

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

BRAULIO ALVES SILVA LARA

Quadro de Horários Acadêmico:
Uma Abordagem com Foco na Avaliação Institucional e na Gestão de
Custos de Instituições de Ensino Superior Privadas Brasileiras

Belo Horizonte

2006

BRAULIO ALVES SILVA LARA

Quadro de Horários Acadêmico:

Uma Abordagem com Foco na Avaliação Institucional e na Gestão de Custos de Instituições de Ensino Superior Privadas Brasileiras

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Departamento de Ciência da Computação do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Geraldo Robson Mateus

Belo Horizonte

2006

A Deus, a minha família
e a minha namorada.

Agradecimentos

Agradeço ao professor Geraldo Robson Mateus pelo conhecimento, pelo incentivo e pela orientação.

Agradeço os professores Denílson Alves Pereira, Mirian Lourenço Maia e Gilberto Miranda Júnior por terem confiado a indicação e pela motivação para realizar esse curso de Mestrado.

Agradeço à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), por meio do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PPGCC) do Departamento de Ciência da Computação (DCC), pela oportunidade e ao Centro Universitário de Belo Horizonte (UNI-BH) pela experiência acadêmica e profissional que subsidiaram a criação desse trabalho.

Agradeço também aqueles que, embora não citados, me ajudaram por esse caminho e colaboraram para a realização dessa dissertação.

Agradeço a Deus, pela força em todos os momentos, à minha família e à minha namorada pelo suporte e compreensão durante todo o percurso.

Resumo

Essa dissertação apresenta o problema da construção de quadros de horários em instituições de ensino, conhecido como *timetabling*, por um ângulo diferente dos trabalhos descritos na literatura, que é aplicável ao cenário brasileiro.

A elaboração de quadros de horários acadêmicos é uma atividade estrutural de uma instituição de ensino. No sistema de ensino superior brasileiro existem regras e normas que definem parâmetros de qualidade, os quais devem ser atendidos pelas instituições. Esse trabalho propõe uma metodologia para construção de quadros de horários acadêmicos, tal que os aspectos de custo operacional e atendimento aos requisitos legais sejam considerados. Os principais parâmetros utilizados são oriundos do SINAES (Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior), gerido pelo MEC (Ministério da Educação), por meio da Avaliação Institucional realizada pelo INEP (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira). Entre eles cabe destacar o regime de trabalho, a titulação, as publicações e produções do corpo docente. Então, com base nessas e outras informações, deseja-se realizar a alocação dos professores nas atividades institucionais de modo eficiente, a fim de se obter o nível de qualidade desejado e uma aplicação racional dos recursos docentes.

Devido à abordagem da gestão de custos, o trabalho é direcionado às instituições de ensino superior privadas, pois vários critérios abordados não estão presentes no contexto público. Então, um processo para a construção de um quadro de horários é proposto, o qual inclui modelos de otimização para a alocação de professores às disciplinas ofertadas, tanto para instituições organizadas em um único *campus* como para instituições *multicampi*.

Abstract

This dissertation presents the timetabling problem to educational institutions showed in a different angle in relation with other works in the literature, applicable in the brazilian context.

The construction of academic timetables is a structural activity in an educational institution. There are rules and standards in the brazilian superior education system that establish quality parameters, that should be fulfilled by institutions. This work proposes a methodology for the construction of academic timetables, so that the aspects of operational costs and the fulfillment of legal requirements are considered. The most important used parameters are from the SINAES (National Superior Education Evaluation System), managed by MEC (Ministry of Education), throughout Institutional Evaluation done by INEP (National Institute of Studies and Educational Research Anísio Teixeira). It's important to highlight the work regimen, the academic degree, the publications and productions of academic staff. Based on these and other informations, it is desirable to make the teachers assignments in the institutional activities in an efficient mode, in order to get the quality level desired and rational academic resources application.

Due to the line of costs management, this work is directed to the private superior educational institutions, once that various criteria are not applied to the public organization. Therefore, a process for the construction of timetables is proposed, which includes optimization models for the assignment to subjects offered, for institutions organized in an single *campus* and for *multicampi* institutions.

Lista de Ilustrações

FIGURA 1	- Níveis de Formação da Educação Superior Brasileira	29
FIGURA 2	- Fases do Processo	62
FIGURA 3	- Diagrama de processo para construção do quadro de horários	66
FIGURA 4	- Modelo de dados utilizado	85
FIGURA 5	- Modelo da rede multifluxo.....	130
GRÁFICO 1	- Carga Horária Total Mínima por tipo de IES	55
GRÁFICO 2	- Proporção CHTM/CHE por tipo de IES.....	56
GRÁFICO 3	- Proporção CHTM/CHE nas Universidades	56
GRÁFICO 4	- Proporção CHTM/CHE nos Centros Universitários	57
GRÁFICO 5	- Proporção CHTM/CHE nas Faculdades	57
GRÁFICO 6	- Número de Professores Mínimo por tipo de IES	58
GRÁFICO 7	- Percentual de Professores em Tempo Integral por tipo de IES.....	59
GRÁFICO 8	- Percentual de Professores em Tempo Integral nas Universidades.....	60
GRÁFICO 9	- Percentual de Professores em Tempo Integral nos Centros Universitários...	60
GRÁFICO 10	- Evolução do <i>gap</i> para uma instância pequena	115
GRÁFICO 11	- Evolução da função objetivo e do limite inferior para uma instância pequena	116
GRÁFICO 12	- Evolução do <i>gap</i> para uma instância maior	117
GRÁFICO 13	- Evolução da função objetivo e do limite inferior para uma instância maior	117
QUADRO 1	- Definição dos tipos de regime de trabalho	24
QUADRO 2	- Um quadro de horários solução	32
QUADRO 3	- Distribuição de carga horária semanal dos professores (1).....	33
QUADRO 4	- Distribuição de carga horária semanal dos professores (2).....	33
QUADRO 5	- Distribuição de carga horária semanal dos professores (3).....	34
QUADRO 6	- Conjunto de disciplinas a serem ofertadas de acordo com a grade curricular	77
QUADRO 7	- Quadro de oferta de disciplinas	81
QUADRO 8	- