PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE SALAS: MODELAGEM E APLICAÇÃO NA UFSCAR

Rafael Cesar Nunes (Dep-UFSCar)
rafael.nunes.ep@gmail.com
Fabio Molina da Silva (Dep-UFSCar)
fabio@dep.ufscar.br
Roberto F Tavares Neto (Dep-UFSCar)
tavares@dep.ufscar.br

Um dos problemas enfrentados por alunos e professores dentro das universidades diz respeito à distância percorrida e ao tempo empregado no deslocamento de uma sala para outra durante o período de troca de aulas. Este problema é conhecido como Problema de Alocação de Salas (PAS) ou classroom assignment e é parte integrante do problema de programação de cursos universitários. Se feita de forma ineficiente, a alocação pode fazer com que professores e alunos percorram grandes distâncias empregando tempo no deslocamento de uma sala ou prédio para outro. Uma boa alocação de salas pode minimizar este problema e ainda reduzir fluxo de pessoas em determinados horários. Desta forma, este trabalho tem o objetivo tratar do PAS, suas variantes e métodos de resolução. Um modelo matemático foi desenvolvido com base nos problemas de designação e implementados para resolver um problema proveniente da literatura e outro baseado no caso real da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Palavras-chave: Problema de Alocação de Salas, Problema de Designação, Métodos Exatos.

1. Introdução

Um dos problemas enfrentados pela administração das instituições de ensino superior é o deslocamento de alunos e professores entre salas de aula durante entre os períodos de mudança aulas. Uma boa alocação de salas as turmas e professores pode minimizar o deslocamento de pessoas e o tempo gasto na organização do novo ambiente, aspectos que adquirem maior relevância ao considerar o papel inclusivo das universidades às pessoas com deficiências.

Este problema é conhecido como Problema de Alocação de Salas (PAS) ou *classroom assignment* e é parte integrante do problema de programação de cursos universitários (*course timetabling*) (Bardadym, 1996). Considera-se que as aulas e seus horários são previamente definidos pelas instituições (Schaefer, 1999). O desafio é então distribuir as pessoas, no caso alunos e professores, às salas, respeitando a uma série de restrições, como a capacidade das salas, os recursos disponíveis, necessidade de acessibilidade aos alunos, dentre outras.

Dado o elevado número de alunos, aulas, prédios e salas existentes nas universidades, a alocação se torna um problema de grande complexidade. A busca por soluções de forma manual, como normalmente é feita, é uma tarefa que requer vários dias, dependente do conhecimento do tomador de decisão e devido ao elevando número de restrições, a solução encontrada ainda pode ser ineficiente, ou seja, a solução não atende a contento as principais restrições impostas ao problema.

Visando explorar tal problema, teve-se como objetivo inicial implementar tanto métodos exatos quanto heurísticas para resolução de caso proveniente da literatura, utilizando software. Em uma segunda etapa, o objetivo foi resolver o problema com base no caso da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), também utilizando ambas as técnicas em software.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: no tópico a seguir é feita uma revisão bibliográfica sobre o PAS, no tópico 3 são descritos os materiais e o método utilizados, os resultados obtidos são apresentados e discutidos no tópico 4, a conclusão é apresentada no tópico 5 e por fim são listadas as referências utilizadas.

2. Revisão bibliográfica

O PAS pode ser resolvido através de métodos exatos, que levam a uma solução ótima global. Nesse caso é considerado um problema de designação. Porém, dependendo das características, ele pode se tornar da classe NP-difícil (Carter e Tovey, 1992), o que significa que o número de soluções possíveis é tão grande que não é possível chegar a solução ótima em tempo computacional razoável. Por isso, normalmente busca-se por soluções para o PAS através de métodos heurísticos, dentre os quais se destacam as meta-heurísticas, nas quais se parte de uma solução inicial à procura de outras melhores, inclusive utilizando mecanismos que, sob certas condições, escapam de ótimos locais para melhorar a função objetivo. A seguir é feita uma breve explanação sobre em quais casos o problema de alocação de salas é NP-difícil.

2.1 Complexidade

Carter e Tovey (1992) realizaram um grande estudo a respeito dos problemas de alocação de salas em seu artigo intitulado “Quando o problema de alocação de salas é difícil?”. Eles mostram em quais situações e sob quais características o problema pode se tornar NP-difícil, juntamente com alguns algoritmos que permitem saber se existe uma solução factível.

