

UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP) PARA DEFINIÇÃO DOS PESOS DE RESTRIÇÕES FRACAS NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO DE HORÁRIOS PARA UMA INSTITUIÇÃO FEDERAL DE ENSINO SUPERIOR

Thiago Jéffery Barisão de Lima^{1,2}
thiagojeffery@id.uff.br

Carlos Bazilio Martins¹
carlosbazilio@id.uff.br

Dalessandro Soares Vianna¹
dalessandrosoares@yahoo.com.br

Marcilene de Fátima Dianin Vianna¹
marcilenedianin@gmail.com

Sabine Ott da Costa²
sabineoc@id.uff.br

¹ Universidade Federal Fluminense (UFF/ Rio das Ostras)
Rua Recife, s/n, Jardim Bela Vista, Rio das Ostras - RJ, 28895-532

² Universidade Federal Fluminense (UFF / Nova Friburgo)
Rua Dr. Silvio Henrique Braune, nº 22, Centro, Nova Friburgo - RJ, 28625-650

RESUMO

A elaboração de quadros de horários de uma instituição de ensino costuma levar um tempo considerável. A fim de otimizar esta tarefa, é sugerida a criação de um sistema capaz de gerar o quadro de horários, respeitando todas as restrições fortes e o máximo possível de restrições fracas. Essas restrições fracas foram separadas em três grupos, onde um possui maior importância que o outro. Este trabalho tem como objetivo apresentar a utilização do Método de Análise Hierárquica (AHP - *Analytic Hierarchy Process*) na definição dos valores dos pesos das restrições fracas, permitindo assim obter um resultado mais satisfatório na programação de quadros de horários de cursos universitários.

PALAVRAS CHAVE. Heurística; Quadro de Horários; AHP.

ADM - Apoio à Decisão Multicritério

ABSTRACT

The construction of educational institution timetable usually takes considerable time. In order to optimize this task, a system capable of generating the timetable is suggested, which respects all the hard restrictions and the maximum possible of soft restrictions. These soft restrictions were separated into three groups, in which one has greater importance than the other. This work aims to present the use of the Analytic Hierarchy Process (AHP) for defining the weight's value of the soft restrictions, thereby allowing a more satisfactory result in programming the university course's timetable.

KEYWORDS. Heuristic; Timetable; AHP.

ADM - Multicriteria Decision Support

1. Introdução

A elaboração de quadros de horários (problema de programação de horários) de uma instituição de ensino costuma levar um tempo considerável. Alocar professores às disciplinas ofertadas dos cursos é uma tarefa difícil e, na maior parte das vezes, é feita manualmente pelo coordenador de cada curso, que nesse período já está sobrecarregado com outras atividades. A criação do quadro de horários, mesmo sendo uma tarefa comum a todas as instituições de ensino, possui particularidades de uma para outra. Por se tratar de uma instituição de ensino superior, as diferenças são ainda maiores, fazendo com que o problema seja de difícil generalização.

Para Bardadym (1996), a solução manual deste problema é uma tarefa penosa e complexa e normalmente requer vários dias de trabalho. De acordo com Bloomfield e McSharry (1979), “dependendo do tamanho de um departamento e da diversidade da oferta de cursos, o tempo necessário para produzir um escalonamento de turmas pode variar de uma tarde a um mês de trabalho”.

Por ser um problema combinatorial *NP-Completo*, ou seja, na maioria das situações em que se apresenta não se conhece algoritmos polinomiais para resolvê-lo (EVEN *et al.*, 1975), o uso de técnicas exatas não é o mais adequado, pois demandam muito esforço computacional e consequentemente tempo. Com isso, muitos procedimentos heurísticos têm surgido como uma solução viável para satisfazer a maior parte dos requisitos existentes.

Nos trabalhos de Schmidt e Strohlein (1980) e nos *surveys* de Junginger (1986); Carter (1986); de Werra (1985); Fang (1994) e Schaerf (1999) uma atenção especial vem sendo dada à automação do problema, sendo, comumente abordado através de técnicas heurísticas, Santana *et al.* (2004) conceituam heurística como a tarefa de resolver inteligentemente problemas reais usando conhecimento disponível. Dentre as heurísticas se destacam aquelas chamadas de metaheurísticas, que ao contrário das convencionais, possuem caráter geral e são providas de mecanismos para escapar de ótimos locais. Dentre as metaheurísticas utilizadas para resolver esse tipo de problema, destacam-se: ILS (*Iterated Local Search*), Busca Tabu, Algoritmos Genéticos e GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*). Além destas técnicas, podem ser utilizadas também soluções baseadas em Inteligência Artificial, Programação Linear Inteira ou híbridas.

