

Proposta de Alocação de Horários de Professores e Turmas em Instituições de Ensino Superior Utilizando uma Heurística VNS/VND**Bruno Missi Xavier**DATA CI – Companhia de Tecnologia da Informação de Cachoeiro de Itapemirim – ES; USC
São Camilo-ES
Rua 25 de Março, 28 - Centro - CEP: 29300-970 - Cachoeiro de Itapemirim - ES
e-mail: bmissix@gmail.com**Alcione Dias da Silva**DATA CI – Companhia de Tecnologia da Informação de Cachoeiro de Itapemirim – ES
Rua 25 de Março, 28 - Centro - CEP: 29300-970 - Cachoeiro de Itapemirim - ES
e-mail: diasalcione@gmail.com**Dalessandro Soares Vianna**Universidade Federal Fluminense - UFF/PURO
dalessandro@ucam-campos.br**Helder Gomes Costa**Universidade Federal Fluminense
helder.uff@gmail.com**Willen Borges Coelho**UCAM – Universidade Cândido Mendes
e-mail: spawnzao@gmail.com**RESUMO**

Problemas de alocação de horários são comuns todo início de período letivo nas instituições de ensino superior. Esta tarefa torna-se ainda mais complexa quando se aumenta o número de professores, turmas, disciplinas e cursos envolvidos. Este trabalho apresenta uma proposta para a solução de um problema de uma classe conhecida na literatura científica com *Timetabling Problems*, através do desenvolvimento de uma heurística baseada em um modelo de Pesquisa em Vizinhanças Variáveis, aplicada aos cursos de Sistemas de Informação e Análise e Desenvolvimento de Sistemas de um Centro Universitário no Espírito Santo. Quanto a metodologia, foram selecionados 2 cursos envolvendo 7 turmas, 36 disciplinas e 20 professores. O algoritmo foi desenvolvido em linguagem Java 1.7.x baseado na meta-heurística VNS/VND. As comparações realizadas entre os resultados do processo manual e o processo automatizado demonstram que o método proposto obteve uma expressiva melhora na qualidade da solução, além da redução do tempo para a confecção dos horários. Este trabalho contribui a medida que promove a discussão sobre os problemas de alocação de horários e descreve o desenvolvimento da solução proposta.

PALAVRAS CHAVE: Alocação de Horários Escolares; Meta-heurística; VNS/VND.**Área principal (OC - Otimização Combinatória, MP - Modelos Probabilísticos, EDU - PO na Educação)****ABSTRACT**

Timetabling problems are common throughout the beginning of every school year in institutions

of higher education. This task becomes even more complex when increasing the number of teachers, classes, courses and disciplines involved. This paper presents a proposal for the solution of the Timetabling Problems as it is known in scientific literatures, through developing a heuristic based on a model search in neighborhoods variables, when applied to the courses of Information Systems, Systems Development, and Analysis at the University of the Espírito Santo. As a methodology, we selected two courses involving 7 classes, 37 disciplines and 21 teachers. The algorithm was developed using Java 1.7.x based meta-heuristics VNS / VND. The comparisons between the results of the manual and automated process demonstrates that the proposed method obtained a significant improvement in the quality of solution and the reduction of time required for the preparation of schedules. This paper promotes discussion on the problems regarding the allocation of schedules and describes the development of the proposed solution.

KEYWORDS: School Timetabling; Meta-heuristics; VNS/VND.

KEYWORDS: School Timetabling; Meta-heuristics; VNS/VND.

Main area (OC - Otimização Combinatória, MP - Modelos Probabilísticos, EDU - PO na Educação)

1. Introdução

Os problemas de alocação de horários escolares são recorrente a cada novo período nas instituições de ensino do país. Este problema torna-se ainda mais complexo a medida que aumentam as variáveis envolvidas, tornando-se cada vez maior o número de combinações possíveis e podendo chegar ao ponto de torná-lo de difícil solução para métodos exatos. O método manual para resolução destes problemas exige a atenção de muitos profissionais demandando muito tempo de trabalho. Soluções computacionais otimizam os resultados além de reduzir o número de profissionais envolvidos no processo e o tempo gasto para confecção dos horários.

Souza (2000) aponta que problemas de alocação de horários são bastante específicos de cada instituição devido a grande diversidade de regimes educacionais, podendo variar de acordo com a região ou características próprias de cada instituição de ensino. Desta forma, é um consenso entre a comunidade científica a dificuldade de produzir instâncias de teste para este problema devido à própria dificuldade de generalização do mesmo. Contudo, o grupo WATT (*WorkGroup on Automated TimeTabling*, <http://www.asap.cs.nott.ac.uk/external/watt/index.shtml>), tem se esforçado para criar uma base de instâncias para o problema.

Os métodos heurísticos são amplamente utilizados para resolução de problemas de complexidade NP-Difícil, onde incluem-se os problemas de alocação de horários. Estes métodos são conhecidos por encontrar soluções satisfatórias não necessariamente ótimas em tempo computacional aceitável. Entre os métodos heurísticos de melhor eficiência, destacam-se aqueles baseados em técnicas de busca local como Busca Tabu, *Simulated Annealing* e VNS/VND (SANTOS, 2007).

Hansen e Mladenovic (1997) propuseram uma meta-heurística intitulada *Variable Neighborhood Search* (VNS) baseada em buscas sistemáticas em vizinhanças variáveis. Esta meta-heurística explora de forma incremental os espaços de vizinhança da solução atual, variando as vizinhanças de acordo com a qualidade das soluções encontradas.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de uma solução para os problemas de alocação de horários para uma instituição de ensino superior através da construção de uma heurística baseada nos modelos VNS/VND. Para confecção de uma instância de teste foram utilizadas 7 (sete) turmas, 37 (trinta e sete) disciplinas e 21 (vinte e um) professores dos cursos de Sistemas de Informação e Análise e Desenvolvimento de Sistemas. A relevância deste estudo está associada a discussão dos problemas de alocação de horários e ao desenvolvimento de um modelo heurístico baseado no VNS/VND, além da criação de um algoritmo heurístico que tem por objetivo maximizar a preferência dos professores aos dias e horários de aulas.

2. Revisão da literatura

2.1 Levantamento bibliográfico

Subramanian (2006) trata do problema de alocação de salas do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, utilizando metaheurísticas Busca Tabu. Esta instituição possui um total de 28 salas de aulas divididas em três tipos: 17 salas com carteiras, 8 salas com mesas, 3 salas com pranchetas. Neste caso observou-se que os resultados apresentados pelo procedimento desenvolvido foram superiores aos procedimentos manuais, visto que, desta forma, não foi possível alocar cerca de 4,7% do total de horas/aula. Além disso, a solução apresentou-se robusta, não havendo grande variabilidade na solução final.

Subramanian (2007) abordou problemas de alocação de horários individuais de alunos do curso de Engenharia de Produção Mecânica da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Para resolver este problema, foi construído um modelo de programação inteira, identificadas 920 variáveis inteiras e 4862 restrições. Os resultados apresentados demonstram uma boa qualidade da solução proposta, além disso, o tempo médio de processamento em um Notebook Intel Pentium Centrino 1.86 GHz com 1024 MB de memória RAM com sistema operacional Windows XP – *Home Edition* foi próximo a 2 segundos.

Gonçalves (2009) utiliza APS (*Advanced Planning System*) para otimização das decisões na operação de ensino. Ele sugere o uso do método para definir poder de planejamento e programação ainda mais eficiente que o tradicional MRP (*Material Requirement Planning*) e MRPII (*Manufacturing Resource Planning*).

Abensur e Oliveira (2012) desenvolveram uma heurística própria e adequada às necessidades da instituição para otimizar os horários de professores, turmas, salas de aula e laboratórios. A aplicação foi construída na plataforma *Microsoft Excel*® utilizando a linguagem *Visual Basic*. Os resultados obtidos pela heurística proposta alcançaram soluções superiores quando comparadas com os resultados dos Algoritmos Genéticos (AG's) e com o método manual.

Oliveira, Vianna e Vianna (2012) propõem uma heurística GRASP utilizando como busca local o método VND para solucionar os problemas de alocação de horários escolares da Escola Agrotécnica Federal de Alegre - ES nos anos de 2006 e 2007. Os resultados obtidos pelo algoritmo construído alcançaram cerca de 85% de viabilidade das restrições definidas para determinar a qualidade da solução.

2.2 Variações do problema

Uma dificuldade no estudo do problema é a grande variedade de soluções geradas. Apesar de o problema ser bastante estudado, não possui uma formulação padrão, muito menos um conjunto de instâncias de dados para testes. A cada variação estudada são produzidas novas instâncias de dados que geralmente já tratam da aplicação objetivo do trabalho.

Schaerf (1996) (Certo é 1999) classifica as variações do problema em três tipos principais de acordo com o tipo da instituição envolvida e do tipo dos requisitos:

- a. **School Timetabling:** agendamento semanal em escolas de 2º grau;
- b. **Course Timetabling:** agendamento semanal para cursos universitários;
- c. **Examination Timetabling:** agendamento dos exames de um conjunto de cursos universitários.

Schaerf (1996) ainda diz que esta classificação não é rigorosa no sentido de que alguns problemas específicos podem ser caracterizados entre duas destas classificações. Desta forma, Carter e Laporte (1996) identificaram cinco subclassificações para *TimeTabling Problems* (TTP).

- a. Horários de cursos.
- b. Horários de alocação de professores em turmas.
- c. Programação de horários de estudantes.
- d. Atribuição de professores.
- e. Atribuição de salas de aula.

Para cada uma destas variações ainda pode-se encontrar restrições diferentes, como distâncias entre salas de aula, considerações entre tempo de deslocamento, professores multidisciplinares, capacidade de alunos em turmas e muitas outras. Para a adição de cada nova restrição altera-se o conjunto de dados inicial de modo a conseguir o atendimento da nova restrição. Yoshikawa et. al. (1996) consideram que algumas disciplinas podem ser ministradas em conjunto com diversas turmas. No exemplo do autor, Educação Física pode ser utilizada nesta categoria. Para Cooper e Kingston (1993), as disciplinas ao longo do período letivo podem ser ministradas por mais de um professor, estando as aulas associadas apenas as disciplinas.

Ferland e Roy (1985) tratam as aulas em tamanhos variáveis, podendo durar dois ou três períodos. Ainda de forma mais genérica, Hertz (1992) aborda problemas em que aulas de qualquer disciplina tenham tamanhos diferentes não se enquadrando em períodos pré-definidos.

Nos problemas de alocação de horários para exames, abordados por Sahni e Gonzalez (1976), o objetivo é agendar avaliações eliminando conflitos em horários de provas. As variações para este problema podem alternar entre máximo de avaliações diárias, salas para acomodação dos alunos entre muitas outras.

2.3 Caracterização do problema

Problemas de alocação de horários tratam de agendamentos semanais de aulas para professores e turma em uma quantidade definida de horas por dia. As características restritivas comumente apresentadas para este problema são (SOUSA; MORETTI; PODESTÁ, 2008;

ABENSUR; OLIVEIRA, 2012):

- a. Dias da semana ou horários em que o professor não pode dar aula.
- b. Uma turma não pode estar associada a mais de um professor em um horário de aula.
- c. Um professor não pode estar mais de uma turma em um horário de aula.
- d. Cada professor seguir uma carga horária semanal mínima e máxima.

Existem também características não restritivas ao problema, mas que a observação destas melhora a qualidade da solução:

- a. Minimizar intervalos de aulas vagas entre horários de aulas de um professor em um dia.
- b. Agrupar aulas de uma mesma disciplina em um dia.
- c. Sempre que possível, deve haver um intervalo de tempo entre aulas não consecutivas de uma mesma disciplina.

2.4 Modelo conceitual da meta-heurística VNS/VND

2.4.1 VNS

O modelo metaheurístico de Pesquisa em Vizinhança Variável (*Variable Neighborhood Search*, VNS) proposto por Mladenovic e Hansen (1997) é considerado um método de exploração sistemática de vizinhanças variáveis, onde, diferente de outros métodos baseados em busca local, não segue uma trajetória, mas explora o espaço de solução através de buscas na vizinhança N_k da solução corrente. Este método inclui um procedimento de busca local a ser aplicado à solução corrente. A Figura 1 apresenta o pseudocódigo do VNS.

Procedimento VNS	1
Seja s_0 uma solução inicial;	2
Seja r o número de estruturas diferentes de vizinhança;	3
$s \leftarrow s_0$;	4
Enquanto critério de parada não satisfeito faça	5
$k \leftarrow 1$	6
Enquanto $k \leq r$ faça	7
Gere um vizinho qualquer $s_1 \in N(k, s)$	8
$s_2 \leftarrow$ Busca Local (s_1)	9
Se $f(s_2) > f(s)$ então	10
$s \leftarrow s_2$;	11
$k \leftarrow 1$;	12
Senão	13
$k \leftarrow k + 1$;	14
Fim Enquanto	15
Fim Enquanto	16
Retorne s	17
Fim Procedimento;	18

Figura 1 - Pseudocódigo do algoritmo VNS.

O primeiro passo do algoritmo é a definição de uma solução inicial qualquer (2). Após isto, a cada iteração (5), é selecionado de forma aleatória um novo vizinho da solução corrente a partir da vizinhança $N(k, s)$ (8). Em seguida, o vizinho s_1 é submetido a um processo de busca local e seu resultado conhecido como ótimo local (9). Caso a solução s_2 apresente melhor resultado que a solução corrente (10), o algoritmo segue avaliando a solução s_2 tornando-a a nova solução corrente (11). Caso contrário, é definido um novo método de vizinhança e retorna-se à linha 7.

2.4.2 VND

O método de busca local de Decida em Vizinhança Variável (*Variable Neighborhood Descent*, VND) definido por Mladenovic e Hansen (1997) consiste na exploração do espaço de solução através da troca sistemática de vizinhança, assumindo apenas a possibilidade de melhorias na solução inicial. Todas as vizinhanças definidas são verificadas antes da parada do método, onde é retornada a melhor solução encontrada. A Figura 2 apresenta o pseudocódigo do VND.

Procedimento VND	1
Seja s_0 uma solução inicial;	2
Seja r o número de estruturas diferentes de vizinhança;	3
$s \leftarrow s_0$;	4
$k \leftarrow 1$	5
Enquanto $k \leq r$ faça	6
Encontre o melhor vizinho $s_1 \in N(k, s)$;	7
Se $f(s_1) > f(s)$ então	8
$s \leftarrow s_1$;	9
$k \leftarrow 1$;	10
Senão	11
$k \leftarrow k + 1$;	12
Fim Enquanto	13
Retorne s ;	14
Fim Procedimento;	15

Figura 2 - Pseudocódigo do algoritmo VND.

O algoritmo VND inicia-se identificando a solução inicial s_0 (1) recebida do algoritmo VNS (Figura 1, linha 9). Em seguida, percorre cada estrutura de vizinhança definida (6) procurando a melhor solução (7). Quando uma solução s_1 melhor que a solução atual s é encontrada (8), inicia-se novamente a busca a partir da primeira vizinhança da solução corrente (9 e 10), caso contrário busca-se uma a melhor solução em uma nova estrutura de vizinhança (12).

O pseudocódigo do método de busca local VND é semelhante ao VND, utilizando as estruturas de vizinhança para a busca de novas soluções. A principal diferença entre os dois métodos é que enquanto o VNS busca em uma vizinhança uma solução qualquer (Figura 1, linha 2), o algoritmo VND procura a melhor solução entre as vizinhanças determinadas (Figura 2, linha 7).

3. Materiais e métodos

Apesar de o problema de alocação de horários ter diversas variações, o modelo abordado segue uma linha bem simples e primitiva deste problema, chamada por Schaerf (1996) de *Course Timetabling*, e em uma subcategoria identificada por Carter e Laporte (1996) como horários de alocação de professores em turmas. A necessidade da instituição é atender ao máximo possível a preferência dos professores de ministrar aulas em dias da semana e horários especificados, identificando os horários de aulas de professores ministrando disciplinas em turmas. Normalmente as aulas são ministradas de segunda a sexta-feira com quatro tempos diários. As aulas são dadas em grupos de dois ou quatro tempos, não havendo uma aula de um professor em apenas um tempo. Uma característica é a existência de tempos de aulas utilizados para estudos independentes, também conhecidos como aulas vagas.

As restrições identificadas para o problema são:

- Um mesmo professor não pode dar mais de uma aula no mesmo período;
- Uma disciplina deve cumprir sua carga horária semanal;
- A cada turma deve ser associado somente um professor por horário de aula;
- Uma disciplina não deve ser ministrada por mais de um professor em uma turma.

3.1 Modelagem matemática

O modelo matemático apresentado tenta maximizar a preferência dos professores por dias e horários de aula, além de tentar agrupar as disciplinas com carga horária de 4 tempos de aulas em um mesmo dia da semana.

3.1.1 Função Objetivo

A função objetivo apresentada na Equação 8 busca maximizar a preferência de alocação de aulas para dias da semana e períodos de acordo com a matriz de preferências P definida por cada professor. Além disto, a função objetivo busca através da função $f(C_p)$ agrupar as aulas de

uma disciplina para uma turma em um mesmo dia.

$$\max \sum_{s=0}^{NPS} \sum_{p=0}^{NP} (P_{sp} * C_{sp}) + f(C_p) \quad (8)$$

Onde:

- NPS = Número de Períodos por Semana;
- NS = Número de Professores;
- C_{sp} = Variável de decisão, tal que $C_{sp} \in \{0, 1\}$;
- P_{sp} = Preferência do professor em ministrar aulas do período s ;
- $f(C_p)$ = Função de pontuação do agrupamento de disciplinas;

3.1.2 Restrições

- a. Equação 9: Um mesmo professor não pode dar mais de uma aula no mesmo período.

$$\sum_{s=0}^{NPS} \sum_{p=0}^{NP} C_{sp} \leq 1 \quad (9)$$

- b. Equação 10: Uma disciplina deve cumprir sua carga horária semanal.

$$\sum_{t=0}^{NT} \sum_{p=0}^{NP} C_{sp} \leq 1 \quad (10)$$

ND_t = Número de Disciplinas na turma t ;

X_{td} = Alocação da disciplina d na turma t ;

K_d = Carga horária semanal da disciplina d ;

- c. Equação 11: A cada turma deve ser associado somente um professor por horário de aula.

$$\sum_{t=0}^{NT} \sum_{p=0}^{NP} \sum_{s=0}^{NPS} X_{tsp} = 1 \quad (11)$$

- d. Equação 12: Uma disciplina não deve ser ministrada por mais de um professor em uma turma.

$$\sum_{t=0}^{NT} \sum_{d=0}^{ND} \sum_{p=0}^{NP} X_{tdp} = 1 \quad (12)$$

3.2 Preparação da instância de testes

Para formulação da instância de testes foi utilizado um problema real de um Centro Universitário no Espírito Santo com aproximadamente 8.000 alunos e distribuídos em 23 cursos de bacharelado, licenciatura e tecnólogo. Foram selecionados dois dos vinte e três cursos ofertados, onde estes cursos compartilham grande parte dos professores. Nos cursos de Análise e Desenvolvimento de Sistemas e Sistemas de Informação, estão em andamento 7 turmas, 36 disciplinas e 21 professores disponíveis. Cada professor ministra uma ou mais disciplinas e tem preferências e restrições de tempos de aula. Os professores preencheram um formulário para captar suas preferências de dias e tempos de aulas. As preferências são preenchidas em intervalo de 0 a 10. Foram dadas as seguintes instruções para o preenchimento do formulário:

