

UMA PROPOSTA DE DISTRIBUIÇÃO MAIS EQUILIBRADA DE SALAS E PROFESSORES EM UMA IES

Valdir Agostinho de Melo

Centro Universitário Estadual da Zona Oeste - UEZO
Rua Manuel Caldeira de Alvarenga, 1203, Campo Grande, Rio de Janeiro - RJ
valdir.melo@gmail.com

Abel Rodolfo Garcia Lozano

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ
Rua Doutor Francisco Portela, 1470, São Gonçalo, RJ
Universidade do Grande Rio – Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências
Rua Professor José de Souza Herdy, 1160, Duque de Caxias, RJ
arglozano@terra.com.br

Angelo Santos Siqueira

Universidade do Grande Rio – Escola de Ciências, Educação, Letras, Artes e Humanidades
Rua Professor José de Souza Herdy, 1160, Duque de Caxias, RJ
asiqueira@unigranrio.com.br

RESUMO

Um dos grandes problemas das Instituições de Ensino Superior (IES) brasileiras, a cada novo período letivo, é a alocação de turmas nas salas de aulas. Devido ao grande número de restrições, muitas das quais conflitantes entre si, este é um problema de difícil solução e objeto de estudo de diversos pesquisadores. Na prática, é uma tarefa que demanda tempo e que nem sempre o problema é resolvido sem conflitos de disponibilidades dos recursos envolvidos. Este trabalho propõe uma distribuição mais equilibrada no uso de salas e na distribuição de professores em uma IES.

PALAVRAS CHAVE. Alocação, Horários, IES, Heurísticas.

ABSTRACT

A major problem of Brazilian higher education institutions, each new school period, is the allocation classes in classrooms. Due to the large number of constraints, many of which conflict with each other, this is a difficult problem and studied by several researchers. In practice, it is a task that requires time and the problem is not always solved without conflicts of availability of resources involved. This paper proposes a more balanced distribution use of rooms and the distribution of teachers in a higher education institution.

KEYWORDS. Allocation, Timetable, Higher education institutions, Heuristics.

1. Introdução

A cada novo período, um dos problemas mais encontrados pelas Instituições de Ensino Superior (IES) é o problema de alocação de horários das disciplinas, denominado *Timetabling*, e de alocação de recursos, tais como: salas, laboratórios etc., os quais consistem em gerar uma solução que procure atender um conjunto de restrições como, por exemplo: preferências dos professores, tamanho das salas, disponibilidade de horário etc.

O Problema de Alocação de Salas (PAS) aborda a distribuição de aulas, com horários previamente estabelecidos, a salas, procurando respeitar um conjunto de restrições de várias naturezas (Schaefer 1999).

A alocação de salas é tratada ou como parte integrante do problema de programação de cursos universitários (*course timetabling*) ou como um problema derivado dele (*classroom assignment*) (Bardadym, 1996). Nesta última situação, tema de estudo deste trabalho, considera-se que as aulas já estejam programadas, isto é, que já estejam definidos os horários de início e término das aulas de cada turma de cada disciplina e o problema, então, é o de alocar essas aulas às salas.

Na literatura, existem vários trabalhos relacionados, onde citamos alguns: Kripka e Kripka (2010), Santos e Souza (2007), Gomes *et al.* (2005), Souza *et al.* (2002) e Souza *et al.* (2001).

Segundo Souza *et al.* (2002), a solução manual deste problema é uma tarefa árdua e normalmente requer vários dias de trabalho. Além do mais, a solução obtida pode ser insatisfatória com relação a vários aspectos. Por exemplo, em função da alocação feita, pode haver em um dado horário um fluxo acentuado de alunos deslocando-se de salas com conseqüente perturbação no ambiente.

Segundo Souza *et al.* (2001), o problema de programação de horários em Escola (PPHE) trata da alocação de professores a turmas satisfazendo certas condições. É um problema de difícil generalização, em virtude da diversidade de regimes educacionais e das características de cada instituição de ensino, o que torna cada caso praticamente ímpar. Even *et al.* (1975) provaram que o problema é NP-difícil.

