativo na própria interface do sistema, em vez de um PDF." (RD004)*

Verifica-se, em todos os casos quando foram sugeridas alterações, que estas referem-se à facilidade de uso do sistema, corroborando os resultados da escala de Transparência do Curricular, obtida com a aplicação do questionário UEQ. Algumas respostas destacaram diretamente a dificuldade de aprendizagem, como a RE06 e a RE16. Outras apontaram aspectos de melhorias, como as respostas RE07, RE014, RE15, RE16 e RD004. Uma das respostas abordou a possibilidade de se incluir uma restrição que atenda os horários alocados para cada disciplina.

As respostas para à primeira questão, bem como os comentários valorosos dispersos na primeira e na segunda questão, tanto nas visões dos estudantes, quando nas visões dos docentes, corroboram a escala de Atratividade do produto, denotando o cumprimento do objetivos do Curricular, quais sejam as construções de grades curriculares otimizadas e personalizadas, com o fim de favorecer os esforços dos estudantes. Ainda que melhorias possam ser realizadas, especialmente quanto às interfaces de usuário, os resultados das escalas do UEQ, e as respostas à perguntas abertas, são indicativos da aplicabilidade do Curricular em seu estado atual.

6 Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Considerando que o ensino superior é um dos pilares para o desenvolvimento da sociedade, são prementes as preocupações das instituições de ensino acadêmico com o sucesso estudantil. Neste contexto, dado que o sucesso estudantil é o resultado da atividade-fim das instituições, para a

consecução de seus objetivos de ensino, é necessário que os cursos superiores não se furtem do planejamento curricular, pois é através do currículo estabelecido que advém as experiências do estudante (Vasconcellos, 1995), que precisam promover a sua permanência no curso e a graduação no tempo ideal.

Pragmaticamente, o currículo é, idealmente, um efetivo conjunto de disciplinas com seus conteúdos de ensino coerentes e consistentes (Saviani, 2003; Lopes & Macedo, 2017) e, como elemento próximo ao estudante, se concretiza na grade (ou percurso) curricular como uma trilha a ser seguida (Chakradhar et al., 2019; Pinto & Ferreira, 2020).

Kember (2004) destaca que, dentre as variáveis necessárias de atenção para que um currículo tenha a qualidade necessária, destaca-se a carga de trabalho do estudante. G. Silva et al. (2019) sublinham que a sobrecarga é um obstáculo à absorção de conteúdo e desenvolvimento do conhecimento. Neste sentido, como os cursos superiores, geralmente, formam suas grades curriculares divididas em períodos (ou semestres), a adequação da carga de trabalho do estudante ao longo da grade curricular é uma tarefa difícil, visto que existem muitas restrições, como as relações de pré-requisitos, a ordem cronológica necessária das disciplinas, quantitativo e preferências docentes, recursos limitadores dos mais variados tipos, etc., sendo elas regulamentares ou não.

Dada a importância da carga de trabalho do estudante no contexto curricular, Castro & Manzano (2001) apresentaram o primeiro trabalho sobre balanceamento de currículo acadêmico (em outras palavras, adequação da carga de trabalho do estudante na grade curricular), com a formulação do Problema de Balanceamento de Currículo Acadêmico (BACP - *Balancing Academic Curriculum Problem*), classificado como NP-Difícil (Chiarandini et al., 2012). O BACP considera a carga de trabalho de um período acadêmico como sendo o número total de créditos das disciplinas associadas. O problema consiste em atribuir disciplinas aos períodos, distribuindo o número de créditos o mais uniformemente possível entre eles, respeitando os pré-requisitos, de forma que os alunos possam fazer uso eficiente de seus esforços (Ünal & Uysal, 2014).

Entretanto, apesar da relevância da carga de trabalho do estudante no processo de construção de grades curriculares, observam-se poucas referências que abordam este tema, e os trabalhos posteriores ao modelo apresentado por Castro & Manzano (2001), em sua grande maioria, não estendeu a modelagem com novos objetivos que impactam a percepção de carga de trabalho do estudante, tendo como evoluções a eficiência computacional dos algoritmos ou restrições elementares.

