PROPOSTA DE UM MODELO PARA O *SCHOOL TIMETABLING PROBLEM* EM UM INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Rodrigo Silvestre Queiroz, Larissa Maria Oliveira Mesquita
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Av. José de Freitas Queiroz, 5000, Quixadá - CE, 63902-580
rodrigoqueiroz1997@gmail.com, larissamesquita.e@gmail.com

Vitor Gomes de Lima, Caio Augusto Nunes Marques
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Av. José de Freitas Queiroz, 5000, Quixadá - CE, 63902-580
vitorgomeslima05@gmail.com, caio.marques@ifce.edu.br

Rômulo Lopes Frutuoso
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Av. José de Freitas Queiroz, 5000, Quixadá - CE, 63902-580
romulo.lopes@ifce.edu.br

RESUMO

As instituições de ensino necessitam, semestralmente, montar a sua grade de horários atendendo vários requisitos. Propor um modelo padrão para a resolução desses problemas constitui-se tarefa complicada, uma vez que cada instituição possui suas particularidades. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é propor um modelo matemático para o problema de horários do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – campus Quixadá, usando para fins de validação as disciplinas do curso de Engenharia de Produção Civil. A função objetivo consistiu em maximizar, tanto quanto possível, a preferência dos professores quanto aos dias consecutivos e quanto a quantidade de dias de ensino. Um modelo matemático foi implementado no *software* CPLEX 12.9, com resultados refletindo fielmente as práticas adotadas na instituição, com grande parcela dos professores tendo suas preferências atendidas, mesmo considerando um contexto de testes. O modelo será expandido para envolver todos os cursos do campus.

PALAVRAS CHAVE. *Timetabling*, Otimização, Modelagem Matemática.

Otimização Combinatória, PO na Administração Pública e Educação.

ABSTRACT

Educational institutions need, every six months, to set up their timetable meeting various requirements. Proposing a standard model for solving these problems is a complicated task, since each institution has its own particularities. Thus, the objective of this work is to propose a mathematical model for the IFCE – Quixadá campus schedule problem, using the subjects of the Civil Production Engineering course for validation purposes. The objective function was built to maximize, as much as possible, the preference of teachers for consecutive days and the number of teaching days. A binary integer programming model was implemented in the CPLEX 12.9 software, with results faithfully reflecting the practices adopted at the institution, with most of the teachers having their preferences met, even considering a testing context. As future work, the model will be expanded to involve all the IFCE – Quixadá campus courses.

KEYWORDS. Timetabling, Optimization, Mathematical Modeling.

Combinatory Optimization, PO in Public Administration and Education.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

1. Introdução

Todo início de período letivo, os gestores das instituições de ensino se deparam com um problema desafiador: configurar as grades horárias das turmas – o que inclui alocar professores, salas de aula, laboratórios e quadras poliesportivas para turmas de estudantes. Tal tarefa exige grande esforço de seus funcionários em função das inúmeras restrições que surgem no problema e devido ao fato de muitas instituições de ensino não possuírem uma ferramenta computacional que auxilie neste processo [Poulsen 2012].

Segundo Valouxis et al. [2012], *timetabling problems*, também conhecido como Problemas de Alocação de Horários, são impasses que se manifestam nas mais diversas áreas de pesquisa e sua resolução consiste na alocação de recursos em determinados locais e intervalo de tempos disponíveis, com um conjunto de restrições a serem satisfeitas. No contexto escolar, surge como um problema de atribuição multidimensional, em que um professor é designado a lecionar uma disciplina em um horário e local específicos, respeitando um conjunto de restrições associadas ao problema [El-Sherbiny et al. 2015].

De acordo com Poulsen e Bandeira [2013], este tipo de problema, devido a sua natureza combinatória, acaba transformando-se em um verdadeiro quebra-cabeça, um árduo processo de tentativa e erro em que qualquer solução encontrada, mesmo com péssima qualidade, já se torna suficiente. Uma solução péssima implica em estudantes e professores prejudicados: uma distribuição de carga horária dissonante dos interesses pedagógicos, aulas em dias indesejados para professores, dentre outras inconformidades [Poulsen 2012].

Diante do crescimento das instituições de ensino e, como consequência, o surgimento de novos cursos e o aumento do número de disciplinas e de professores, o processo de alocação de horários torna-se ainda mais complexo, exigindo a aplicação de métodos que possam automatizar esse procedimento.

Um dos métodos que visam solucionar o problema supracitado são as técnicas de pesquisa operacional, que utilizam modelos constituídos por funções matemáticas que descrevem situações reais na procura de um resultado ótimo, de acordo com o objetivo especificado [Taha 2008]. Assim, a aplicação de conceitos e métodos de pesquisa operacional, combinados com as tecnologias disponíveis, tornam viáveis a descrição e solução de tais modelos.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho consiste em propor um modelo matemático para o Problema de Alocação de Horários do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE – campus Quixadá) utilizando, para fins de validação, instâncias testes do curso de Engenharia de Produção Civil. Adicionalmente será proposta uma abordagem para construção da função objetivo, relacionada ao atendimento das preferências dos professores.