Este trabalho foi desenvolvido numa IES particular que, ao todo, possui cerca de 30.000 alunos, distribuídos em 42 cursos de graduação e mais de 50 cursos de pós-graduação lato e stricto sensu e está localizada em alguns municípios do Estado do Rio de Janeiro. Mesmo possuindo vários *campi*, o estudo de caso ficou restrito ao campus principal, turno da noite, composto por 1574 turmas e 295 salas de aula. Por uma questão de sigilo das informações, neste trabalho, a IES será referenciada como sendo IESU.

Na seção 2 procura-se descrever o problema em estudo e, na seção 3, os métodos de resolução. Nas seções 4 e 5, os testes e resultados computacionais, respectivamente. Por último, apresentam-se as conclusões e pesquisas futuras.

2. O Problema

A partir de estudos preliminares feitos no período letivo de 2012/2, a IESU identificou que existia um acúmulo de alocação nos primeiros dias da semana, que diminuía com o decorrer dos dias. Isto pode ser visto na Figura 1, que apresenta a distribuição (em %) das alocações de turmas nos dias da semana. Na mesma figura, a partir de uma projeção feita pela IESU, para o período de 2013/1, pode-se ver que tal situação ficaria mais evidenciada.

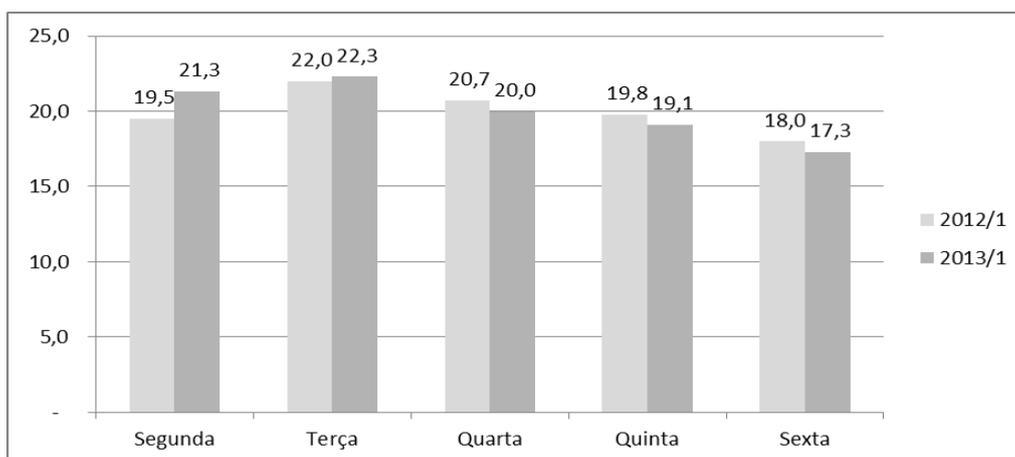


Figura 1: Distribuição (em %) das alocações de turmas nos dias da semana.
Fonte: Elaborada pelos autores.

Tal cenário acarreta um grande esforço na alocação de salas, nos dias mais concorridos, e pouca margem para mudança na alocação de turmas, nos dias menos concorridos, principalmente na sexta-feira. Uma justificativa para esta ocorrência é a pouca disponibilidade oferecida pelos docentes nos últimos dias da semana.

Existem algumas restrições específicas que devem ser consideradas para a confecção da grade de horários, como:

- Não permitir a alocação de mais de um professor em uma mesma turma e mesmo horário;
- Preferencialmente, o professor será alocado num horário no qual esteja disponível;
- Respeitar o limite diário de aulas de uma mesma disciplina e turma;
- Não alterar os dias e horários de algumas turmas (dias fixos);
- A alocação das turmas deverá respeitar o tipo específico de sala.

Antes de tentar solucionar o problema da alocação para o período de 2013/1, verificou-se a atual alocação das salas, onde se pode observar através da Figura 2 que, somente 25% das salas possuem uma ocupação, que consideramos aqui como ideal (entre 75% e 100%). Há uma subutilização de 18% das salas, com taxas de ocupação abaixo de 50%. Por incrível que pareça 31% das salas apresentavam uma ocupação maior que 100%. Tal quadro atual leva a inferir que as informações sobre as capacidades das salas estavam, no mínimo, defasadas.