Desta forma, este trabalho teve como um dos seus objetivos desenvolver uma nova abordagem para o problema, centralizada em um novo modelo multiobjetivo nomeado como Balanceamento de Currículo Acadêmico com Dados de Retenção (BACF - *Balancing Academic Curriculum With Subjects Failure Data*) que objetiva minimizar o número máximo de créditos por período (Castro & Manzano, 2001), a distância entre disciplinas inter-relacionadas (Ünal & Uysal, 2014) e o acumulado dos índices de retenção por período.

A abordagem idealizada inova desenvolvendo o critério de índices de retenção em disciplinas como um novo objetivo de otimização curricular, permitindo o uso de dados históricos de desempenho estudantil na construção curricular, que visa reduzir a localização, em um mesmo período, de disciplinas quanto maiores forem seus índices históricos de retenção; adicionando restrições que possibilitam localizações mais coerentes e consistentes de disciplinas ao longo da grade curricular; agregando objetivos e restrições dispersos em trabalhos anteriores ao novo crité-

rio desenvolvido; utilizando o método da Soma Ponderada (Grodzevich & Romanko, 2006) na resolução da modelagem multicritério, promovendo a formação de um conjunto de soluções ótimas, fronteira de Pareto (Pareto, Bousquet, & Busino, 1964), permitindo a flexibilização de tomadas de decisões ao oferecer soluções diferenciadas pelas priorizações de objetivos de balanceamento, obtidas pelas ponderações dos critérios.

Diante de uma nova abordagem que objetiva aproximar o BACP à realidade das instituições acadêmicas, as instâncias tradicionais da CSPLib (Jefferson et al., 1999) tornam-se triviais para a validação do BACF, dada a complexidade do modelo. Neste sentido, para a validação da abordagem, foram utilizados dados reais, atuais e publicizados de um curso de Sistemas de Informação, de uma universidade pública brasileira.

Os resultados apresentados indicaram um ganho significativo de balanceamento em relação à grade curricular vigente do curso, demonstrando que a utilização da abordagem proposta pode reduzir substancialmente a carga de trabalho do estudante, tendendo a proporcionar melhor desempenho e, conseqüentemente, maior motivação (e vice-versa) na aprendizagem. É importante destacar, também, que a abordagem multiobjetivo apresentada proporcionou diferentes cenários e informações para a construção de grades curriculares, possibilitando ações mais assertivas para os tomadores de decisão.

Outro objetivo do trabalho foi o desenvolvimento de um *software*, nomeado como Curricular, com o intuito de proporcionar o uso interativo do algoritmo de balanceamento em ambientes acadêmicos. Esta ferramenta possui interfaces, onde gestores e estudantes podem, nos respectivos módulos, construir grades curriculares balanceadas padronizadas, no módulo Gestor, e personalizadas, no módulo Estudante.

No intuito de se verificar a aplicabilidade do Curricular, foi realizada uma Pesquisa de Opinião Pública, quando o Questionário de Experiência de Usuário (UEQ - *User Experience Questionnaire*), desenvolvido por Laugwitz et al. (2008) e customizado com duas questões abertas com caráter de Entrevista, foi aplicado a potenciais usuários da ferramenta. Os resultados em todas as escalas de avaliação do UEQ, com destaque para a escala de Atratividade, corroboraram as respostas às perguntas abertas, o que indicou uma aceitação preponderante da ferramenta, a partir do cumprimento de seus objetivos propostos, ao promover suporte eficiente na construção de grades curriculares otimizadas e personalizadas.

Embora o Curricular tenha apresentado uma aceitação positiva, verificada com dados do UEQ aplicado, sugere-se trabalhar nos pontos mais fracos de UX, em especial nas escalas da dimensão pragmática, traduzindo em uma maior facilidade de uso do software. Sendo assim, como trabalhos futuros, uma nova versão do sistema deve atentar-se à essas necessidades, e, para uma avaliação de usabilidade mais efetiva, outros métodos também devem ser empregados junto ao UEQ, como, por exemplo, as heurísticas de Nielsen (Nielsen, 1993).

O Curricular promove o balanceamento de currículos estruturados em disciplinas e créditos. Entretanto, este formato é apenas uma das possibilidades de implementação do ponto de vista pedagógico. Para que o modelo de balanceamento de currículo proposto, e o Curricular que o incorpora, se aproximem ainda mais da realidade de gestores e estudantes, sugere-se que sejam adaptados para comportar outros moldes de estruturas curriculares, como aqueles por áreas de conhecimento, tradicionalmente aplicados no ensino básico.