No artigo, o PAS é divido em dois tipos: o problema de intervalo *(interval*) e o problema sem intervalos (*noninterval*). O primeiro diz respeito aos problemas onde as disciplinas possuem apenas uma ocorrência durante a semana, começando em um horário e terminando ao início de outro. Já o problema sem intervalos diz respeito aos problemas nos quais existem disciplinas com mais de uma ocorrência durante a semana e a instituição exige que todas as ocorrências sejam na mesma sala. O caso da UFSCar é satisfeito pela primeira versão do problema, o PAS com intervalo, já que, apesar de várias disciplinas possuírem mais de uma ocorrência, não existe a necessidade de que todas sejam na mesma sala. Portanto, a partir deste ponto, a não ser que seja indicado, o PAS será tratado como de intervalo.

Quanto a complexidade, Carter e Tovey (1992) tratam do PAS em 3 aspectos:

- Factibilidade: se há alguma solução factível para o problema, satisfazendo as restrições;
- Satisfação: se há uma solução factível colocando cada disciplina em uma sala satisfatória respeitando as restrições, dado para cada disciplina *i* um conjunto de salas S_i que são satisfatórias.
- Otimização: minimizar o custo global sendo C_{ij} o custo de alocar a disciplina *i* na sala *j*, dada a existência de um modelo de custo linear que descreva adequadamente o problema e reflita preferências aceitáveis.

Com isso, de Carter e Tovey (1992), tem-se:

- Para o problema de intervalo, se não existe sobreposição de períodos de tempo das disciplinas, então até o problema de otimização é facilmente resolvido por métodos clássicos. Por exemplo, se todas as disciplinas têm 1h de duração e sempre começam no mesmo horário, então cada hora do dia pode ser resolvida como um problema de alocação separado;
- O problema de factibilidade da alocação de salas com intervalo pode ser resolvido em tempo computacional de O(n), ou seja, com uma complexidade de ordem polinomial;
- O problema de satisfação de alocação de salas com intervalo é np-completo;
- O problema de satisfação da alocação de salas com intervalo é np-completo mesmo quando o problema é restrito a dois períodos.

Em resumo, de Carter e Tovey (1992), tem-se que mesmo a factibilidade é difícil para alocação de salas sem intervalo. A factibilidade é fácil para alocação de disciplinas com intervalo, mas a satisfação é difícil se houverem dois ou mais períodos no dia e mais de dois tipos de salas. Se há apenas um período, até a otimização é facilmente resolvida como um problema de alocação.

2.2 Abordagem por métodos exatos

Quando abordado por métodos exatos, a alocação de salas é tratada como um problema de designação. Problemas de designação consistem em atribuir tarefas a agentes de modo a minimizar o custo total (Arenales, 2007). Em sua forma mais simples existem *n* tarefas e *n* agentes, cada agente executa uma única tarefa, cada tarefa é executada por um único agente e o custo de execução da tarefa *j* pelo agente *i* é c_{ij}:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se a tarefa } j \text{ é designada ao agente } i \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$\min \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} \qquad \text{função objetivo}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1, \qquad j = 1, \dots, n \qquad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1, \qquad i = 1, \dots, n \qquad (2)$$

A função objetivo minimiza o custo total de designação de tarefas a agentes. As restrições (1) e (2) asseguram que cada tarefa *j* é atribuída a um único agente, e cada agente *i* executa exatamente uma tarefa.

Não é grande o número de artigos referentes a resolução do problema de alocação de salas por métodos exatos. Uma explicação para esse pequeno número pode estar relacionada ao fato de que em muitas instituições, as características e dimensão dos problemas os tornam NP-difícil, como já foi visto na seção anterior. Apesar disso, pode-se citar Phillips (2015) que resolveu o problema de alocação de salas da Universidade de Auckland e também uma das instâncias da *International timetabling competition 2007*, através de métodos de programação inteira obtendo bons resultados para problemas de grande escala.

3. Método

O desenvolvimento deste projeto se deu da seguinte maneira:

Primeiramente realizou-se um estudo teórico sobre os problemas de designação, seguido de uma conceitualização de tais problemas. Também foi feita uma revisão na literatura para levantar os métodos e as heurísticas utilizadas para a resolução do PAS.

Na sequência definiu-se os problemas a serem resolvidos. Os dados do primeiro problema foram obtidos na literatura. Além disso, realizou-se contato com o departamento da UFSCar responsável pela alocação das salas, obtendo-se os dados de 2014.

A terceira etapa consistiu na definição formal dos problemas e desenvolvimento de um modelo matemático. O modelo matemático proposto foi utilizado para resolver os problemas obtidos.

A quarta etapa consistiu na resolução dos dois problemas através de métodos exatos. Para tanto, ambos os problemas foram implementados no software GAMS. Como será mostrado ao final, no decorrer do projeto obteve-se resultados muito satisfatórios através de métodos exatos. Uma vez que as técnicas heurísticas já são intensamente exploradas na literatura, optou-se por limitar o escopo das técnicas de resolução aos métodos exatos, diferentemente do proposto no objetivo inicial.

Na última etapa os resultados obtidos para o primeiro problema foram comparados e analisados em relação aos da literatura. Para o PAS da UFSCar, foi realizada uma análise seguida de propostas de melhoria.

Para o desenvolvimento das atividades contou-se com a infraestrutura presente na Universidade Federal de São Carlos. As pesquisas foram realizadas na Biblioteca Comunitária e também nas bases de dados disponibilizados pela universidade. A resolução dos problemas foi feita com o apoio do software GAMS versão 22.9, disponível no Departamento de Engenharia de Produção e em computador intel core i5, 2.2GHz, 4Gb de memória RAM.

4. Estudo de Caso: Aplicação PAS, resultados e discussão

4.1 Características da Universidade

A Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) possui quatro campis, sendo o principal localizado em São Carlos, interior de São Paulo, e foco do presente trabalho. Todo ano ingressam na universidade quase 2000 novos alunos para cursar os 39 cursos oferecidos na unidade. No total são mais de 14 mil alunos que frequentam tal campus da universidade.

Figura 1 - Mapa da UFSCar

Fonte: Adaptado de http://www.propq.ufscar.br/imagens/mapa-ufscar-sao-carlos/image_view_fullscreen. Acesso em 03/05/2017 às 15h

O campus, como pode ser visto na Figura 1, possui grande extensão territorial, diversos prédios e instalações, presença de declives e variações de terreno, regiões de mata e uma lagoa, fatores que aumentam a distância e a trajetória a ser percorrida entre os prédios presentes na universidade.

As disciplinas oferecidas pela UFSCar possuem uma carga horária semanal denominada créditos. Estes créditos podem ser ministrados em encontro único ou mais de uma vez na semana. As aulas podem ocorrer de segunda a sábado, em três períodos de quatro horas cada. Seus horários de início são pré-fixados, podendo começar em seis horários distintos.

As disciplinas podem ser ministradas no próprio departamento que as oferecem ou então nos nove prédios de aulas teóricas (ATs), que totalizam mais de 120 salas de aula, além de laboratórios e salas de informática. As salas de aula dos ATs podem ser consideradas iguais, exceto pela capacidade de alunos. Existem apenas pequenas diferenças em termos do tamanho das carteiras e das lousas que não chegam a causar diferença no tipo de aula que cada uma pode receber. Todas apresentam projetor e tela para multimídia.

As disciplinas também possuem um professor, um departamento de origem e uma quantidade de alunos. As disciplinas que serão ministradas nos ATs são alocadas pela Divisão de Gestão e Registro Acadêmico mediante pedido feito pela chefia de cada departamento. Caso o professor deseje ou precise que a aula seja ministrada no próprio departamento ou em algum laboratório específico, a alocação é feita de forma separada.

4.2 Modelo Matemático

Como apresentado anteriormente, primeiramente foi feita uma revisão bibliográfica a respeito dos problemas de designação e alocação de salas. Nesta etapa verificou-se que o PAS é sempre NP-difícil, exceto em situações específicas: quando não há sobreposição de horários, ou seja, quando todas as disciplinas tem duração igual; quando só existe um horário e quando existe uma função de preferência monotônica, isto é, apesar de existirem vários quesitos pelos quais uma disciplina poderia ser alocada em determinada sala (como por exemplo tipo de carteira, projetor, ar-condicionado etc), somente um é levado em conta na hora da alocação, sendo geralmente a capacidade. Vale lembrar ainda que todas estas conclusões valem para o problema de satisfação e não o de otimização, que foi o buscado neste trabalho.