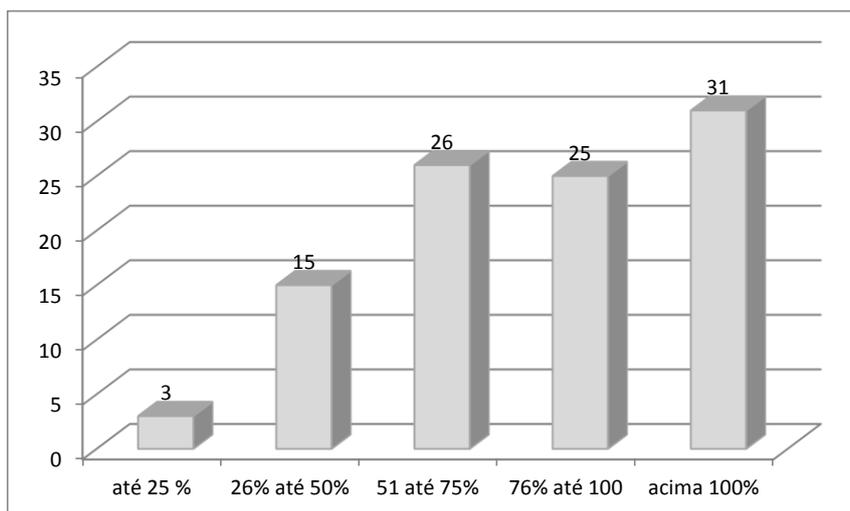


Figura 2: Taxa de ocupação (em %) das salas
Fonte: Elaborada pelos autores.

Sendo assim, foi necessário aumentar o escopo da proposta inicial, visando também contemplar uma melhor taxa de ocupação das salas.

Este trabalho tem como objetivo principal propor uma distribuição mais equilibrada das alocações de turmas nos dias da semana. São também objetivos do trabalho obter uma melhor utilização de recursos (salas e professores).

3. Metodologia

A solução do estudo de caso fez uso de duas tabelas distintas: Turmas e Salas, para as quais foram utilizados três métodos distintos, que serão descritos a seguir.

Todas as alocações deverão considerar o tipo de sala. Por exemplo: uma turma de uma disciplina de laboratório de informática não pode ser alocada numa sala convencional. Ao todo são 20 tipos distintos de sala, como pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1: Tipos de Salas

Tipo Sala	Descrição Tipo Sala	Tipo Sala	Descrição Tipo Sala
901	Sala Convencional	911	Laboratório de Educação Física
902	Prática Jurídica	912	Laboratório de Educação
903	Laboratório Multidisciplinar	913	Laboratório de Comunicação Social
904	Laboratorio Engenharia Civil	914	Laboratório de Avaliação Nutricional
905	Laboratório do Ensino de Ciências	915	Laboratorio de Artes, Design e Moda
906	Laboratório de Vivências	916	Laboratório de Análises Clínicas
907	Laboratório de Química	918	Clinica Veterinária
908	Laboratório de Odontologia	919	Clínica Odontológica
909	Laboratório de Informática	920	Ateliê de Costura
910	Laboratório de Fisioterapia	921	Anatômico

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para os dois métodos de alocação **com troca de dia** foi acrescentada a restrição de pacote. O conceito que a IESU usa para pacote está relacionado às diversas turmas abertas para um curso num mesmo período, isto é, a primeira turma será atribuída ao pacote **A**, a segunda ao pacote **B** e assim por diante. Dado um período qualquer, se uma turma de um pacote qualquer mudar de dia, não será possível a mudança de outros pacotes do mesmo período. Esta restrição foi adicionada ao modelo para evitar sobrecarregar um determinado período ou curso com muitas mudanças.

3.1 Alocação inicial por dia

O método é bem simples, partiu-se de uma ordenação, não decrescente, da demanda das Turmas e da capacidade das Salas. A pesquisa foi feita a partir da tabela de Turmas onde, para uma turma i se procurou em todas as salas j :

- Capacidade da turma_(i) \leq demanda da sala_(j);
- Tipo de sala da turma_(i) = tipo de sala_(j);
- O total de tempos da turma_(i) + total de tempos já alocados para a sala_(j) \leq 5.

Lembrando que, cada disciplina pode possuir de um até quatro tempos e que, por turno, é possível alocar até cinco tempos para uma sala. A alocação foi feita na primeira sala que atendeu tais critérios. No pior caso, a turma ficou sem alocação.