Segundo Lara (2007), os problemas de quadro de horários possuem uma estrutura básica que tem como característica evitar colisões nos horários e nas disponibilidades dos recursos envolvidos no escalonamento. Tais características são denominadas restrições, que por sua vez, são aquelas que não permitem que um mesmo professor seja designado a lecionar em duas turmas ao mesmo tempo ou que uma turma não tenha duas ou mais aulas ao mesmo tempo.

Burke e Newall (1999) dividem as restrições em duas categorias: fortes (*Hard*) e fracas (*Soft*). As fortes são aquelas que devem ser satisfeitas, sem exceção, pois quando uma restrição forte não é satisfeita, o resultado é inviável. Já as fracas, por outro lado, são consideradas como desejáveis para serem satisfeitas, mesmo não sendo essencial satisfazer todas para obter um resultado viável.

Algumas restrições fracas são mais importantes de serem satisfeitas que outras, possuindo assim uma maior prioridade. Estas prioridades são específicas para cada instituição, pois a restrição que pode ser importante para uma instituição, pode ter uma importância secundária em outra. Os pesos dados às diversas restrições refletem a importância relativa de cada uma delas, definindo a importância de uma sobre a outra.

O objetivo deste trabalho é apresentar a utilização do Método de Análise Hierárquica (AHP - *Analytic Hierarchy Process*) para definir os valores dos pesos das restrições fracas, de um sistema de cálculo do quadro de horário de curso universitário. As restrições fracas foram separadas em três grupos, com importâncias comparativas entre si. Assim, a vantagem de se utilizar tal metodologia é extrair, de uma pessoa experiente na área, as informações necessárias para a geração de um melhor quadro de horários, de acordo com a realidade do curso em questão.

Este trabalho foi desenvolvido como caso de estudo para um departamento de uma instituição federal de ensino superior, localizada no interior do RJ.

2. Apoio à Decisão Multicritério (ADM)

Os métodos multicritérios surgiram na década 70 e antes desta data os métodos de otimização, que auxiliavam no processo de tomada de decisão, eram baseados em equações de programação matemática. Estas tinham como meta solucionar apenas uma função objetivo (MOREIRA, 2007). Desta forma, não era possível associar todos os critérios para obter uma única resposta.

De acordo com Rodriguez *et al.* (2013), o ADM se apresenta como uma alternativa para a modelagem de problemas em que subjetividade, incertezas e ambiguidades estejam presentes, pois, ao abrir mão da necessidade de validações axiomáticas presentes em modelos de otimização, tem-se a possibilidade de incorporar tais elementos ao modelo, aproximando-o mais da realidade.

Segundo Costa (2004), uma das principais características das metodologias de ADM é a subjetividade como inerente aos problemas de decisão e utilização do julgamento de valor. Assim, esta propriedade é extremamente útil, já que é possível observar certa dificuldade em obter informações oriundas de dados qualitativos.

Os métodos de ADM têm sido aplicados em diversos tipos de problemas, como nas áreas de finanças, agronegócios, ecologia, saneamento básico, planejamento civil e militar, segurança e política pública, educação, medicina, biologia, planejamento energético, telecomunicações, desenvolvimento sustentável e planejamento e controle da produção (RODRIGUEZ *et al.*, 2013).

Roy (1968) e Saaty (1980, 1991, 2000), ao estudarem os critérios de forma conjunta, desenvolveram, respectivamente, os métodos de ELECTRE, que se consolidou na Escola Francesa, e os métodos AHP e suas variações, que se tornaram referências na Escola Americana.

De acordo com Alves (2007), o ELECTRE baseia-se em princípios relativamente flexíveis, na medida em que admite a possibilidade de que algumas alternativas não sejam comparáveis entre si e, além disso, dispensam a propriedade de transitividade, nas comparações alternativas. Já o AHP é baseado na divisão do problema de decisão em níveis hierárquicos para melhor compreensão e avaliação.

Para a definição dos pesos fracos foi escolhido o método AHP, por possuir algumas vantagens, inerentes ao problema, sobre o método ELECTRE. De acordo com Guglielmetti (2003), o AHP possui características que o ELECTRE não possui e são importantes para esse problema. Algumas dessas características são: Utilização em decisões com vários níveis; Quantidade alta de julgamentos em problemas com muitos critérios e alternativas; Proporciona ranking completo de alternativas; Proporciona soluções muito refinadas; Permite a avaliação de coerência dos julgamentos.