Portanto, ao final da revisão bibliográfica o que se tinha é que dificilmente o PAS da UFSCar seria resolvido por métodos exatos, dado as disciplinas da universidade possuem durações diferentes, apresentam sobreposição, além do elevado número de disciplinas que ocorrem e a grande variedade de salas presente no campus.

Para simplificar o problema, optou-se por resolver cada turno de 4h, de cada dia da semana, como um problema independente. Nesse caso, como as aulas só poderiam iniciar ao começo ou ao meio do turno, cada problema independente passou a ter apenas dois períodos. Também para simplificar, como a maioria das matérias possui duração em horas pares, cada 2h foram consideradas como um período de duração, logo uma disciplina de 2h de duração consome 1 período e uma disciplina de 4h consome dois períodos de duração. Por fim, definiu-se as salas como sendo do mesmo tipo, diferenciando-se apenas pela capacidade, pois como dito anteriormente, elas não diferem muito nas demais facilidades.

Apesar das simplificações, ainda existia sobreposição de horários e o número de períodos era maior que 1 - fatores que o tornariam NP-difícil. Felizmente, ao diferenciar as salas apenas pela capacidade, o problema passou a apresentar uma preferência monotônica para a alocação, e isso significou uma possibilidade de resolvê-lo em seu aspecto mais complexo, a otimização.

O próximo passo foi desenvolver um modelo matemático para resolver o problema com os dados encontrados em Morais (2014) e também o problema de alocação de salas da UFSCar. O modelo resultante é uma adaptação da modelagem apresentada para os problemas de designação e encontra-se abaixo:

$$i = disciplina \qquad j = sala \qquad t = período$$

$$x_{ijt} = \begin{cases} 1, & se\ a\ disciplina\ i\ é\ alocada\ à\ sala\ j\ no\ período\ t \\ 0, & caso\ contrário \end{cases}$$

$$min \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \sum_{t=1}^{s} P_{ij} x_{ijt} \qquad\qquad função\ objetivo$$

Onde *Pij* = custo para alocar a disciplina *i* na sala *j*

$$\sum_{j=1}^{m} \sum_{t=1}^{s} x_{ijt} = D(i), \qquad i = 1, \dots, n \qquad (1)$$

Onde *D(i)* = duração da disciplina *i*

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ijt} = 1, \qquad (j,t) = (1,1), \dots, (m,s) \qquad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ijt} \cdot N(i) \leq C(j), \qquad (j,t) = (1,1), \dots, (m,s) \qquad (3)$$

Onde *N(i)* = número de alunos na disciplina *i*

C(j) = capacidade da sala *j*

$$\sum_{j=1}^{m} \sum_{t=1}^{s} x_{ijt} = 1, \qquad se\ t = H(i) \qquad i = 1, \dots, n \qquad (4)$$

Onde *H(i)* = horário da disciplina *i*

$$x_{ijt} = x_{ijt-1} \qquad (i,j,t) = (1,1,1), \dots, (n,m,s), \qquad se\ \ H(i) < t < H(i) + D(i)$$

(5)

A função objetivo visa minimizar o custo de alocação de cada disciplina *i* em uma sala *j* em seu horário *H(i)* e duração *D(i)* pré-definidos. As restrições (1) e (4) garantem que todas as disciplinas sejam alocadas e apenas em seus horários, ou seja, que nenhuma seja alocada em mais de uma sala ao mesmo tempo. A restrição (2) garante que não seja alocada mais de uma disciplina na mesma sala em um mesmo horário e a restrição (3) garante que a capacidade das salas não seja excedida. Por fim, a restrição (5) garante que as disciplinas que possuem duração maior que 1 tenham continuidade, isto é, sejam alocadas na mesma sala.

Este modelo foi capaz de resolver o problema encontrado na literatura, chegando ao mesmo resultado presente no artigo. Era uma instância pequena e bem simples, não impondo dificuldades na implementação.

4.3 Resolução do PAS da UFSCar

Resolvido o problema da literatura, o próximo passo foi resolver o caso da Universidade Federal de São Carlos. Em contato com a Pró-Reitoria de Graduação, mais especificamente com a Divisão de Gestão e Registro Acadêmico, obteve-se acesso aos dados de todas as disciplinas do ano de 2014. Neste ano, o AT-10 que atualmente faz parte dos prédios de aulas estava em construção e por isso não foi considerado na resolução do problema.