Ao término, obtiveram-se dois conjuntos distintos de turmas: sem alocação (**SemAloc**) e com alocação (**ComAloc**).

3.2 Alocações, em outro dia, das turmas SEM alocação inicial

Este método procurou uma alocação das turmas que não conseguiram alocação inicial (**SemAloc**) no dia original, buscando uma possível alocação em um outro dia da semana. O conjunto de turmas foi o **SemAloc**. A pesquisa foi feita a partir da tabela de Turmas onde, para uma turma (**SemAloc**) i se procura em todas as salas j :

- Capacidade da **SemAloc** _(i) \leq demanda da sala_(j);
- Tipo de sala da **SemAloc** _(i) = tipo de sala_(j);
- O total de tempos da **SemAloc** _(i) + total de tempos alocados para a sala_(j) \leq 5.

A busca numa sala_(j) parte sempre da sexta, por motivos já citados, ver Figura 1, retrocedendo até a segunda. A alocação foi feita na primeira sala que atendeu tais critérios. No pior caso, a turma continuou sem alocação.

3.3 Alocações, em outro dia, das turmas COM alocação inicial

O último método procura uma melhor distribuição das turmas a partir da alocação inicial (**ComAloc**).

Antes do processamento foram totalizadas as alocações, por dia k , em um vetor (**Tdia**). Com isso, foi possível identificar quais os dias com menor e maior número de alocações. Isto serviu como um dos critérios de parada, já que o resultado ideal é alcançado quando $Tdia_{(maior)} \leq Tdia_{(menor)}$, isto é, quando as alocações extremas (menor e maior) ficarem iguais ou quando a

alocação maior se torne a menor de todas. A pesquisa foi feita a partir da tabela de Salas onde, para sala j :

- origem $\leftarrow Tdia(\text{maior})$;
- destino $\leftarrow Tdia(\text{menor})$;
- Se $sala_{(j)}.dia = \text{origem}$ e total de tempos da $sala_{(j)}.destino + \text{total de tempos alocados para a } sala_{(j)}.dia \leq 5$, então
 - $sala_{(j)}.dia \leftarrow \text{destino}$;
 - $Tdia(\text{origem}) \leftarrow Tdia(\text{origem}) - \text{totalCreditos}$;
 - $Tdia(\text{destino}) \leftarrow Tdia(\text{destino}) + \text{totalCreditos}$;

Se a busca chegar ao final da Tabela de Salas sem o equilíbrio desejado ($Tdia(\text{maior}) > Tdia(\text{menor})$), a busca volta ao início da Tabela. No pior caso, tal operação é feita dez vezes e o processamento é interrompido por falta de convergência. Ao término foi produzido um arquivo com as seguintes informações:

- **SemAloc** – Turmas sem alocação;
- **SemAlocComTrocaDia** – Turmas sem alocação no dia original, mas que conseguiram alocação em um outro dia da semana;
- **ComAloc** – Turmas com alocação;
- **ComAlocComTrocaDia** – Turmas com alocação no dia original, mas que trocaram a alocação para um outro dia da semana, na tentativa de obtenção do equilíbrio proposto no início deste trabalho.

4. Resultados Computacionais

Os resultados apresentados a seguir foram produzidos em um computador com um processador Intel Core Duo 2.00 GHz, memória RAM de 4.0 GB, com Sistema Operacional Windows 7 e desenvolvidos em linguagem C.

Nos testes preliminares, observou-se que a Tabela de Salas poderia sofrer pequenas alterações, com o intuito de melhorar as alocações das turmas. Para tal, além do estudo *Normal*, que fez uso da capacidade das salas fornecida pela IESU, buscaram-se mais dois estudos, que foram chamados de *Moderado* e *Agressivo*. Isto pode ser visto na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Informações sobre os novos tipos de estudos

Tipo Estudo	Aumento	Salas Envolvidas (%)	Pior Caso (%)	Ex. Pior Caso
Moderado	Até 3 lugares	23,05	9,38	32 -> 35
Agressivo	Até 5 lugares	43,05	4,35	115 -> 120

Fonte: Elaborada pelos autores.