2.1. Método de Análise Hierárquica (AHP)

Em se tratando de ADM, um dos principais métodos é o de AHP, segundo Saaty (1980, 1991, 2000) e Costa (2006), já que permite o uso de critérios qualitativos e quantitativos. Este método consiste em dividir o problema de decisão em sete etapas para facilitar sua compreensão e avaliação, conforme listados abaixo:

I. *Construção da hierarquia de decisão:* a primeira etapa do método AHP consiste na decomposição do problema/decisão em uma hierarquia composta, no mínimo, de um objetivo, critérios e alternativas. A Figura 1 ilustra essa hierarquia.

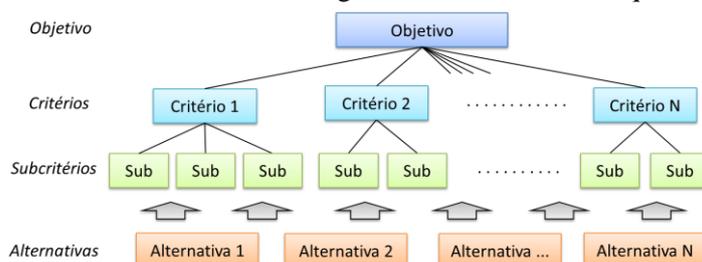


Figura 1 – Modelo Hierárquico. Fonte: Adaptado de Saaty (1991)

II. *Comparação entre os elementos da hierarquia*: a segunda etapa consiste em estabelecer prioridades entre os elementos para cada nível da hierarquia, por meio de uma matriz de comparação. O primeiro ponto a ser considerado é a determinação de uma escala de valores para comparação, que não deve exceder um total de nove fatores, a fim de se manter a matriz consistente. Assim, Saaty definiu uma Escala Fundamental (Tabela 1).

Tabela 1 – Escala Fundamental de Saaty

Escala	Avaliação	Recíproco	Comentário
Igual importância	1	1	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
Importância moderada	3	1/3	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra
Mais importante	5	1/5	A experiência ou juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra
Muito importante	7	1/7	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra
Importância extrema	9	1/9	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança
Valores intermediários	2, 4, 6, 8	1/2, 1/4, 1/6, 1/8	Quando se procura uma condição entre duas definições

Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

A análise deve ser feita para cada nível da hierarquia, ou seja, os subcritérios existentes para cada um dos critérios considerados também devem passar pela mesma forma de comparação, com a mesma escala de valores.

III. *Prioridade relativa de cada critério*: para obter a prioridade relativa de cada critério é necessário:

1. Normalizar os valores da matriz de comparações: o objetivo é igualar todos os critérios a uma mesma unidade.
2. Obter o vetor de prioridades: o objetivo é identificar a ordem de importância de cada critério.

IV. *Avaliar a consistência das prioridades relativas*: calcular a Razão de Consistência (RC) para medir o quanto os julgamentos foram consistentes em relação a grandes amostras de juízos completamente aleatórios. As avaliações do método AHP são baseadas no pressuposto de que o decisor é racional, e assim, se A é preferido a B e B é preferível a C, então A é preferido a C. Se o RC é superior a 0,1 (10%) os julgamentos não são confiáveis; neste caso, os resultados obtidos não apresentam valores consistentes. Para calcular a RC é necessário primeiro obter o valor de λ_{\max} que representa o maior autovalor da matriz A, obtido a partir da seguinte equação:

$$Aw = \lambda_{\max} \cdot w$$

Onde “A” é a matriz de prioridades e “w” é o vetor de prioridade.

Uma vez calculado λ_{\max} , deve-se calcular o Índice de Consistência (IC) para logo calcular a RC. O IC é determinado de acordo com a fórmula abaixo, em que n é o número de critérios:

$$IC = (\lambda_{\max} - n) / (n-1)$$

A RC é obtida pela fórmula:

$$RC = IC / IR$$

Onde IR é o índice de consistência referente a um grande número de comparações efetuadas par a par. Este é um índice aleatório calculado para matrizes quadradas de ordem n pelo Laboratório Nacional de Oak Ridge, nos EUA. Um RC de 10% ou menos implica que o ajuste é pequeno em comparação com os valores atuais das entradas. Um RC alto como, 90% significaria que os julgamentos são praticamente emparelhados aleatoriamente e são completamente não confiáveis.