Outros critérios associados ao balanceamento podem ser inseridos ao modelo proposto para torná-lo mais abrangente, possibilitando a construção de percursos escolares mais eficientes como, por exemplo, a utilização de dados sobre afinidade do estudante com disciplinas e docentes, obtidos a partir de instrumentos periódicos de avaliações de ensino. Além disso, dado que o estudante pode percorrer diferentes caminhos dentro currículo, o balanceamento personalizado pode ser modificado mediante a incorporação de informações relativas às habilidades do estudante.

Referências

- Biggs, J. (1987). *Study process questionnaire manual. Student approaches to learning and studying*. Hawthorn, Vic.: Australian Council for Educational Research. Retrieved from <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED308200.pdf> [GS Search]
- Bowyer, K. (2012). A model of student workload. *Journal of Higher Education Policy and Management*, 34(3), 239–258. doi: <https://doi.org/10.1080/1360080X.2012.678729> [GS Search]
- Brás, C., Assis, L., Vivas, A., Pitangui, C., & Dorça, F. (2023). Desenvolvimento curricular baseado em dados factuais: Uma revisão sistemática da literatura. *Revista Novas Tecnologias na Educação*, 20(2), 165–175. doi: <https://doi.org/10.22456/1679-1916.129164> [GS Search]
- Castro, C., Crawford, B., & Monfroy, E. (2009). A genetic local search algorithm for the multiple optimisation of the balanced academic curriculum problem. In *Cutting-edge research topics on multiple criteria decision making* (pp. 824–832). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-02298-2_119 [GS Search]
- Castro, C., & Manzano, S. (2001). Variable and value ordering when solving balanced academic curriculum problems. In *6th workshop of the ERCIM WG on constraints* (Vol. cs.PL/0110007). Prague. doi: <http://doi.org/10.48550/arXiv.cs/0110007> [GS Search]
- Center, H. D. (2022). Documentation Heroku [Computer software manual]. Retrieved from <https://devcenter.heroku.com/categories/reference>
- Chakradhar, M., Charan, M. S., Sai, R. U., Kunal, M., Murthy, Y. V., & Shashidhar, G. K. (2019). Academic curriculum load balancing using GA. *2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies, ICCCNT 2019*, 1–5. doi: <https://doi.org/10.1109/ICCCNT45670.2019.8944897> [GS Search]
- Chambers, E. (1992). Work-load and the quality of student learning. *Studies in Higher Education*, 17(2), 141–153. doi: <https://doi.org/10.1080/03075079212331382627> [GS Search]
- Chiarandini, M., Di Gaspero, L., Gualandi, S., & Schaerf, A. (2012). The balanced academic curriculum problem revisited. *Journal of Heuristics*, 18(1), 119–148. doi: <https://doi.org/10.1007/s10732-011-9158-2> [GS Search]
- Django, S. F. (2022). Django documentation [Computer software manual]. Retrieved from <https://docs.djangoproject.com/en/4.0/>
- Entwistle, N., & Tait, H. (1990). Approaches to learning, evaluations of teaching, and preferences for contrasting academic environments. *Higher Education*, 19(2), 169–194. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00137106> [GS Search]
- Gaspero, L., & Schaerf, A. (2008). Hybrid local search techniques for the generalized balanced academic curriculum problem. In *5th International Workshop on Hybrid Metaheuristics* (p. 146–157). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-540->

88439-2_11 [GS Search]