2. Revisão Bibliográfica

Segundo Müller [2005] e Wren [1995], o *timetabling problem* consiste em alocar itens ou atividades no tempo e no espaço, respeitando uma série de restrições e limitações de recursos inerentes ao problema, a fim de satisfazer, da melhor maneira possível, os objetivos desejados.

Problemas de *timetabling* são frequentemente enfrentados pelas instituições de ensino em diversas situações como programação de horários de aulas, eventos, bancas de avaliação de trabalhos acadêmicos [Mendes et al. 2018]. Nesse âmbito educacional, Schaerf [1999] e Willemen [2002] propõem três classificações principais, sendo elas:

a) *School Timetabling*: programação semanal das aulas de uma instituição de ensino, evitando conflitos entres os horários das turmas e dos professores;
b) *Course Timetabling*: programação semanal para todas as aulas em uma instituição de ensino superior, reduzindo a sobreposição de aulas de disciplinas que possuem estudantes em comum;
c) *Examination Timetabling*: alocação dos exames de um conjunto de disciplinas.

Na pesquisa descrita neste artigo, considerou-se a categoria *School Timetabling*, com as suas devidas adaptações. De acordo com Dantas [2018], *School Timetabling Problem* trata-se da

atividade de programar um conjunto de encontros entre professores e estudantes, conciliando, em um intervalo de tempo específico, os requisitos e as limitações de recursos organizacionais e preferências pessoais do corpo docente e discente, de forma com que todas as restrições do problema sejam respeitadas.

A resolução não automatizada desse tipo de problema demanda uma quantidade considerável de tempo, pois dependendo da quantidade de variáveis e de restrições, pode tomar horas ou até mesmo semanas para encontrar uma solução razoavelmente satisfatória e que, na maioria das vezes, não é a solução ótima [Mendes et al. 2018], [Gall e Silva 2016]. Souza [2000] afirma que problemas de alocação de horários são pouco generalizados, pois existe uma diversidade de regimes educacionais em função da região e das particularidades de cada instituição de ensino, o que dificulta a sua solução. Os desafios inerentes a este problema têm motivado diversas pesquisas para propor métodos e ferramentas para sua resolução, como é o caso dos estudos encontrados na literatura de pesquisa operacional [Mendes et al. 2018], [Bucco et al. 2017].

3. Caso de Aplicação

O curso de Engenharia de Produção Civil (EPC) do IFCE, campus Quixadá, é ofertado ao longo de 10 semestres (compondo 10 currículos), com disciplinas acontecendo nos períodos matutino e vespertino. Cada período é composto por um conjunto de horários que contemplam um total de 20 aulas, acontecendo ao longo dos cinco dias da semana. Cada aula possui duração de 1 (uma) hora.

Para o curso de EPC, as disciplinas são divididas em dois grandes grupos: disciplinas de 2 (dois) e 4 (quatro) créditos, cada crédito representando uma aula obrigatória a ser cumprida ao longo da semana. Cada currículo possui um conjunto de disciplinas totalizando, no máximo, 20 créditos. Essas disciplinas devem ser alocadas em um único período do dia, definido a priori. Na tabela 1, apresenta-se o quadro de horários disponíveis para o curso. As siglas “M” e “T” significam, respectivamente, período diurno matutino e vespertino.

Tabela 1 – Quadro de horários

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
AB:M	07:30 - 09:30	07:30 - 09:30	07:30 - 09:30	07:30 - 09:30	07:30 - 09:30
CD:M	09:40 - 11:40	09:40 - 11:40	09:40 - 11:40	09:40 - 11:40	09:40 - 11:40
AB:T	13:30 - 15:30	13:30 - 15:30	13:30 - 15:30	13:30 - 15:30	13:30 - 15:30
CD:T	15:40 - 17:40	15:40 - 17:40	15:40 - 17:40	15:40 - 17:40	15:40 - 17:40

Fonte: Autores [2020].

Exige-se que as disciplinas possuam sempre duas aulas seguidas, alocadas em horário AB ou CD. Para as disciplinas de 4 créditos, suas aulas devem ser distribuídas em dois dias distintos. Como o período já é conhecido, o problema de horários se resume a alocar as disciplinas em um conjunto de 10 opções de horários ao longo da semana (5 dias da semana x 2 horários, por cada período). Assim, para cada período, uma semana é dividida em 10 slots de horários, conforme Tabela 2, cada um correspondendo a duas aulas seguidas.

Tabela 2 – *Slots* de horários

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
AB	*Slot* 1	*Slot* 3	*Slot* 5	*Slot* 7	*Slot* 9
CD	*Slot* 2	*Slot* 4	*Slot* 6	*Slot* 8	*Slot* 10

Fonte: Autores [2020].