- 0 – Restrição (Tempo em que não há possibilidade de presença).
- 3 – Possibilidade de não dar aula (Tempo em que preferencialmente não haja aulas).
- 5 – Indiferença (Sem preferência ou restrição).
- 8 – Possibilidade de dar aula (Tempo em que preferencialmente haja aulas).
- 10 – Preferência (Tempo de maior preferência).

Os valores não citados no intervalo são combinações de possibilidades entre a preferência anterior e a posterior. O Quadro 1 apresenta as preferências preenchidas pelos professores no formulário sugerido. A cada dia da semana (Seg - Ter - Qua - Qui - Sex) o professor identifica suas preferências pelos primeiro e segundo horários de aula (1/2) e pelos terceiro e quarto

horários (3/4).

Quadro 1 - Preferência dos professores por horários e dias da semana.

Professor	Seg		Ter		Qua		Qui		Sex	
	1/2	3/4	1/2	3/4	1/2	3/4	1/2	3/4	1/2	3/4
P1	10	10	10	10	00	00	10	00	10	10
P2	10	10	05	05	10	10	05	05	00	00
P3	10	10	10	10	05	05	03	03	00	00
P4	00	00	00	00	10	05	10	05	00	00
P5	00	00	00	00	05	10	00	00	00	00
P6	00	00	00	00	00	00	00	10	00	10
P7	10	10	03	03	03	03	05	05	00	00
P8	00	00	10	00	00	00	10	00	00	00
P9	10	10	10	10	08	08	05	05	03	03
P10	10	10	10	10	08	08	08	08	05	05
P11	03	03	03	03	10	10	10	10	10	10
P12	10	10	10	10	05	05	05	05	03	03
P13	10	10	03	03	03	03	00	00	10	10
P14	00	00	10	10	00	00	00	00	00	00
P15	00	00	00	00	00	00	10	00	00	00
P16	00	00	00	00	00	00	00	10	00	00
P17	00	00	00	00	10	10	08	08	03	03
P18	00	00	00	00	00	10	00	00	00	00
P19	10	10	10	10	05	05	08	08	10	10
P20	05	05	10	10	10	10	10	10	10	10
P21	00	00	05	05	10	10	08	08	10	10

Os Quadros 2 e 3 apresentam respectivamente a relação de disciplinas que são ministradas nas turmas e a relação de disciplinas ministradas por professores. As 16 disciplinas do curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas estão identificadas como ADS_D, enquanto as 21 disciplinas do curso de Sistemas de Informação estão identificadas como SI_D.

Quadro 2 - Relação de disciplinas por curso.

Disciplina/Turma	ADS1	ADS3	ADS5	SI1	SI3	SI5	SI7
ADS_D1	X						
ADS_D2	X						
ADS_D3	X						
ADS_D4	X						
ADS_D5	X						
ADS_D6		X					
ADS_D7		X					
ADS_D8		X					
ADS_D9		X					
ADS_D10		X					
ADS_D11		X					
ADS_D12			X				
ADS_D13			X				
ADS_D14			X				
ADS_D15			X				
ADS_D16			X				
SI_D1				X			
SI_D2				X			
SI_D3				X			
SI_D4				X			
SI_D5				X			
SI_D6				X			
SI_D7				X			
SI_D8					X		
SI_D9					X		
SI_D10					X		
SI_D11					X		
SI_D12					X		
SI_D13						X	

SI_D14						X	
SI_D15						X	
SI_D16						X	
SI_D17						X	
SI_D18							X
SI_D19							X
SI_D20							X
SI_D21							X

Quadro 3 - Relação de disciplinas ministradas por professores.

Professor	Disciplina(s)			
P1	ADS_D2	SI_D1	SI_D16	
P2	ADS_D1	ADS_D11	SI_D10	SI_D14
P3	ADS_D12	SI_D19	SI_D20	
P4	ADS_D3			
P5	ADS_D4			
P6	ADS_D5			
P7	ADS_D6			
P8	ADS_D7	SI_D11		
P9	ADS_D8	SI_D3	SI_D9	SI_D21
P10	ADS_D9	SI_D8	SI_D13	SI_D20
P11	ADS_D10	ADS_D15	SI_D13	SI_D15
P12	ADS_D13	ADS_D14		
P13	ADS_D16	SI_D18		
P14	SI_D2			
P15	SI_D5			
P16	SI_D6			
P17	SI_D7			
P18	SI_D4			
P19	SI_D13			
P20	SI_D17			
P21	SI_D12			

3.3 Desenvolvimento da heurística

A heurística desenvolvida foi baseada no modelo VNS/VND utilizando-se dos pseudocódigos apresentados nas Subseções 2.4.1 e 2.4.2. A aplicação construída utilizou-se a linguagem de programação Java na versão 1.7.x com interface Swing para entrada e saída de dados.