O número de disciplinas do primeiro e segundo semestres é muito parecido, cerca de 3400. Devido a este fato, julgou-se que a resolução do PAS para apenas um dos semestres já seria suficiente para os objetivos do presente trabalho. Assim, somente o primeiro semestre foi considerado. Na validação dos dados, foram eliminadas as disciplinas ministradas em departamentos, laboratórios e as que possuem 0 créditos teóricos. As disciplinas com turmas reduzidas também foram compiladas em uma disciplina única. Assim, chegou-se a um total de 1488 disciplinas a serem alocadas às 112 salas dos ATs disponíveis.

Abaixo é apresentado um exemplo de tabela com as disciplinas e suas características. Nele é possível notar características, como o Departamento, o código da disciplina, a turma, o nome, o número de alunos, o dia em que deve ser ministrada e os horários de início e término. Na sequência, um exemplo para os ATs e suas salas:

Tabela 1 – Exemplo de disciplinas e suas características

Dep.	Código	Turma	Nome	Alunos	Dia	Início	Término
DC	27340	A	CIRCUITOS ELETRICOS	25	Sexta	8	10
DC	25470	C	COMPUTACAO BASICA	34	Sexta	8	12
DC	20109	A	INTRODUCAO A COMPUTACAO	49	Sexta	8	12
DC	20109	B	INTRODUCAO A COMPUTACAO	53	Sexta	8	12
DC	26239	A	SEMINÁRIOS EM COMPUTAÇÃO	15	Sexta	8	10
DC	25321	C	SISTEMAS DISTRIBUIDOS	27	Sexta	8	12
DCAM	550094	A	HIDROLOGIA E CLIMATOLOGIA	43	Sexta	8	12

Fonte: Autor

Tabela 2 – Salas do prédio de aulas teóricas AT-1

Sala	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	16	17
Capacidade	40	40	40	40	160	40	40	20	20	20	20	60	160

Fonte: Autor

Um passo importante antes da resolução do PAS foi a definição dos custos de alocação. Para tanto, foi determinado para cada departamento da universidade um AT preferencial baseado em sua localização e distância, contando com a ajuda do mapa já apresentado. O custo de alocação das disciplinas de um departamento para seu AT preferencial é o mínimo, ou seja, 1.

A partir daí todos os outros custos de alocação foram dados de AT para AT. Levou-se em conta diversos fatores para a determinação destes custos, como: a condição (em termos de conforto térmico, espaço, ventilação), a preferência dos alunos para ter aula e professores para lecionar e, principalmente, a distância entre cada um dos ATs.

Devido sua extensão, o campus da UFSCar é divido em área norte e área sul. Como a distância entre os ATs de áreas distintas é grande, os custos para se alocar uma disciplina em um AT de outra área são elevados. Isso foi feito para minimizar os casos de disciplinas alocadas em um AT da área norte que deveriam ser alocadas em um da área sul, por exemplo, o que implicaria num grande deslocamento que por sua vez poderia incorrer em outros problemas (atrasos, fadiga).

Os custos definidos são apresentados a seguir. Os ATs 1, 2 e 8 ficam na área sul e o restante na área norte.

Tabela 3 – Custos de alocação entre os prédios de aulas teóricas

AT \ AT	1	2	4	5	6	7	8	9
1	1	2	100	100	150	100	2	150
2	2	1	100	100	150	100	2	150
4	100	100	1	10	50	15	100	30
5	100	100	10	1	50	2	100	20
6	150	150	50	50	1	20	150	2
7	100	100	15	2	20	1	150	20
8	2	2	100	100	150	150	1	150
9	150	150	30	20	2	20	150	1

Fonte: Autor

Com os custos de alocação definidos e todos os dados preparados, implementou-se o modelo no software GAMS. Como foi explicado, o problema foi divido para cada turno do dia a fim de que fosse possível chegar na solução em tempo computacional aceitável. Desta forma, primeiramente resolveu-se o problema segunda-feira de manhã.