V. *Construção da matriz de comparação paritária para cada critério, considerando cada uma das alternativas selecionadas:* todos os procedimentos para a construção da matriz de comparação e para a determinação da prioridade relativa de cada critério devem ser feitos novamente, observando agora a importância relativa de cada uma das alternativas que compõem a estrutura hierárquica do problema em questão.

VI. *Obter a prioridade composta para as alternativas:* nesta etapa, obtêm-se as prioridades compostas das alternativas, multiplicando os valores anteriores e os das prioridades relativas, obtidos no início do método.

VII. *Escolha da alternativa:* a alternativa com maior prioridade aparece como a mais indicada para escolha, em função dos critérios definidos e das suas respectivas importâncias.

Este trabalho utiliza as etapas de I a VI, já que se referem à matriz paritária de cada critério, não sendo necessária a utilização da etapa VII que é referente à escolha de alternativas.

3. Descrição do Problema

Deseja-se neste trabalho criar um sistema capaz de gerar o quadro de horários, respeitando todas as restrições fortes e o máximo de restrições fracas possíveis. Para isso o desenvolvimento foi dividido em fases, conforme Figura 2.

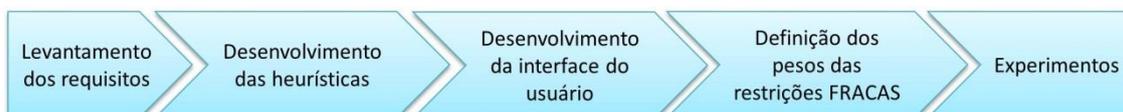


Figura 2 – Fases de criação

3.1 Levantamento dos requisitos

Nesta fase são definidos todos os requisitos (características) do problema e da interface do usuário. Além disso, foram definidas as restrições fracas e fortes a serem usadas, sendo que as fortes não fazem parte do escopo deste trabalho, pois seus valores são fixos e caso alguma restrição desta seja quebrada, o resultado se torna inviável. Dentre as restrições fortes, podem-se citar:

- Indisponibilidade de horário (turno e dia) do professor para lecionar;
- Indisponibilidade do professor em lecionar em duas ou mais turmas no mesmo dia, horário e turno;
- Não permitir conflitos de aulas de um mesmo período (quando a turma é principal) no mesmo horário, dia e turno;
- Restringir um período mínimo de horas no mesmo dia para uma turma, sem intervalos entre as horas;
- Proibir turno indesejado (manhã, tarde ou noite).

As restrições fracas foram definidas em três grupos. Essa divisão foi sugerida, pois cada grupo possui importâncias diferentes entre eles. Os graus de importância são definidos pelo entrevistado e são levados em consideração pelo AHP. Assim, os três grupos se dividem da seguinte forma:

- Grupo 1
 - R₁₁ - Carga horária máxima em um dia para o professor lecionar.
 - R₁₂ - Quantidade máxima de dias da semana que se pode alocar um professor.
 - R₁₃ - Máximo de horas no mesmo dia para uma turma.
- Grupo 2
 - R₂₁ - Tentar atender um número máximo de planos de estudo dos alunos, evitando conflitos nas escolhas das turmas pelos alunos.
 - R₂₂ - O professor não deseja lecionar em dias e horários específicos, porém se necessário, ele não está impossibilitado.
 - R₂₃ - Carga horária máxima desejada em um dia para o professor para lecionar.
 - R₂₄ - Reduzir os horários vagos (janelas) entre as aulas no mesmo dia do professor.
 - R₂₅ - Quantidade máxima desejado de dias da semana que se pode alocar um professor.
 - R₂₆ - Possibilidade de alocação das aulas de uma turma no mesmo horário, em dias diferentes.
 - R₂₇ - Tentativa de alocação das aulas de uma turma no mesmo turno, em dias diferentes.
 - R₂₈ - Possibilidade de criar intervalos entre dias da semana para a mesma turma.
 - R₂₉ - Tentar respeitar o(s) turno(s) de preferência (manhã, tarde ou noite) de cada curso.
- Grupo 3
 - R₃₁ - A influência do peso da sugestão do quadro de horários pelo aluno.
 - R₃₂ - A influência do peso da sugestão do quadro de horários pelo aluno formando.
 - R₃₃ - A influência do peso da sugestão do quadro de horários pelo professor.

As restrições R₃₁, R₃₂ e R₃₃, fazem parte do diferencial do trabalho. Com a resolução do problema de quadro de horários, buscou-se desenvolver um sistema em que os alunos e professores possam interagir e opinar no mesmo. Neste sistema colaborativo, que utiliza preceitos de Web 2.0, é possível criar um quadro de horário eficaz, atendendo a todas as restrições necessárias. A partir de um quadro inicial gerado, o sistema recebe sugestões de mudanças por parte dos alunos e professores, para então ser recalculado. Outra restrição que possui destaque é a R₂₁, nela a heurística desenvolvida tenta atender o maior número de planos de estudo dos alunos, através das turmas que os alunos pretendem cursar.

3.2 Desenvolvimento das heurísticas

Já na segunda fase, a qual não é foco deste artigo, foram utilizadas todas as etapas inerentes ao desenvolvimento de heurísticas para o tratamento de um problema de otimização combinatória. Foram desenvolvidos métodos baseados nas metaheurísticas GRASP, ILS, VND e Busca Local.

3.3 Desenvolvimento da interface do usuário

Nesta fase, foram utilizadas todas as etapas inerentes ao desenvolvimento de software. Por haver necessidade de interação com o sistema pelo coordenador, professores e alunos, faz-se necessário o uso da Internet. Para isso foi utilizada uma linguagem específica para Web. O PHP (*Hypertext Preprocessor*) foi escolhido para o processamento e geração de página HTML, que coleta os dados necessários para o sistema e exibe o resultado final.

Na interface há quatro perfis de acessos: coordenador, professor, aluno e administrador. O de coordenador do curso lhe permite acessar e alterar os dados dos professores e alunos, bem

como suas turmas, além de editar disciplinas, turmas, dentre outras funções inerentes ao cargo. Já os acessos de professores e alunos, permitem editar os próprios dados e sugerir mudanças no quadro de horários para suas turmas. Além destes, há o acesso de administrador onde estão disponíveis todas as funções do coordenador, exceto a de sugestão. O administrador pode cadastrar o coordenador e ter acesso a todo o gerenciamento de acesso dos usuários.

3.4 Definição dos pesos das restrições fracas

A elaboração de um sistema para cálculo do quadro de horário gerou uma preocupação em relação aos valores dos pesos das restrições fracas. Estes pesos representam a importância de cada restrição sobre as demais. Sendo assim, é de grande importância gerar valores baseados na opinião de uma pessoa experiente, pois pequenas alterações podem gerar um resultado totalmente diferente. Então, na quarta fase foi utilizado o método AHP, para essa definição, que é o foco principal deste artigo.

3.5. Experimentos

A última fase diz respeito à realização dos experimentos e testes. Esta fase foi dividida em três etapas de validação e verificação a fim de avaliar:

- I. A heurística em relação à primeira etapa, onde são utilizadas as restrições fortes e fracas dos Grupos 1 e 2.
- II. A heurística em relação à segunda etapa, de forma a utilizar as restrições fortes e fracas dos Grupos 1 e 2; além destas são inseridas as restrições fracas do Grupo 3, referentes às sugestões.
- III. Os pesos adquiridos, os quais são gerados através do AHP para as restrições fracas.

4. Aplicação do Método AHP

O método AHP foi aplicado para facilitar o processo intuitivo de escolha dos pesos das restrições fracas, estruturando o problema de forma a torná-lo menos complexo, onde o decisor lida com um ou dois problemas menores de cada vez. Serão utilizadas as etapas de I a VI (descritas na Seção 2.1), por se tratar de um problema de definição de pesos e não de comparação de alternativas.

4.1. Estruturação da hierarquia de decisão

Essa etapa é constituída pela elaboração hierárquica dos critérios relevantes para o problema. Através de um estudo junto aos futuros usuários do sistema, foram identificadas as restrições que contribuem para a elaboração do sistema de quadro de horários.

Segundo Dumoulin *et al.* (2006), o elemento central da metodologia AHP é a decomposição do objeto de análise em um conjunto de fatores organizados hierarquicamente, denominado “árvore hierárquica”. Define ainda, que esta árvore ou estrutura hierárquica é composta por níveis, que ajudam o decisor a ter uma visão mais clara dos fatores necessários para a tomada de decisão. A definição dos critérios e montagem da árvore hierárquica pressupõe que o problema esteja claro e bem definido. Caso contrário, corre-se o risco de se construir uma árvore com inconsistências em sua concepção, prejudicando a análise das alternativas e a escolha da melhor solução.

A Figura 3 mostra a árvore hierárquica desenvolvida, utilizando as restrições fracas descritas na seção 3.1.

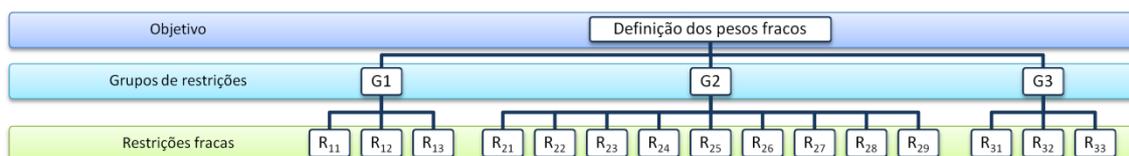


Figura 3 – Árvore hierárquica

4.2. Matriz de comparação pareada

Para ser o decisor foi escolhido um profissional experiente na área acadêmica, administrativa e, principalmente, em coordenação de curso. Por se tratar de um curso recente no campus da instituição onde foi realizado o trabalho, este decisor possuía uma melhor qualificação para ser entrevistado. Na entrevista, foi possível extrair a sua opinião e a sua subjetividade em relação às restrições necessárias para a construção de um quadro de horários eficaz. A entrevista também possibilitou a realização da comparação par a par entre os critérios do mesmo nível, em que são avaliadas as preferências relativas entre cada elemento. Utilizou-se a Escala Fundamental de Saaty (1991), na qual os valores foram introduzidos nas matrizes (Tabelas 2, 3, 4 e 5). Por exemplo, na Tabela 3, temos a comparação no grupo 2 da restrição R_{21} com R_{25} . A R_{21} é muito importante em relação a R_{25} , recebendo o valor 7 da Escala Fundamental. Já a restrição R_{23} possui importância moderada em relação à restrição R_{27} , recebendo valor 3. Cabe ressaltar que, quando é feita a comparação e o critério da coluna possui maior importância em relação à linha, este valor é recíproco, ou seja, usa-se o valor fracionado. A R_{25} em relação a R_{21} possui valor de $1/7$ e a R_{27} em relação a R_{23} valor de $1/3$.

Tabela 2 – Matriz de comparação pareada – Grupo 1

	R_{11}	R_{12}	R_{13}
R_{11}	1	5	$1/3$
R_{12}	$1/5$	1	$1/7$
R_{13}	3	7	1

Tabela 3 – Matriz de comparação pareada – Grupo 2

	R_{21}	R_{22}	R_{23}	R_{24}	R_{25}	R_{26}	R_{27}	R_{28}	R_{29}
R_{21}	1	5	1	9	7	9	3	2	8
R_{22}	$1/5$	1	$1/5$	8	7	9	$1/2$	$1/5$	5
R_{23}	1	5	1	8	7	7	3	2	8
R_{24}	$1/9$	$1/8$	$1/8$	1	$1/5$	$1/2$	$1/7$	$1/9$	$1/2$
R_{25}	$1/7$	$1/7$	$1/7$	5	1	5	$1/6$	$1/7$	3
R_{26}	$1/9$	$1/9$	$1/7$	2	$1/5$	1	$1/9$	$1/8$	$1/2$
R_{27}	$1/3$	2	$1/3$	7	6	9	1	$1/3$	7
R_{28}	$1/2$	5	$1/2$	9	7	8	3	1	8
R_{29}	$1/8$	$1/5$	$1/8$	2	$1/3$	2	$1/7$	$1/8$	1

Tabela 4 – Matriz de comparação pareada – Grupo 3

	R_{31}	R_{32}	R_{33}
R_{31}	1	$1/5$	$1/7$
R_{32}	5	1	$1/2$
R_{33}	7	2	1

Tabela 5 – Matriz de comparação pareada dos grupos

	G1	G2	G3
G1	1	8	7
G2	$1/8$	1	$1/2$
G3	$1/7$	2	1

Para todas as 15 restrições, divididas em três grupos, foram necessários 45 valores a serem inseridos nas matrizes, que quando preenchidos sem a devida preocupação, facilmente causam inconsistências. Por se tratar de um conjunto de várias restrições, houve dificuldade para se achar uma inconsistência aceitável no Grupo 2. A solução adotada foi ordenar manualmente,

como uma régua, o conjunto por importância, para então preencher a matriz respeitando esta ordem. Assim, a subjetividade foi lapidada, podendo extrair melhor a opinião do entrevistado, a fim de inseri-la no AHP.

A partir das matrizes de preferências, utilizando as fórmulas sugeridas por Saaty (1991) para o AHP, construíram-se as Tabelas (Tabelas 6, 7, 8 e 9), que sintetizam as prioridades relativas atribuídas às dimensões. A Tabela 10 mostra a prioridade global de cada restrição.

Tabela 6 – Prioridades entre as restrições do grupo 1

R₁₁	0,279
R₁₂	0,072
R₁₃	0,649
Inconsistência	0,06

Tabela 7 – Prioridades entre as restrições do grupo 2

R₂₁	0,247
R₂₂	0,096
R₂₃	0,242
R₂₄	0,015
R₂₅	0,400
R₂₆	0,180
R₂₇	0,120
R₂₈	0,201
R₂₉	0,022
Inconsistência	0,09

Tabela 8 – Prioridades entre as restrições do grupo 3

R₃₁	0,075
R₃₂	0,333
R₃₃	0,592
Inconsistência	0,01

Tabela 9 – Prioridades entre os grupos

G1	0,784
G2	0,081
G3	0,135
Inconsistência	0,03

Tabela 10 – Prioridade global de cada restrição

Restrição	Peso	Restrição	Peso
R₁₁	0,191	R₂₆	0,003
R₁₂	0,049	R₂₇	0,022
R₁₃	0,444	R₂₈	0,037
R₂₁	0,046	R₂₉	0,004
R₂₂	0,018	R₃₁	0,010
R₂₃	0,045	R₃₂	0,043
R₂₄	0,003	R₃₃	0,076
R₂₅	0,007	Inc. Global	0,050

Foi realizada a análise de inconsistência na matriz de comparação, onde foi avaliada a coerência do julgamento do decisor, para determinar se os níveis de inconsistência estavam aceitáveis, ou seja, abaixo de 0,10 (10%). No grupo 1, a inconsistência foi de 0,06, já no grupo 2 foi de 0,09 e no grupo 3 de 0,01. A inconsistência das prioridades entre os grupos foi de 0,03 e a da prioridade global, que possui maior destaque, foi de 0,050. Logo, todas indicaram que há coerência no julgamento do decisor.

4.3. Utilização dos valores como pesos

O sistema desenvolvido para a geração do quadro de horários aceita valores fracionados para os pesos. Então só é necessário utilizar os dados obtidos no texto descrito e inserir os mesmos diretamente no sistema. Assim, os valores serão:

Tabela 11 – Valores finais

Restrição	Peso	Restrição	Peso
R ₁₁	0,191	R ₂₆	0,003
R ₁₂	0,049	R ₂₇	0,022
R ₁₃	0,444	R ₂₈	0,037
R ₂₁	0,046	R ₂₉	0,004
R ₂₂	0,018	R ₃₁	0,010
R ₂₃	0,045	R ₃₂	0,043
R ₂₄	0,003	R ₃₃	0,076
R ₂₅	0,007		

Como dito anteriormente, esses pesos servirão de entrada para as heurísticas, as quais buscarão encontrar o quadro de horários que apresente o menor número de restrições violadas, respeitando seus pesos (prioridades). O objetivo das heurísticas é minimizar o valor da função objetivo. Sendo assim, cada alocação em horário indesejado de um professor (R₂₂), resulta em um acréscimo de 0,018 no valor da função objetivo das heurísticas. O mesmo acontece quando as outras restrições são violadas. Percebe-se então que as restrições que agregam mais qualidade ao quadro de horários são R₁₃ (máximo de horas no mesmo dia para uma turma), R₁₁ (carga horária máxima em um dia para o professor lecionar), R₃₃ (peso da sugestão do professor) e R₁₂ (quantidade máxima de dias da semana que se pode alocar um professor).

A restrição de opinião do aluno R₃₁ (peso da sugestão do aluno) está entre as restrições com menor peso (0,010). Porém, o sistema trata esta opinião de forma conjunta, ou seja, quanto mais alunos sugerirem a mesma troca de horário, maior será este valor. Por exemplo, quando 20 alunos e 6 alunos formandos desejam a mesma mudança, o cálculo é feito da seguinte forma: $0,010 \times 20 = 0,200$ e $0,043 \times 6 = 0,258$. Assim, o valor total é 0,458, o que torna esta restrição a mais forte dentre as fracas.

5. Considerações finais

O método AHP se mostrou muito útil para auxiliar no processo de determinação dos pesos de heurísticas para cálculo do quadro de horários. A opinião de uma pessoa experiente foi muito importante e com isso, foi possível definir os pesos, levando-se em conta a opinião subjetiva retirada no processo de elaboração do AHP. Nos testes notou-se que, utilizando o AHP, o resultado gerado pela heurística era mais satisfatório.

Por ser tratar de um conjunto de várias restrições, houve dificuldade para se achar uma inconsistência aceitável no Grupo 2. A solução adotada foi ordenar manualmente, como uma régua, o conjunto por importância, para então preencher a matriz respeitando esta ordem. Assim, a subjetividade foi lapidada, podendo extrair melhor a opinião do entrevistado, a fim de inseri-la no AHP. Em seguida, foram efetuados os cálculos para a geração dos valores necessários, que por sua vez, foram utilizados pela heurística na geração do quadro de horários.

Referências

- Alves, L. G. K.; Nykiel, T. P.; Belderrain, M. C. N.** (2007), Comparação analítica entre métodos de apoio multicritério à decisão (AMD). *XIII ENCITA*.
- Bardadym, V. A.** (1996), Computer-Aided School and University Timetabling: The New Wave, *Lecture Notes in Computer Science*, 1153:22-45, Springer-Verlag.
- Bloomfield, S. D.; Mcsharry, M. M.** (1979), Preferential Course Scheduling System. *Interfaces*, vol. 9, n. 4, p. 24-31.
- Burke, E. K.; Newall, J. P.** (1999), A Multistage Evolutionary Algorithm for the Timetable Problem, *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, vol. 3, n. 1, p.63-74.
- Carter, M. W.** (1986), A survey of practical applications of examination timetabling algorithms. *Operations Research*, vol. 34, n. 2, p. 193-202.
- Costa, H. G.** (2006), Auxílio multicritério à decisão: método AHP. *ABEPRO*.
- Costa, H. G.** IPÊ 1.0: Guia do usuário. *Relatório Técnico de Pesquisa*. Universidade Federal Fluminense (UFF), 2004.
- De Werra, D.** (1985), An introduction to timetabling. *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, v. 19, n. 2, p. 151-162.
- Dumoulin, B.; Guimarães, D.; Neves, G.** (2006), O método AHP como ferramenta de focalização do processo de gerenciamento de projetos - Caso: APEX-Brasil. *Macroplan – Prospectiva, Estratégia e Gestão*.
- Even, S; Itai, A.; Shamir, A.** (1976), On the complexity of timetabling and multicommodity flow problems. *SIAM Journal of Computation*, vol. 5, p. 691–703.
- Fang, H.** (1994), Genetic Algorithms in Timetabling and Scheduling. *PHD Thesis - Department of Artificial Intelligence*, University of Edinburg, United Kingdom.
- Guglielmetti, F. R.; Marins, F. A. S.; Salomon, V. A. P.** (2003), Comparação teórica entre métodos de auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios. *XXIII ENEGEP*.
- Junginger, W.** (1986), Timetabling in Germany – a survey. *Interfaces*, 16, p. 66-74.
- Lara, B.** (2007), Alocação de professores em instituições de ensino superior: um modelo matemático para o problema de único campus e para o multicampi. *XXXIX SBPO*.
- Moreira, R. A.** (2007), Análise Multicritério dos Projetos do Sebrae/RJ através do Electre IV. *Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração e Economia*, Faculdade de Economia e Finanças, IBMEC, Rio de Janeiro.
- Rodriguez, D. S. S.; Costa, H. G.; Carmo, L. F. R. R. S.** (2013), Métodos de auxílio multicritério à decisão aplicados a problemas de PCP: Mapeamento da produção em periódicos publicados no Brasil - *Gest. Prod.*, São Carlos, vol. 20, n. 1, p. 134-146.
- Roy, B.** (1968) Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE). *La Revue d'Informatique et de Recherche Opérationnelle (RIRO)*, vol.8, p. 57–75.
- Saaty, T. L.** *Decision making for leaders*. Pittsburg, USA: WS. Publications, 2000.
- Saaty, T. L.** *Método de análise hierárquica*. Tradução e revisão técnica Wainer da Silveira e Silva. São Paulo: Makron Books, 1991.
- Saaty, T. L.** *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, 1980.
- Schaerf, A.** (1995), A survey of automated timetabling. *Tech. Rep. CWI (Centre for Mathematics and Computer Science)*, Amsterdam, The Netherlands.
- Schmidt, G.; Strohle, T.** (1980), Timetable Construction an annotated Bibliography. *The Computer Journal*, vol.23, n. 4, p. 307-315.