3.3.1 Representação da solução computacional

A representação computacional da solução para o problema abordado é criada a partir da análise das matrizes de disciplinas por curso e disciplinas por professor apresentadas respectivamente nos Quadros 2 e 3.

São denominados *Slots* os períodos de aula a serem preenchidos pela alocação do professor na disciplina. Um *Slot* armazena a informação da disciplina e professor alocados para um determinado dia da semana e horário de aula. A Tabela 1 apresenta a disposição dos *Slots* no horário semanal de uma turma.

Tabela 1 - Representação do horário semanal de uma turma.

Tempo/aula	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
1° e 2°	Slot1	Slot3	Slot5	Slot7	Slot9
3° e 4°	Slot2	Slot4	Slot6	Slot8	Slot10

3.3.2 Geração da solução inicial

Inicialmente o algoritmo constrói uma solução aleatória sem a avaliação imediata da função objetivo. São observadas as restrições de não haver sobreposição de horários de professores em um mesmo dia e a restrição de não haverem dois professores ministrando a mesma disciplina para uma turma. A Figura 3 apresenta o algoritmo para a geração da solução inicial.

Algoritmo GeraSolucaoInicial()	1
MTDP = Carrega a matriz de turmas e a associação com as disciplinas e professores;	2
Slots = Inicializa a matriz de slots;	3
Para cada turma <i>t</i> faça	4
Para cada período de aula <i>s</i> faça	5
Preencha aleatoriamente Slots _{ts} ∈ MTDP _t ;	6

Fim Para;	7
Fim Para;	8
Fim GeraSolucaoInicial;	9

Figura 3 - Algoritmo de geração da construção inicial.

O algoritmo responsável pela geração da solução inicial começa a execução na linha 2 carregando uma matriz de três dimensões $MTDP[t, d, p]$, sendo t o índice de turmas, d o índice de disciplinas relacionadas a turma t , e p o índice de professores habilitados a ministrar a disciplina d . Em seguida, preenche cada *slot* da turma t selecionando aleatoriamente na matriz $MTDP_t$ uma disciplina e professor para cada período de aula.

3.3.3 Métodos de vizinhança

Foram utilizados neste trabalho quatro métodos de definição de vizinhança, sendo três deles definidos por Oliveira, Vianna e Vianna (2012), e o quarto definido com o objetivo de possibilitar a variação de professores habilitados a ministrar uma mesma disciplina. A ordem utilizada para análise das estruturas de vizinhança segue a indicação de Oliveira, Vianna e Vianna (2012) e é apresentada a seguir:

1. Troca de horários de professor no mesmo dia: Esta estrutura troca a alocação de dois professores distintos no mesmo dia da semana.
2. Troca de horários do professor em dias diferentes: Troca a alocação de professores em qualquer dia da semana.
3. Troca de turmas entre professores: Realiza trocas de professores entre turmas respeitando a habilitação do professor para ministrar disciplinas associadas a nova turma. Esta estrutura também troca o conjunto [professor, disciplina] ao professor uma disciplina associada a nova turma.
4. Troca de professores e em uma disciplina: Realiza trocas de professores em uma mesma disciplina dentro do conjunto de professores habilitados a ministrar esta disciplina. Esta estrutura permite a variação de professores na grade horária de uma turma e possibilita novas combinações da solução.

3.4 Comparação dos resultados

Os resultados do método heurístico proposto foram comparados com os horários desenvolvidos manualmente por uma equipe de dois profissionais. A confecção dos horários pelo método manual durou aproximadamente 20 horas de trabalho nas etapas de coleta de preferência dos professores, enquadramento de horários de professores de outros colegiados e definição da grade horária. As duas soluções foram pontuadas levando em consideração as seguintes características:

- Preferência de horários de professores: Cada vez que um professor é alocado em um dia da semana e um tempo de aula, a solução é pontuada seguindo a preferência definida pelo professor.
- Agrupamento de horários: A solução ganha 5 pontos a cada horário de disciplinas agrupada em um único dia da semana.

4. Resultados

Os resultados apresentados foram gerados em duas etapas: (a) inicialmente a grade horária foi desenvolvida através do método manual e posteriormente avaliada utilizando os critérios estabelecidos no item 3.4. (b) a heurística construída para este estudo foi executada e seus resultados coletados e avaliados segundo os critérios de avaliação estabelecidos no item 3.4.

4.1 Avaliação do método manual

A sequência de tabelas a seguir apresenta a grade horária confeccionada pelo método manual. O esforço para o desenvolvimento da grade horária variou em 20 horas de trabalho de dois especialistas.