- Grodzevich, O., & Romanko, O. (2006). Normalization and other topics in multi-objective optimization. In *Fields–mitacs industrial problems workshop 2006* (pp. 89–101). [GS Search]
- Group, T. P. G. D. (2022). PostgreSQL 14.4 documentation [Computer software manual]. Retrieved from <https://www.postgresql.org/docs/current/index.html>
- Gurobi, O. L. (2022). Gurobi optimizer reference manual [Computer software manual]. Retrieved from https://www.gurobi.com/wp-content/plugins/hd_documentations/documentation/9.0/refman.pdf
- Hassenzahl, M. (2008). User experience (UX): Towards an experiential perspective on product quality. In *Proceedings of the 20th Conference on l'Interaction Homme-Machine* (p. 11–15). New York: Association for Computing Machinery. doi: <https://doi.org/10.1145/1512714.1512717> [GS Search]
- Hnich, B., Kiziltan, Z., & Walsh, T. (2002). Modelling a balanced academic curriculum problem. In *CP-AI-OR-2002* (pp. 121–131). [GS Search]
- Jefferson, C., Miguel, I., Hnich, B., Walsh, T., & Gent, I. P. (1999). *CSPLib: A problem library for constraints*. Retrieved from <http://www.csplib.org>
- Kember, D. (2004). Interpreting student workload and the factors which shape students' perceptions of their workload. *Studies in Higher Education*, 29, 165–184. doi: <https://doi.org/10.1080/0307507042000190778> [GS Search]
- Kitchenham, B. A., & Charters, S. (2007). *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering* (Tech. Rep. No. EBSE 2007-001). Keele University and Durham University Joint Report. Retrieved from https://www.elsevier.com/__data/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf
- Lambert, T., Castro, C., Monfroy, E., & Saubion, F. (2006). Solving the balanced academic curriculum problem with an hybridization of genetic algorithm and constraint propagation. In *Artificial Intelligence and Soft Computing – ICAISC 2006* (pp. 410–419). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi: https://doi.org/10.1007/11785231_44 [GS Search]
- Laugwitz, B., Held, T., & Schrepp, M. (2008). Construction and evaluation of a user experience questionnaire. In *Hci and usability for education and work* (Vol. 5298, p. 63-76). Springer Berlin Heidelberg. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9_6 [GS Search]
- Likert, R. (1932). *A technique for the measurement of attitudes*. New York. [GS Search]
- Lima, L. F. F. P., Silva, I. L. A. S., & Silva, D. R. D. (2019). Análise de Dados de Percursos Curriculares dos Alunos de Ciência da Computação da Universidade Federal da Paraíba. *Renote*, 17(3), 173–182. doi: <https://doi.org/10.22456/1679-1916.99467> [GS Search]
- Lopes, A., & Macedo, E. (2017). *Teorias de currículo*. São Paulo: Cortez. [GS Search]
- Magalhães, E. A., Silveira, S. d. F. R., Abrantes, L. A., Ferreira, M. A. M., & Wakim, V. R. (2010). Custo do ensino de graduação em instituições federais de ensino superior: o caso da Universidade Federal de Viçosa. *Revista de Administração Pública*, 44(3), 637–666. doi: <https://doi.org/10.1590/S0034-76122010000300005> [GS Search]
- Mendez, G., Ochoa, X., Chiluiza, K., & De Wever, B. (2014). Curricular design analysis: A data-driven perspective. *Journal of Learning Analytics*, 1(3), 84–119. doi: <https://doi.org/10.18608/jla.2014.13.6> [GS Search]
- Monette, J.-N., Deville, Y., Dupont, P., Deville, Y., & Dupont, P. (2007). A CP approach to the balanced academic curriculum problem. *The Seventh International Workshop on Symmetry and Constraint Satisfaction Problems (2007)*. [GS Search]