No estudo *Moderado*, aumentou-se a capacidade de 68 salas em, no máximo, três lugares, enquanto no estudo *Agressivo*, aumentou-se a capacidade de 127 salas em, no máximo, cinco lugares. Importante ressaltar que o estudo *Moderado* está contido no estudo *Agressivo*. A quantidade aumenta à medida que a capacidade atual da sala aumenta. Com isso, ficaram três estudos distintos, cujos resultados serão apresentados, a seguir.

Como pode ser visto na Figura 3, obteve-se o equilíbrio em todos os estudos, mesmo que o estudo *Agressivo* tenha ficado com uma pequena diferença entre o maior e o menor dia de alocação.

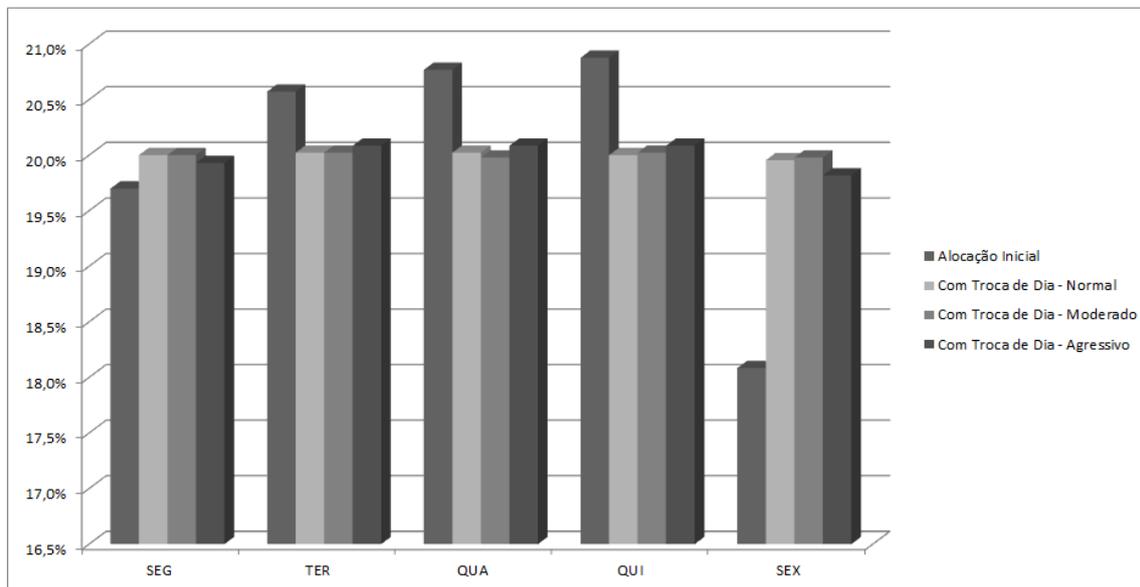


Figura 3: Distribuição final da alocação por dia - 2013/1

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Figura 4, pode-se observar que houve uma melhora significativa na taxa de ocupação das salas. Independente do tipo estudo realizado, aproximadamente 70% das turmas foram alocadas em salas com taxa de ocupação considerada ideal para este trabalho, isto é, entre $75\% < x \leq 100\%$. Associado a isso, 20% das turmas foram alocadas em salas com taxa de ocupação entre $50\% < x \leq 75\%$. O restante ficou entre $25\% < x \leq 50\%$. Foram eliminadas as alocações acima da capacidade da sala e aquelas abaixo de 25% de taxa de ocupação, que são situações indesejáveis para qualquer instituição de ensino.

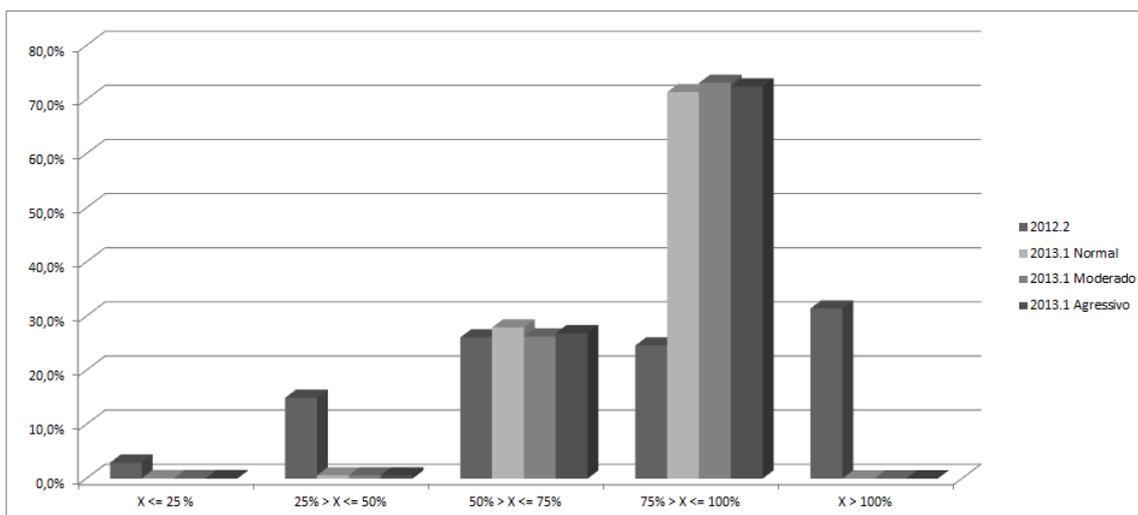


Figura 4: Taxa de ocupação das salas - 2013/1

Fonte: Elaborada pelos autores.

Como era de se esperar, o aumento gradativo na capacidade das salas possibilitou um maior número de alocação final das turmas. Isto pode ser visto na Tabela 2, a seguir. Mesmo quando não houve alteração alguma na capacidade das salas (estudo *Normal*), o índice de alocação foi excelente (92,1%), ficando apenas 5,3% de turmas sem alocação. Também é possível observar que a melhora obtida entre os estudos *Moderado* e *Agressivo* foi menor, do que quando comparado aos estudos *Normal* e *Moderado*, já que houve uma diferença maior nas colunas *SemAloc* e *ComAloc*, mesmo que o estudo *Moderado* tenha acarretado um aumento de 0,2% na coluna *ComAlocTrocaDia* nas trocas de dias das turmas, o que é desprezível para o estudo de caso, pois representa apenas a troca de dia de mais quatro turmas.

Tabela 2: Informações gerais sobre as alocações - 2013/1

Tipo Estudo	SemAloc	SemAlocTrocaDia	ComAloc	ComAlocTrocaDia
Normal	5,3%	0,6%	92,1%	2,0%
Moderado	4,3%	0,4%	93,0%	2,2%
Agressivo	4,1%	0,4%	93,5%	2,0%

Fonte: Elaborada pelos autores.

Se for observado, para cada um dos estudos feitos, apenas as turmas sem alocação, ver Quadro 2, é possível verificar que, no estudo *Normal*, ficaram 20 turmas de salas tradicionais (TIPSALA = 901) sem alocação. Porém, houve uma redução de 75% neste valor, quando observado os estudos *Moderado* e *Agressivo*, o que justifica tais estudos.

A partir do Quadro 2, nota-se também que, em todos os estudos, as turmas que ficaram sem alocação nunca foram menores que 80 vagas (*VAGASPROJ*). Isto sugere que a IESU deva investir em salas com capacidades maiores, inclusive para absorver também turmas cujo conteúdo da disciplina seja o mesmo para vários cursos de graduação.

Quadro 2: Turmas sem alocação – Estudos Normal, Moderado e Agressivo.

TURMAS SEM ALOCAÇÃO					
NORMAL		MODERADO		AGRESSIVO	
TIPSALA	VAGASPROJ	TIPSALA	VAGASPROJ	TIPSALA	VAGASPROJ
901	80	901	85	901	85
901	80	901	89	901	89
901	80	901	90	901	90
901	80	901	90	901	90
901	83	901	90	901	90
901	84	904	30	904	30
901	85	904	30	904	30
901	85	904	30	904	30
901	85	904	40	904	40
901	85	904	40	904	40
901	85	904	40	904	40
901	85	904	40	904	40
901	89	904	45	904	45
901	90	904	45	904	45
901	90	904	50	904	50
901	90	904	60	904	60
901	90	904	60	904	60
901	90	904	60	904	60
901	90	904	99	904	99
901	100	904	99	904	99
901	100	904	99	904	99
904	30	904	99	904	99
904	30	904	99	904	99

Fonte: Elaborado pelos autores.