Atualmente, a construção da grade escolar é feita seguindo um conjunto de passos assim definidos: cada professor da instituição recebe um número finito de aulas, variando entre 10 e 20

aulas semanais, devendo o montante ser compatível com a carga horária que regulamenta a atividade docente do IFCE. Após isso, é solicitado a cada professor o preenchimento de uma planilha informando sua preferência quanto aos dias de ensino. Isso acontece para concentrar a carga horária de ensino do docente, liberando os demais dias para as atividades de extensão, pesquisa e gestão. Por último, a grade escolar é construída com o auxílio do programa *aSc Timetables* considerando essas preferências e as restrições funcionais, como ausência de choque de horários e cumprimento de carga horária.

No entanto, a construção da grade horária com esse *software* traz uma série de limitações e atividades exaustivas, tais como inserção manual de dados, demora de processamento e reajustes posteriores, uma vez que não fornece uma solução definitiva. Diante disso, a busca por ferramentas e métodos alternativos torna-se relevante e necessária.

Neste trabalho, foram consideradas apenas opções de ensino que contemplem 3 ou 4 dias consecutivos, no sentido de compactar as aulas e evitar uma distribuição dissonante à escolha dos professores. A opção de ensino que contempla 5 dias consecutivos não foi utilizada neste trabalho, pois nenhum professor optou pela mesma. A construção da grade escolar baseada na opções de ensino dos professores é um padrão presente não só no curso de Engenharia de Produção Civil, mas também a todos os cursos do IFCE – campus Quixadá. A escolha dessas opções irá depender tanto da carga horária recebida quanto das preferências pessoais de cada professor. Dessa forma, tem-se dois grandes grupos quanto às opções de ensino (dias consecutivos):

- Grupo 1: SEG-QUA (entre segunda e quarta-feira), TER-QUI (entre terça e quinta-feira), QUA-SEX (entre quarta e sexta-feira);
- Grupo 2: SEG-QUI (entre segunda e quinta-feira), TER-SEX (entre terça e sexta-feira).

Cada professor poderá escolher apenas uma opção de dias consecutivos para ensino, mas a solução nem sempre garante que sua escolha será atendida, inclusive podendo o mesmo ser alocado fora do grupo de opções, por exemplo, uma alocação em quatro dias consecutivos quando a escolha tenha sido três.

Como proposta para a função objetivo, foram considerados dois critérios para avaliação da qualidade da solução final. Assim, a função objetivo f (p) será composta por duas parcelas, h (p) e g (p), onde p representa um professor da instituição e cada parcela representa um critério de avaliação da função objetivo.

A parcela h (p) representa o atendimento ou não da preferência do professor p quanto aos dias de ensino, enquanto a parcela g (p) representa o atendimento ou não da preferência do professor p quanto ao grupo de opções de ensino. Cada parcela h (p) e g (p) possui como contradomínio o conjunto das variáveis binárias, assumindo o valor 0 ou 1.

Essas preferências constituem dados de entrada do problema e são armazenadas, respectivamente, em duas matrizes binárias bidimensionais, uma para cada critério de avaliação. Para cada professor, basta apenas informar a opção de ensino desejada, ficando subtendido à qual grupo ele pertence. Assim, se ele escolher a opção de SEG-QUA, ele pertencerá ao grupo 1. A função objetivo, assim definida, consistirá em maximizar essas preferências tanto quanto possível, atendendo às restrições disponíveis.

Vale salientar que o objetivo desse modelo é gerar uma solução viável de boa qualidade, e não uma solução ótima, e isto se justifica devido ao tamanho das instâncias testes: a carga horária de cada professor é restrita ao contexto do curso de Engenharia de Produção Civil, fazendo com que alguns passem a ensinar em apenas um ou dois dias. Assim, devido a carga horária reduzida desses professores, a busca por uma solução ótima passa a possuir apenas um significado numérico.

4. Modelo Matemático

Nesta seção o modelo matemático proposto é apresentado, dividido em cinco subseções: parâmetros do modelo; subconjuntos; variáveis de decisão; função objetivo; restrições.

4.1. Parâmetros do modelo

S – Conjunto das turmas do curso de Engenharia de Produção Civil ($s \in \{s_1, s_2, \ldots, |\mathbf{S}|\}$).
P – Conjunto dos professores do curso de Engenharia de Produção Civil ($p \in \{p_1, p_2, \ldots, |\mathbf{P}|\}$).
K – Conjunto dos *slots* de horários ($k \in \{k_1, k_2, \ldots, |\mathbf{K}|\}$).
D – Conjunto das opções de ensino ($d \in \{d_1, d_2, \ldots, |\mathbf{D}|\}$).
C – Conjunto dos currículos do curso de Engenharia de Produção Civil. ($c \in \{c_1, c_2, \ldots, |\mathbf{C}|\}$).
J – Conjunto dos dias letivos da semana. ($j \in \{j_1, j_2, \ldots, |\mathbf{J}|\}$).
T – Conjunto dos períodos para os currículos do curso de Engenharia de Produção Civil.
($t \in \{t_1, t_2, \ldots, |\mathbf{T}|\}$).
G – Conjunto dos grupos das opções de ensino ($g \in \{g_1, g_2, \ldots, |\mathbf{G}|\}$).
$\mathbf{A_{|P|x|D|}}$ – Matriz binária de preferência dos professores quanto aos dias de ensino. $\mathbf{A_{|P|x|D|}} = (a_{pd})_{\mathbf{|P|x|D|}}$, onde $1 \leq p \leq |\mathbf{P}|, 1 \leq d \leq |\mathbf{D}|$, com $p, d \in \mathbf{Z}$.
$\mathbf{B_{|P|x|G|}}$ – Matriz binária de preferência dos professores quanto aos grupos das opções de ensino. $\mathbf{B_{|P|x|G|}} = (b_{pg})_{\mathbf{|P|x|G|}}$, onde $1 \leq p \leq |\mathbf{P}|, 1 \leq g \leq |\mathbf{G}|$, com $p, g \in \mathbf{Z}$.

4.2 Subconjuntos

$\mathbf{S_2}$ – Subconjunto das turmas com 2 créditos, $\mathbf{S_2} \subset \mathbf{S}$.
$\mathbf{S_4}$ – Subconjunto das turmas com 4 créditos, $\mathbf{S_4} \subset \mathbf{S}$.
$\mathbf{S_t}$ – Subconjunto das turmas do período t, $t \in \mathbf{T}$, $\mathbf{S_t} \subset \mathbf{S}$.
$\mathbf{S_p}$ – Subconjunto das turmas ministradas pelo professor p, $p \in \mathbf{P}$, $\mathbf{S_p} \subset \mathbf{S}$.
$\mathbf{S_c}$ – Subconjunto das turmas do currículo c, $c \in \mathbf{C}$, $\mathbf{S_c} \subset \mathbf{S}$.
$\mathbf{K_j}$ – Subconjunto dos *slots* de horário contidos no dia letivo j, $j \in \mathbf{J}$, $\mathbf{K_j} \subset \mathbf{K}$.
$\bar{\mathbf{K}}_\mathbf{d}$ – Subconjunto dos *slots* de horário contidos na opção de ensino d, $d \in \mathbf{D}$, $\bar{\mathbf{K}}_\mathbf{d} \subset \mathbf{K}$.
$\ddot{\mathbf{K}}_\mathbf{d}$ – Subconjunto dos *slots* de horário não-contidos na opção de ensino d, $d \in \mathbf{D}$, $\ddot{\mathbf{K}}_\mathbf{d} \subset \mathbf{K}$.
$\mathbf{G_d}$ – Grupo que a opção de ensino d pertence, $d \in \mathbf{D}$, $\mathbf{G_d} \subset \mathbf{G}$.

4.3 Variáveis de decisão

$$x_{sk} = \begin{cases} 1, \text{se a turma s for alocada no } slot \text{ de horário k}, & s \in \mathbf{S},\ k \in \mathbf{K} \\ 0, \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$y_{pd} = \begin{cases} 1, \text{se o professor p for alocado na opção de ensino d}, & p \in \mathbf{P},\ d \in \mathbf{D} \\ 0, \text{caso contrário} \end{cases}$$

4.4 Função objetivo

$$\max z = \sum_{p \in \mathbf{P}} \sum_{d \in \boldsymbol{D}} y_{pd} \times a_{pd} + \sum_{p \in \mathbf{P}} \sum_{d \in \boldsymbol{D}} y_{pd} \times b_{p\mathrm{G}_d} \qquad (1)$$

4.5 Restrições

1. Turmas de 2 créditos deverão cumprir 2 aulas semanais.

$$\sum_{\mathrm{k} \in \mathbf{K}} x_{sk} = 1, \qquad \forall\, s \in \boldsymbol{S_2} \qquad (2)$$

2. Turmas de 4 créditos deverão cumprir 4 aulas semanais.

$$\sum_{\mathrm{k} \in \mathbf{K}} x_{sk} = 2, \qquad \forall\, s \in \boldsymbol{S_4} \tag{3}$$

3. Não poderá haver sobreposição de horários para turmas de mesmo currículo.

$$\sum_{\mathrm{s} \in \mathbf{S_c}} x_{sk} \leq 1, \qquad \forall\, \mathrm{c} \in \mathbf{C}, \mathrm{k} \in \mathbf{K} \tag{4}$$

4. Uma turma de 4 créditos não pode ser alocada em um único dia.

$$\sum_{k \in \mathbf{K_j}} x_{sk} \leq 1, \ \forall\ s \in \boldsymbol{S_4}, \mathrm{j} \in \mathbf{J} \tag{5}$$

5. Os professores não podem ter sobreposição de horários.

$$\sum_{s \in \mathbf{S_t} \cap s \in \mathbf{S_p}} x_{sk} \leq 1, \ \forall\ p \in \mathbf{P}, \mathrm{k} \in \mathbf{K}, \mathrm{t} \in \mathbf{T} \tag{6}$$

6**.** Cada professor deve escolher, apenas, uma opção e ensino.

$$\sum_{\mathrm{d} \in \mathbf{D}} y_{pd} = 1, \ \forall\ p \in \mathbf{P} \tag{7}$$

7. Todas as turmas devem ser alocadas nos mesmos dias dos respectivos professores.

$$y_{pd} \times \sum_{s \in \mathbf{S_p}} \sum_{k \in \ddot{\mathbf{K}}_{\boldsymbol{d}}} x_{sk} = 0, \ \forall\ p \in \mathbf{P}, \mathrm{d} \in \mathbf{D} \tag{8}$$

8. Variáveis binárias.

$$x_{sk}, y_{pd} \in \{0, 1\}, \forall\, s \in \boldsymbol{S}, k \in \boldsymbol{K}, p \in \boldsymbol{P}, d \in \boldsymbol{D} \tag{9}$$

5. Resultados

Esta seção apresenta os resultados obtidos pela simulação com as instâncias testes. O modelo foi resolvido com o auxílio do software IBM ILOG CPLEX 12.9, versão estudante, na linguagem OPL (*Optimization Programming Language*) em um computador Intel® Celeron®, com sistema operacional Windows 10®, *clock* de 1.6 GHz e memória RAM de 4GB.

Os dados de entrada utilizados no problema foram fornecidos pela coordenação do curso de Engenharia de Produção Civil, referente à alocação do semestre 2019.2, no formato de planilhas eletrônicas. De posse desses dados, foi estabelecida uma conexão entre essas planilhas e o software CPLEX através de um *script* de pré-processamento da linguagem OPL, utilizada neste trabalho.

Esses dados de entrada foram organizados em duas estruturas de dados: a primeira com a relação entre as disciplinas e os respectivos períodos, quantidade de créditos, professor e currículo; e a segunda com a relação entre os professores e suas preferências quantos aos dias de ensino. Essas informações podem ser visualizadas nas tabelas 3 e 4. Na ocasião em que foi simulado, constavam 63 disciplinas e 37 professores, todos integrantes do curso de Engenharia de

Produção Civil. Esses dados foram utilizados para construção dos conjuntos e parâmetros do modelo apresentado na seção anterior.

Tabela 3 – Relação entre disciplinas, períodos e professores

Disciplina	Per.	Cr.	Prof.	Semestre	Disciplina	Per.	Cr.	Prof.	Semestre
Cálculo I	Manhã	4	Prof. 1	S1	Mec. dos solos	Tarde	4	Prof. 26	S6
Introdução à Adm.	Manhã	2	Prof. 2	S1	Orçamento	Tarde	2	Prof. 21	S6
Introdução à Econ.	Manhã	2	Prof. 3	S1	Ind. CC	Tarde	2	Prof. 18	S6
Introdução a EPC	Manhã	2	Prof. 4	S1	Ergonomia	Manhã	2	Prof. 11	S7
Química Tec.	Manhã	4	Prof. 5	S1	Higiene e S.T	Manhã	2	Prof. 12	S7
Estatística e Prob.	Manhã	4	Prof. 6	S1	Logística E.	Manhã	4	Prof. 2	S7
Desenho Téc.	Manhã	2	Prof. 7	S1	Gest. de Custos	Manhã	2	Prof. 24	S7
Cálculo III	Manhã	4	Prof. 8	S3 – Mat.	PO I	Manhã	4	Prof. 4	S7
Física II	Manhã	4	Prof. 9	S3 – Mat.	Plan. Ger. de Pr.	Manhã	4	Prof. 4	S7
Mec. Geral	Manhã	4	Prof. 10	S3 – Mat.	Hidrologia	Manhã	2	Prof. 20	S7
Gest. da Qual.	Manhã	4	Prof. 11	S3 – Mat.	Fundamentos J.	Tarde	2	Prof. 27	S8
Topografia	Manhã	4	Prof. 12	S3 – Mat.	Humanidades	Tarde	2	Prof. 28	S8
Cálculo III	Tarde	4	Prof. 13	S3 – Ves.	Gestão A.	Tarde	2	Prof. 29	S8
Física II	Tarde	4	Prof. 14	S3 – Ves.	Sistemas de T.	Tarde	2	Prof. 30	S8
Mec.Geral	Tarde	4	Prof. 10	S3 – Ves.	Projeto do TCC	Tarde	2	Prof. 11	S8
Gest. da Qual.	Tarde	4	Prof.11	S3 – Ves.	Libras	Tarde	2	Prof. 31	S8
Topografia	Tarde	4	Prof. 12	S3 – Ves.	Projetos S.	Manhã	2	Prof. 32	S9
Física III	Tarde	4	Prof. 15	S4	Gestão de P.	Manhã	2	Prof. 33	S9
Mec. dos Fluidos	Tarde	4	Prof. 16	S4	Gestão da C.S	Manhã	2	Prof. 2	S9
Resist. dos Mat.	Tarde	4	Prof. 17	S4	Gestão da TI	Manhã	4	Prof. 34	S9
Adm. da Prod.I	Tarde	4	Prof. 3	S4	PO II	Manhã	2	Prof. 4	S9
Mat. de Const.	Tarde	4	Prof. 18	S4	Estradas	Manhã	4	Prof. 21	S9
Met. da Pesq.	Manhã	2	Prof. 19	S5	Estrut. Concreto	Manhã	4	Prof. 35	S9
Hid. Apl.	Manhã	4	Prof. 20	S5	Adm. Estr.	Manhã	2	Prof. 3	S10
Est. das Constr.	Manhã	4	Prof. 17	S5	Est. de Aço	Manhã	4	Prof. 35	S10
Inst. Elétricas.	Manhã	4	Prof. 21	S5	Gest. da Inov.	Manhã	2	Prof. 2	S10
Construção Civil	Manhã	4	Prof. 22	S5	Plan. Industrial	Manhã	2	Prof. 11	S10
Geologia Eng.	Manhã	2	Prof. 23	S5	Saneamento	Manhã	4	Prof. 36	S10
Gest. Fin.	Tarde	2	Prof. 24	S6	Elaboração TCC	Manhã	2	Prof. 10	S10
Adm. da Prod II	Tarde	2	Prof. 2	S6	Gest. Res.CC	Manhã	2	Prof. 37	S10
Ger. de Obras	Tarde	4	Prof. 25	S6	Pato. Rec. Const.	Manhã	2	Prof. 18	S10
Proj. Hidro. San	Tarde	4	Prof. 22	S6					

Fonte: Autores [2020].

Tabela 4 – Relação entre professores e suas preferências

Prof.	Preferência	Prof.	Preferência	Prof.	Preferência
Prof. 1	SEG - QUA	Prof. 14	SEG - QUA	Prof. 27	INDIF.
Prof. 2	SEG - QUA	Prof. 15	SEG - QUA	Prof. 28	TER - QUI
Prof. 3	SEG - QUA	Prof. 16	SEG - QUA	Prof. 29	SEG - QUA
Prof. 4	QUA - SEX	Prof. 17	QUA - SEX	Prof. 30	TER - QUI
Prof. 5	SEG - QUA	Prof. 18	SEG - QUA	Prof. 31	TER - QUI
Prof. 6	QUA - SEX	Prof. 19	TER - QUI	Prof. 32	TER - QUI
Prof. 7	INDIF.	Prof. 20	QUA - SEX	Prof. 33	SEG - QUA
Prof. 8	TER - QUI	Prof. 21	TER - QUI	Prof. 34	QUA - SEX
Prof. 9	QUA - SEX	Prof. 22	TER - QUI	Prof. 35	SEG - QUA
Prof. 10	TER - QUI	Prof. 23	TER - SEX	Prof. 36	TER - QUI
Prof. 11	SEG - QUA	Prof. 24	INDIF.	Prof. 37	SEG - QUA
Prof. 12	QUA - SEX	Prof. 25	SEG - QUA		
Prof. 13	QUA - SEX	Prof. 26	QUA - SEX		

Fonte: Autores [2020].

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Para obtenção da solução, simulou-se o modelo uma primeira vez apenas para verificação do comportamento do tempo de execução. Constatou-se que a solução se estabilizava em aproximadamente 2 minutos, tendo poucas variações após esse tempo. Assim, definiu-se em uma segunda simulação um tempo de 2 minutos como critério de parada para obtenção da solução viável. Nesses resultados, duas estruturas de dados foram gravadas na mesma planilha de origem, pertinentes às variáveis x_{sk} e y_{pd}, representando, respectivamente, a alocação das disciplinas e a alocação dos professores nos dias da semana (ou nas opções de ensino). Para a variável y_{pd}, obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 5 – Resultados para y_{pd}

Professor	**Alocação**	**Preferência**	***Status* Critério 1**	***Status* critério 2**
Prof. 1	SEG - QUA	SEG - QUA	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 2	SEG - QUA	SEG - QUA	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 3	SEG - QUA	SEG - QUA	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 4	QUA - SEX	QUA - SEX	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 5	SEG - QUA	SEG - QUA	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 6	QUA - SEX	QUA - SEX	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 7	QUA - SEX	INDIFERENTE	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 8	SEG - QUA	TER - QUI	NÃO ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 9	QUA - SEX	QUA - SEX	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 10	TER - QUI	TER - QUI	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 11	SEG - QUA	SEG - QUA	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 12	QUA - SEX	QUA - SEX	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 13	QUA - SEX	QUA - SEX	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 14	SEG - QUA	SEG - QUA	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 15	SEG - QUA	SEG - QUA	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 16	SEG - QUA	SEG - QUA	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 17	QUA - SEX	QUA - SEX	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 18	QUA - SEX	SEG - QUA	NÃO ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 19	TER - QUI	TER - QUI	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 20	SEG - QUA	QUA - SEX	NÃO ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 21	SEG - QUA	TER - QUI	NÃO ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 22	TER - QUI	TER - QUI	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 23	TER - SEX	TER - SEX	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 24	QUA - SEX	INDIFERENTE	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 25	SEG - QUA	SEG - QUA	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 26	QUA - SEX	QUA - SEX	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 27	TER - SEX	INDIFERENTE	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 28	TER - QUI	TER - QUI	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 29	SEG - QUA	SEG - QUA	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 30	TER - QUI	TER - QUI	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 31	TER - QUI	TER - QUI	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 32	TER - QUI	TER - QUI	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 33	SEG - QUA	SEG - QUA	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 34	QUA - SEX	QUA - SEX	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 35	SEG - QUA	SEG - QUA	ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 36	QUA - SEX	TER - QUI	NÃO ATENDIDO	ATENDIDO
Prof. 37	SEG - QUA	SEG - QUA	ATENDIDO	ATENDIDO

Fonte: Autores [2020].

Do total de 37 professores, apenas 2 escolheram ensinar em 4 dias consecutivos (opção de ensino pertencente ao grupo 2), tendo sua exigência atendida em ambos os critérios (dias de ensino e dias seguidos). Os demais escolheram ensinar em três dias consecutivos, e destes, apenas

5 professores não foram atendidos, mantendo, no entanto, a quantidade de dias originalmente exigida. Todos os professores foram atendidos no segundo critério.

Para a variável x_{sk} , os resultados foram organizados já na grade escolar, apresentando os seguintes resultados (quadros 1 e 2):

Quadro 1 – Grade escolar (semestres 1 a 5)

		EPC-S1 (Manhã)	**EPC-S3 – Mat. (Manhã)**	**EPC-S3 – Ves. (Tarde)**	**EPC-S4 (Tarde)**	**EPC-S5 (Manhã)**
Segunda	**AB**	Introdução à. Econ.	Gest. da qualidade	Gest. da qualidade	Física III	Hidráulica Aplicada
	CD	Cálculo I	Cálculo III	Física II	Adm. Prod. Op. I	Inst. Elétricas Prediais
Terça	**AB**	Cálculo I	Mec. Geral	Gest. da Qualidade	Mec. fluidos	Inst. Elétricas Prediais
	CD	Química Tec.	Cálculo III	Mec. Geral	Física III	Hidráulica Aplicada
Quarta	**AB**	Química Tec.	Gest. da qualidade	Topografia	Adm. Prod. Op. I	Metod. da Pesquisa
	CD	Introdução à Adm.	Mec. Geral	Física II	Mec. dos fluidos	Construção Civil
Quinta	**AB**	Estatística e Prob.	Topografia	Mec. Geral	Resistência dos Mat.	Estática das Constr.
	CD	Intr. EPC	Física II	Cálculo III	Materiais de Constr.	Construção Civil
Sexta	**AB**	Estatística e Prob.	Topografia	Topografia	Materiais de Constr.	Geologia para Eng.
	CD	Desenho Técnico	Física II	Cálculo III	Resistência dos Mat.	Estática das Constr.

Fonte: Autores [2020].

Quadro 2 – Grade escolar (semestres 6 a 10)

		EPC-S6 (Tarde)	**EPC-S7 (Manhã)**	**EPC-S8 (Tarde)**	**EPC-S9 (Manhã)**	**EPC-S10 (Manhã)**
Segunda	**AB**	Ger. de Obras	Logística Empr.	-	Estradas	Estrut. de Aço e Madeira
	CD	Adm. Prod. Op. II	Hidrologia	Projeto TCC	Estrut. de Concreto	Gestão da Inovação
Terça	**AB**	Ger. de Obras	Ergonomia	Gestão Amb.	Gestão da C.S	Estrut. de Aço e Madeira
	CD	Orçamento	Logística Empr.	-	Gestão de Pessoas	Plan. Industrial
Quarta	**AB**	Mec. dos Solos	Pesquisa Op. I	Humanidades	Estrut. de Concreto	Gest. dos Resíduos. CC
	CD	Proj. Hidro San.	Plan. e Ger. de Proj	-	Estradas	Adm. Estratégica
Quinta	**AB**	Proj. Hidro San.	Plan. e Ger. de Proj	Sist. de Transp.	Gestão da TI	Saneamento
	CD	Mec. dos Solos	Hig. Seg. Trab.	Libras	Projetos Sociais	Elaboração TCC
Sexta	**AB**	Gestão Financeira	Pesquisa Op.I	Fund. Jurídicos	Gestão da TI	Saneamento
	CD	Industr. da C.C	Gest. Custos	-	Pesquisa Op. II	Patologia das Constr.

Fonte: Autores [2020].