Os resultados ficaram além do esperado. A solução ótima foi encontrada em menos de 10 segundos de execução. Após algumas análises e o sucesso do primeiro experimento, algumas alterações foram realizadas. A primeira foi resolver o problema de cada dia por inteiro, e não para os três períodos deles. A segunda ocorreu na função objetivo. A divisão do custo de alocação pela duração da disciplina visa considerar o mesmo peso para disciplinas de durações diferentes, enquanto que a divisão da somatória dos custos pelo número total de disciplinas visa obter um custo médio de alocação por disciplina. Assim, quanto mais próximo de 1 (o custo mínimo) é o valor da função objetivo, melhor a alocação de salas. A função objetivo ficou da seguinte forma:

$$\min \left(\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \sum_{t=1}^{s} x_{ijt} \cdot \frac{P_{ij}}{D(i)} \right) \div card(i) \qquad \textit{função objetivo}$$

Segunda-feira foi o primeiro dia resolvido, agora todo de uma vez, com 6 períodos de tempo (1=8h, 2=10h, 3=14h, 4=16h, 5=19h e 6=21h). O tempo de execução até se chegar à solução ótima continuou por volta dos 10 segundos. O modelo então foi considerado validado e sucedeu-se a resolução do PAS dos outros dias da semana, cujos resultados podem ser vistos a seguir:

Tabela 4 – Resultados obtidos no software GAMS

Dia da Semana	Nº de Disciplinas	Tempo de Execução (s)	Função Objetivo
Segunda-feira	336	11,01	8,53
Terça-feira	346	9,56	7,09
Quarta-feira	320	8,4	5,72
Quinta-feira	297	7,51	2,53
Sexta-feira	189	4,81	1,16

Fonte: Autor

A partir dos resultados pode-se perceber que o valor da função objetivo foi maior nos dias em que há mais disciplinas para se alocar, ou seja, segunda e terça-feira. Vale lembrar que o objetivo era minimizar o custo médio de alocação por disciplina e quanto mais próximo de 1 o valor final ficasse, melhor a alocação. Portanto, para segunda e terça-feira houve um maior número de disciplinas alocadas em ATs distantes.

Já nos dois últimos dias da semana (quinta e sexta-feira) o valor da função objetivo ficou bem próximo de 1. Isso sugere que talvez fosse necessária uma melhor distribuição das disciplinas pelos dias da semana. Por outro lado, não é possível fazer muitas afirmações somente com base nestes resultados dado que o valor maior da função objetivo nos outros dias pode ser fruto de problemas pontuais.

Portanto, para uma melhor análise segue a distribuição dos custos de alocação para cada dia da semana:

Tabela 5 – Distribuição dos custos de alocação para cada dia

	Dia da Semana									
Custo	**Segunda**		**Terça**		**Quarta**		**Quinta**		**Sexta**	
1	218	65%	230	66%	204	64%	203	68%	159	84%
2	59	18%	67	19%	63	20%	75	25%	30	16%
10	25	7%	16	5%	28	9%	11	4%	0	0%
15	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
20	14	4%	16	5%	16	5%	7	2%	0	0%
30	0	0%	2	1%	0	0%	0	0%	0	0%
50	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
100	20	6%	14	4%	9	3%	0	0%	0	0%
150	0	0%	1	0%	0	0%	1	0%	0	0%
Total	**336**	**100%**	**346**	**100%**	**320**	**100%**	**297**	**100%**	**189**	**100%**

Fonte: Autor

A partir dos dados acima pode-se ver que pelo menos 80% das disciplinas de todos os dias foram alocadas em seus ATs preferenciais ou naquele mais próximo dele (custo 2). Considerando ainda, até o custo de deslocamento 20 como aceitável, apenas 6% das disciplinas de segunda-feira, 5% das de terça-feira e 3% de quarta-feira foram alocadas com custo acima deste.

Dos resultados anteriores também se percebe que a quantidade de custos definidos (9 valores) foi muito grande. Os custos 15 e 50 nem aparecem na alocação e 30 foi utilizado apenas para duas disciplinas, o que sugere tais valores não eram necessários.

Por último, são apresentados os números referentes às disciplinas que foram alocadas em outra área da universidade, ou seja, aquelas que foram alocadas na área sul enquanto deveriam ser alocadas na área norte e vice-versa (custo 100 e 150):

Tabela 6 – ATs preferenciais das disciplinas alocadas em outra área

	Dia da Semana							
Prédio	**Segunda**		**Terça**		**Quarta**		**Quinta**	
AT-4	12	60%	14	93%	9	100%	0	0%
AT-5	5	25%	0	0%	0	0%	0	0%
AT-7	3	15%	0	0%	0	0%	0	0%
AT-9	0	0%	1	7%	0	0%	1	100%
Total	**20**	**100%**	**15**	**100%**	**9**	**100%**	**1**	**100%**

Fonte: Autor

Na tabela são apresentados os ATs preferenciais para as disciplinas que foram alocadas em outras áreas para cada dia da semana, exceto sexta-feira que não apresentou nenhum caso. Todos os ATs que aparecem na tabela, só pelo fato de estarem nela, podem estar apresentando nos dias indicados problema de capacidade.