5. Conclusões e Pesquisas Futuras

Entre os estudos que sugerem aumento na capacidade das salas, quando comparados ao estudo *Normal*, o *Moderado* foi o que trouxe mais ganho percentual, com pouca alteração nas suas capacidades sendo, por isso, o estudo mais apropriado para ser implantado pela IESU.

A partir dos resultados obtidos é possível inferir que o trabalho cumpriu de maneira eficaz a sua proposta, já que conseguiu o equilíbrio nas alocações durante os dias da semana, com pouca mudança nos dias originais. Na prática, isto representou pouco gasto de energia dos coordenadores de curso para realizarem os devidos ajustes na disponibilidade dos professores, considerando que se partiu de uma alocação acordada previamente com os professores.

Como ampliação da proposta original, procurou-se uma melhor taxa de ocupação das salas, cujo resultado final, mostrado anteriormente, deve gerar uma significativa economia de recursos para a IESU.

Como o sistema de alocação de salas anterior a este trabalho era totalmente manual, o fato de ter sido utilizada uma solução heurística já favorece uma melhora significativa no seu resultado, cuja comparação, nem sempre é justa. Visando uma quantificação melhor da qualidade da alocação proposta, para o período de 2013.2, será feita uma comparação desta heurística com as seguintes metaheurísticas: *Tabu search* (TS) – Glover (1989; 2003), *Greedy Randomized Adaptive Search Procedures* (GRASP) – Feo e Resende (1995) e *Variable Neighbourhood Search* (VNS) – Hansen e Mladenovic (1997). Neste cenário, já estará operacional um novo bloco com 54 salas e, aproximadamente, mais 3.000 lugares.

Referências

- Bardadym, V. A (1996). *Computer-Aided School and University Timetabling: The New Wave*. Lecture Notes in Computer Science, 1153:22-45.
- Even, S. , Itai, A. e Shamir, A. (1975). *On the complexity of time table and multi-commodity flow problems*. Proceedings of the 16th Annual Symposium on Foundations of Computer Science. 184--193, IEEE Computer Society.
- Feo, T. A., Resende, M. G. C. (1995), *Greedy randomized adaptive search procedures*. Journal of Global Optimization 6, 109-133.
- Glover, F. (1989), *Tabu search-Part I*. ORSA Journal on Computing 1, 190-206.
- Glover, F. (2003), *Tabu search-Part II*. ORSA Journal on Computing 2, 4-32, 1989. Handbook of Metaheuristics, Kluwer Academic Publishers.
- Gomes Jr., A.C.; Souza, M.J.F.; Martins, A.X. (2005). Algoritmos Simulated Annealing eficientes para resolução do problema de roteamento de veículos com janelas de tempo. Anais do XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - SBPO, Gramado, p. 1270-1281.
- Hansen, P., Mladenovic, N. (1997), *Variable neighborhood search*. Computers and Operations Research 24, 1097-1100.
- Kripka, R.M.L e Kripka, M., (2010) Simulated Annealing Aplicado na Otimização da Alocação de Salas em Instituição de Ensino Superior. In: XXXI Iberian–Latin–American Congress on Computational Methods in Engineering, 2010, Buenos Aires/Argentina. CILAMCE 2010.
- Santos, h. G.; Souza, M.J.F. (2007). Programação de horários em instituições educacionais: formulações e algoritmos. Anais do XXXIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - SBPO, Fortaleza, p. 2827-2882.
- Schaerf, A. (1999). *A survey of automated timetabling*. Artificial Intelligence Review, v.13, n.2,p. 87-127.
- Souza, M.J.F., Marins, A.X. e Araújo, C. R. (2002). Métodos de Pesquisa em Vizinhança Variável aplicados ao Problema de Alocação de Salas. In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, Curitiba, Brasil. Anais do XXII ENEGEP, CD-ROM, 8 p.
- Souza, M.J.F., Ochi, L.S E Maculan, N. (2001). Uma heurística para a programação de horários em escolas. Tendências em Matemática Aplicada e Computacional, v. 2, n.1, p.213-222.