Tabela 2 - Horários da turma ADS1.

Tempo / Aula	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
1º e 2º	ADS_D1 (P2)	ADS_D2 (P1)	ADS_D3 (P4)	ADS_D3 (P4)	ADS_D2 (P1)
3º e 4º	ADS_D1 (P2)	ADS_D2 (P1)	ADS_D4 (P5)	ADS_D5 (P6)	ADS_D5 (P6)

Tabela 3 - Horários da turma ADS3.

Tempo / Aula	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
1º e 2º	ADS_D9 (P10)	ADS_D7 (P8)	ADS_D6 (P7)	ADS_D11 (P2)	ADS_D10 (P11)
3º e 4º	ADS_D9 (P10)	ADS_D8 (P9)	ADS_D6 (P7)	ADS_D11 (P2)	ADS_D10 (P11)

Tabela 4 - Horários da turma ADS5.

Tempo / Aula	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
1º e 2º	ADS_D12 (P3)	ADS_D13 (P12)	ADS_D14 (P12)	ADS_D15 (P11)	ADS_D16 (P13)
3º e 4º	ADS_D12 (P3)	ADS_D13 (P12)	ADS_D14 (P12)	ADS_D15 (P11)	ADS_D16 (P13)

Tabela 5 - Horários da turma SII.

Tempo / Aula	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
1º e 2º	SI_D1 (P1)	SI_D2 (P14)	SI_D3 (P9)	SI_D5 (P15)	SI_D7 (P17)
3º e 4º	SI_D1 (P1)	SI_D2 (P14)	SI_D4 (P18)	SI_D6 (P16)	SI_D7 (P17)

Tabela 6 - Horários da turma SI3.

Tempo / Aula	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
1º e 2º	SI_D9 (P9)	SI_D8 (P10)	SI_D10 (P2)	SI_D11 (P8)	SI_D11 (P17)
3º e 4º	SI_D9 (P9)	SI_D8 (P10)	SI_D10 (P2)	VAGA	SI_D11 (P17)

Tabela 7 - Horários da turma SI5.

Tempo / Aula	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
1º e 2º	SI_D13 (P19)	SI_D14 (P2)	SI_D15 (P11)	SI_D16 (P1)	SI_D12 (P21)
3º e 4º	SI_D13 (P19)	SI_D14 (P2)	SI_D15 (P11)	VAGA	SI_D12 (P21)

Tabela 8 - Horários da turma SI5.

Tempo / Aula	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
1º e 2º	SI_D18 (P13)	SI_D19 (P3)	SI_D20 (P10)	SI_D21 (P9)	VAGA
3º e 4º	SI_D18 (P13)	SI_D19 (P3)	SI_D20 (P10)	VAGA	VAGA

Após a confecção da grade horária desenvolvida pelo método manual, avaliou-se a pontuação que se obteve nesta solução. O valor avaliado para a solução manual atingiu 671 pontos.

4.2 Avaliação do método heurístico

A heurística desenvolvida foi executada em um computador Dell OPTIPLEX 790, processador Intel Core i5 e memória RAM de 8GB. O tempo computacional para a entrada de dados no sistema e execução do algoritmo foi de aproximadamente 30 minutos, destes, 9 minutos correspondem à execução da heurística. Os resultados encontrados são apresentados nas tabelas a seguir.

Tabela 9 - Horários da turma ADS1.

Tempo / Aula	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
1º e 2º	ADS_D1(P2)	ADS_D2(P1)	ADS_D3(P4)	ADS_D3(P4)	ADS_D2(P1)
3º e 4º	ADS_D1(P2)	ADS_D2(P1)	ADS_D4(P5)	ADS_D5(P6)	ADS_D5(P6)

Tabela 10 - Horários da turma ADS3.

Tempo / Aula	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
1º e 2º	ADS_D6(P7)	ADS_D9(P10)	ADS_D11(P2)	ADS_D7(P8)	ADS_D10(P11)
3º e 4º	ADS_D6(P7)	ADS_D9(P10)	ADS_D11(P2)	ADS_D8(P9)	ADS_D10(P11)

Tabela 11 - Horários da turma ADS5.

Tempo / Aula	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
1º e 2º	ADS_D14(P12)	ADS_D13(P12)	ADS_D12(P3)	ADS_D15(P11)	ADS_D16(P13)
3º e 4º	ADS_D14(P12)	ADS_D13(P12)	ADS_D12(P3)	ADS_D15(P11)	ADS_D16(P13)

Tabela 12 - Horários da turma SII.

Tempo / Aula	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
1º e 2º	SI_D1(P1)	SI_D2(P14)	SI_D3(P9)	SI_D5(P15)	SI_D7(P17)
3º e 4º	SI_D1(P1)	SI_D2(P14)	SI_D4(P18)	SI_D6(P16)	SI_D7(P17)

Tabela 13 - Horários da turma SI3.