O maior deles foi verificado no prédio de aulas AT-4 o qual era preferencial da maioria das disciplinas que foram alocadas em ATs distantes, sendo responsável por 60% destas disciplinas na segunda-feira, 93% na terça-feira e 100% na quarta-feira. Também aparecem na tabela os ATs 5,7 e 9, porém em menores números, o que poderia ser resolvido pela melhor distribuição de disciplinas, como já foi citado.

Quanto ao AT-4, poderia se sugerir a construção de um novo AT para que suas disciplinas fossem distribuídas, evitando a lotação verificada. Entretanto, tal prédio já existe. É o AT-10 que fica ao lado do AT-4 e já é utilizado para aulas. Ele não foi considerado porque os dados utilizados são referentes ao ano de 2014 quando estava em construção, o que já foi explicado anteriormente.

Portanto, pode-se dizer que o campus da UFSCar em São Carlos está bem servido de prédios de aulas. A grande maioria das disciplinas foi alocada em prédios de aulas próximos e os problemas verificados já foram solucionados ou o podem ser com uma redistribuição das disciplinas pelos dias de aula. Entretanto, problemas podem aparecer se expansões forem necessárias ou novas disciplinas surgirem.

Infelizmente, não foi possível obter a alocação de salas empregada no ano de 2014, período a que se refere os dados. Com ela poderia se fazer uma comparação, podendo inclusive contribuir no processo realizado pela universidade e propor melhorias, se fosse necessário.

5. Conclusões

Apesar de muitos artigos afirmarem o contrário, um aprofundamento na literatura mostrou situações onde o Problema de Alocação de Salas pode ser resolvido por métodos exatos com tempos computacionais satisfatórios. O modelo matemático desenvolvido e implementado no software GAMS se mostrou eficaz na resolução do PAS para pequenas e grandes instâncias.

A resolução do problema para o caso da UFSCar resultou em mais de 90% das disciplinas alocadas em prédios de aula próximos, podendo o restante ser solucionado com uma pequena redistribuição de disciplinas entre os dias letivos da semana. Os resultados também indicaram que a universidade possui quantidade de prédios de aulas teóricas suficiente para atender a demanda de salas de aula, porém algumas melhorias são possíveis e talvez necessárias caso se queira expandir o número de cursos.

Por outro lado, não foi possível conhecer detalhes do processo atualmente empregado para a alocação de salas da universidade, bem como não se conseguiu a alocação referente aos dados utilizados para comparação. Para um maior aprofundamento a respeito do PAS da universidade, sugere-se para um futuro estudo o desenvolvimento de uma aplicação que integre um banco de dados para automatizar e facilitar a troca de informações, agilizando a preparação dos dados no processo de alocação de salas.

REFERÊNCIAS

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. (2007). **Pesquisa Operacional para cursos de engenharia: Modelagem e algoritmos**. *Rio de Janeiro: Editora Campus*.

BARDADYM, V. A. (1996). Computer-aided school and university timetabling: The new wave. In: ***Practice and theory of automated timetabling*** (pp. 22-45). Springer Berlin Heidelberg.

CARTER, M. W.; TOVEY, C. A. (1992). When is the classroom assignment problem hard?. ***Operations Research***, *40*(1-supplement-1), S28-S39.

MORAIS, R. R.; SILVA, D. R. Modelagem para Alocação de Salas de Aulas em uma Instituição de Ensino Superior. In: **Convibra**, 2014. Disponível em: http://www.convibra.com.br/upload/paper/2014/36/2014_36_10311.pdf. Acessado em: 09/10/16 às 16h13.

PHILLIPS, A. E.; WALKER, C. G.; EHRGOTT, M.; RYAN, D. M. (2015) "Integer programming methods for large-scale practical classroom assignment problems". **Computers & Operations Research**, 53(0):42-53

SCHAERF, A. (1999). A survey of automated timetabling. **Artificial intelligence review**, 13(2), 87-127.