6. Considerações finais

O objetivo deste trabalho foi propor um modelo matemático para resolver o problema de alocação de horários do IFCE – *campus* Quixadá. Para isso, usou-se como instâncias testes as disciplinas que integram o curso de Engenharia de Produção Civil. Os critérios utilizados para avaliação da qualidade da função objetivo foram aqueles relacionados ao atendimento da preferência dos professores, sendo o primeiro associado à preferência quanto aos dias sequenciais de ensino, e o segundo associado à preferência quanto à quantidade de dias de ensino, ou seja, quanto ao grupo de dias escolhidos (Grupo 1 ou Grupo 2). Esses são os critérios utilizados atualmente na construção da grade escolar pelo IFCE – *campus* Quixadá.

A escolha das opções de ensino em dias sequenciais, no IFCE**,** foi pensada com o intuito de evitar aulas em dias distantes, por exemplo, aulas na segunda, quarta e sexta-feira, quando ministradas por um mesmo professor. Assim, é adotado o princípio de tentar alocar os professores dentro do grupo com a quantidade de dias escolhido por eles, ou, quando possível, nos próprios dias sequenciais preferíveis. Neste modelo, a solução obtida reflete bem esse comportamento, pois embora alguns professores não tenham sido alocados nos dias sequenciais escolhidos, todos tiveram a preferência pelo grupo, relacionado à quantidade dias, atendida.

A simplicidade do modelo e a qualidade da solução final refletem bem a sua eficiência, podendo servir como base para trabalhos futuros. Propõe-se, dessa forma, a inclusão dos demais cursos ofertados pelo IFCE – *campus* Quixadá, inclusive os cursos técnicos, com turmas de 1 (um), 2 (dois), 3 (três) e 4 (quatro) créditos ao longo da semana, uma vez que é comum o compartilhamento de professores entre diferentes cursos, aumentando a probabilidade de choques de horários e, consequentemente, a redução do espaço de soluções, o que implica em um maior tempo para processamento.

Uma restrição ainda não comportada pelo atual modelo diz respeito à exigência de que um professor ensine em todos os dias da opção em que fora alocado. Tal restrição não foi implementada devido ao tamanho das instâncias testes, com professores cujas cargas horárias estão bem aquém da realidade, considerando o cenário de todos os cursos integrantes da instituição em que o mesmo leciona. Assim, ao simular apenas um curso, alguns professores foram alocados em apenas um ou dois dias da grade semanal. No entanto, ao simular todos os cursos, a restrição antes mencionada passa a tornar-se necessária; a função objetivo também passará a ter um maior significado prático, viabilizando a busca por uma solução ótima.

Referências

Bucco, G. B., Bornia-Poulsen, C. J. e Bandeira, D. L. (2017). Desenvolvimento de um modelo de programação linear para o problema da construção de grades horárias em universidades. *Gestão e Produção*, vol.24, n.1, p. 40-49. ISSN 1806-9649.

Dantas, L. H. A. (2018). *Uma abordagem metaheurística para o problema de alocação de horário escolar no IFRN*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Software da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal.

El-Sherbiny, M. M., Zeineldin, R. A. e El-Dhshan, A. M. (2015). Genetic algorithm for solving course timetable problems. *International Journal of Computer Applications*, 124: 1-7.

Gall, A. F. N. e Da Silva, A. R. V. (2016). Alocação de horários de professores e turmas em um curso universitário. In *Anais do XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, p. 2386-2393, Vitória. SOBRAPO.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Mendes, R., Concatto, F. e Santiago, R. (2018). Desenvolvimento de um modelo exato de alocação de disciplinas no contexto de um curso de graduação. In *Anais do L Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro, 2018. SOBRAPO.

Müller, T. (2005). *Constraint-based timetabling*. Tese de Ph.D. Faculty of Mathematics and Physics, Charles University in Prague, Prague.

Poulsen, C. J. B. e Bandeira, D. L. (2013). Desenvolvimento de um modelo matemático para apoio à decisão na programação de grades horárias de escolas de excelência pedagógica. In *Anais do IV Encontro de Administração da Informação*, p. 1-14, Bento Gonçalves. EnADI.

Poulsen, C. J. B. (2012). *Desenvolvimento de um modelo para School Timetabling Problem baseado na meta-heurística Simulated Annealing.* Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Souza, M. J. F. (2000). *Programação de horários em escolas: uma aproximação por metaheurísticas.* Tese de Doutorado. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

Taha, H. A. (2008). *Pesquisa operacional*: uma visão geral. Pearson Prentice Hall, São Paulo.

Schaerf, A. (1999). A survey of automated timetabling. *Artificial intelligence review*,13:87–127.

Valouxis, C., Gogos, C., Goulas, G., Alefragis, P. e Housos, E. (2012). A systematic two phase approach for the nurse rostering problem. *European Journal of Operational Research*, 219:425–433.

Willemen, R. J. (2002). *School timetable construction: algorithms and complexity*. Tese de Doutorado. Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.

Wren, A. (1995). *Scheduling, timetabling and rostering - A special relationship?* In *Anais da I International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, p. 46–75, Edimburgo, 1995. EWG-PATAT.