Tempo / Aula	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
1º e 2º	SI_D9(P9)	SI_D11(P8)	SI_D8(P10)	SI_D10(P2)	SI_D12(P21)
3º e 4º	SI_D9(P9)	VAGA	SI_D8(P10)	SI_D10(P2)	SI_D12(P21)

Tabela 14 - Horários da turma SI5.

Tempo / Aula	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
1º e 2º	SI_D13(P19)	SI_D14(P2)	SI_D15(P11)	SI_D16(P1)	SI_D17(P20)
3º e 4º	SI_D13(P19)	SI_D14(P2)	SI_D15(P11)	VAGA	SI_D16(P1)

Tabela 15 - Horários da turma SI7.

Tempo / Aula	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
1º e 2º	SI_D18(P13)	SI_D19(P3)	VAGA	SI_D20(P10)	VAGA
3º e 4º	SI_D18(P13)	SI_D19(P3)	SI_D21(P9)	SI_D20(P10)	VAGA

Após o termino da execução do algoritmo heurístico, foram verificadas todas as restrições do modelo a fim de certificar que o algoritmo se comportou de forma esperada. A solução heurística gerada foi avaliada segundo os critérios definidos no item 3.4 e alcançou 714 pontos.

5. Conclusões

Este trabalho apresentou a construção de uma heurística baseada em VNS/VND para gerar soluções de problemas de alocação de horários em instituições de ensino superior, reduzindo em até 40 vezes o tempo de confecção da grade horária dos professores e turmas da instituição. A instância gerada para a validação do algoritmo desenvolvido abrange 7 turmas, 37 disciplinas e 21 professores.

A avaliação do método manual alcançou 692 pontos enquanto a avaliação do método heurístico alcançou 714 pontos, maximizando a preferência dos professores. A comparação entre os métodos de geração de horários aponta que a solução gerada pelo método heurístico é superior na ordem de 3,18% ao método manual.

As principais contribuições deste trabalho são relativas ao desenvolvimento de um algoritmo heurístico cujo objetivo é maximizar a preferência dos professores quanto aos dias e horários de aulas agrupando, quando possível, as aulas em um dia da semana.

Referências

- Abensur, E. O. e Oliveira, R. C. de.** (2012) Um Método Heurístico Construtivo para o Problema da Grade Horária Escolar. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, Rio de Janeiro, n. 4, p.230-248.
- Carter, M. W. e Laporte, G.** *Recent developments in practical course timetabling*. In: Burke and Carter. pp. 3–19, 1998.
- Chaves, A. A.** et al. (2007) Metaheurísticas híbridas para resolução do problema do caixeiro viajante com coleta de prêmios. *Prod.*, São Paulo, v. 17, n. 2. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132007000200004>.
- Cooper, T. B. e Kingston, J. H.** (1993) The solution of real instances of the timetabling problem. *The Computer Journal*. v36, p. 645–653.
- Ferland, J. e Roy, S.** (1985) Timetabling problem for university as assignment of activities to resources. *Computers & Operations Research*, 12(2):207–218.
- Hansen, P e Mladenovic, N.** (1997) Variable neighborhood search. *Computers And Operations Research*. n. 24, p.1097-1100.
- Hertz, A.** (1992) Finding a feasible course schedule using tabu search. *Discrete Applied*

Mathematics. 35(3):255–270.

Oliveira, J. G., Vianna, D. S. e Vianna, M. F. D. (2012) Uma heurística GRASP+VND para o problema de programação de horário escolar. *Sistemas & Gestão*, v. 7, n. 3, p.326-335. DOI: 10.7177/sg.2012.v7.n3.a3

Sahni, S. e Gonzalez, T. (1976) P-complete approximation problems. *Journal of the ACM* (JACM), 23(3):555–565.

Santos, H. B. *Formulações e Algoritmos para o Problema de Programação de Horários em Escolas*. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2007.

Schaerf, A. (1999) A Survey of Automated Timetabling. *Artificial Intelligence Review*. 13 (2), 87–127.

Souza, M. J. F. *Programação de Horários em Escolas: Uma Aproximação por Metaheurísticas*. Tese (Doutorado) - Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.

Sousa, V. N. de, Moretti, A. C. e Podestá, V. A. de. (2008) Programação da grade de horário em escolas de ensino fundamental e médio. *Pesqui. Oper.*, vol.28, no.3, p.399-421. ISSN 0101-7438

Subramanian, A. E Lucena, A. D. Modelo para Otimização do Horário Individual de Alunos do Curso de Engenharia de Produção Mecânica da UFPB. *XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*.

Subramanian, A., Medeiros, J. M. F., Cabral, L. A. F. e Souza, M. J. F. (2006) Aplicação da metaheurística Busca Tabu na resolução do Problema de Alocação de Salas do Centro de Tecnologia da UFPB. *XXVI ENEGEP*.