- Nielsen (1993). *Usability engineering*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc. [GS Search]
- Orehovački, T., Plantak Vukovac, D., Džeko, M., & Stapić, Z. (2018). Evaluating relevant UX dimensions with respect to IoT ecosystem intended for students' activities tracking and success prediction. In *Lecture notes in computer science (including subseries lecture notes in artificial intelligence and lecture notes in bioinformatics)* (Vol. 10924 LNCS, pp. 279–293). doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-91743-6_22 [GS Search]
- Pareto, V., Bousquet, G., & Busino, G. (1964). *Cours d'Economie Politique*. Geneva: Librairie Droz. [GS Search]
- Pinto, S. F., & Ferreira, R. S. (2020). Analisando ementas curriculares usando redes complexas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42. doi: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2020-0101> [GS Search]
- Ramsden, P., & Entwistle, N. J. (1981). Effects of academic departments on students' approaches to studying. *British Journal of Educational Psychology*, 51(3), 368–383. doi: <https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.1981.tb02493.x> [GS Search]
- Rauschenberger, M., Schrepp, M., Cota, M., Olschner, S., & Thomaschewski, J. (2013). Efficient measurement of the user experience of interactive products. How to use the User Experience Questionnaire (UEQ). Example: Spanish language version. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 2, 39–45. doi: <https://doi.org/10.9781/ijimai.2013.215> [GS Search]
- Rosas-Tellez, L. V., Martínez-Flores, J. L., & Zanella-Palacios, V. (2011). Evolutionary strategies for the academic curriculum balanced problem. In *Proceedings of the international conference on evolutionary computation theory and applications* (pp. 534–538). SciTePress - Science and Technology Publications. doi: <https://doi.org/10.5220/0003723805340538> [GS Search]
- Rubio, J. M., Palma, W., Rodriguez, N., Soto, R., Crawford, B., Paredes, F., & Cabrera-Guerrero, G. (2013). Solving the balanced academic curriculum problem using the ACO metaheuristic. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013. doi: <https://doi.org/10.1155/2013/793671> [GS Search]
- Rubio, J. M., Soto, R., Jorquera, H., Aguilera, J., & Vidal, C. (2018). Resolución del problema de balanceo de mallas curriculares mediante algoritmo de luciérnagas. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 26, 102–112. doi: <https://doi.org/10.4067/s0718-33052018000500102> [GS Search]
- Rubio, J. M., Vidal-Silva, C., Carter, L., & Tupac-Yupanqui, M. (2021). Balanced academic curriculum: Looking for an optimal solution with metaheuristics and functional programming. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12(6), 1181–1188. doi: <https://doi.org/10.17762/turcomat.v12i6.2435> [GS Search]
- Saviani, N. (2003). *Saber escolar, currículo e didática: problemas da unidade conteúdo/método no processo pedagógico*. Campinas: Autores Associados. [GS Search]
- Silva, E., Franco, N., Ferro, M., & Fidalgo, R. (2019). Mental workload impact of a visual language on understanding SQL queries. In *Anais do xxx simpósio brasileiro de informática na educação (SBIE 2019)* (pp. 239–248). Brazilian Computer Society (Sociedade Brasileira de Computação - SBC). doi: <https://doi.org/10.5753/cbie.sbie.2019.239> [GS Search]
- Silva, G., Stroele, V., Dantas, M., & Campos, F. (2019). Hold Up: Modelo de Detecção e Controle de emoções em Ambientes Acadêmicos. In *Anais do xxx simpósio brasileiro de informática*

- na educação (SBIE 2019)* (pp. 139–148). Brazilian Computer Society (Sociedade Brasileira de Computação - SBC). doi: <https://doi.org/10.5753/cbie.sbie.2019.139> [GS Search]
- Slim, A. (2016). *Curricular analytics in higher education*. Unpublished doctoral dissertation, University of New Mexico, Albuquerque. Retrieved from https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1288&context=ece_etds [GS Search]
- Slim, A., Heileman, G. L., Kozlick, J., & Abdallah, C. T. (2014). Employing markov networks on curriculum graphs to predict student performance. In *2014 13th International Conference on Machine Learning and Applications* (pp. 415–418). IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/ICMLA.2014.74> [GS Search]
- Slim, A., Heileman, G. L., Lopez, E., Yusuf, H. A., & Abdallah, C. T. (2015). Crucial based curriculum balancing: A new model for curriculum balancing. In *10th International Conference on Computer Science Education (ICCSE)* (p. 243-248). doi: <https://doi.org/10.1109/ICCSE.2015.7250250> [GS Search]
- Ünal, Y. Z., & Uysal, Ö. (2014). A new mixed integer programming model for curriculum balancing: Application to a turkish university. *European Journal of Operational Research*, 238(1), 339-347. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.03.015> [GS Search]
- Van Rossum, G., & Drake, F. L. (2011). *The Python language reference*. Scotts Valley: CreateSpace. [GS Search]
- Vasconcellos, C. S. (1995). *Planejamento: plano de ensino-aprendizagem e projeto educativo*. São Paulo: Libertad. [GS Search]
- Villalobos-Cid, M., Orellana, M., Vasquez, O. C., Pinto-Sothers, E., & Inostroza-Ponta, M. (2019). Dealing with the balanced academic curriculum problem considering the chilean academic credit transfer system. In *38th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC)*. doi: <https://doi.org/10.1109/SCCC49216.2019.8966411> [GS Search]
- Yin, S., Katal, A., Singh, V. K., Choudhury, T., Imran, F., & Hossain, M. S. (2023). Balancing academic curriculum problem solution: A discrete firefly-based approach. *Education Research International*, 2023, 4300472. doi: <https://doi.org/10.1155/2023/4300472> [GS Search]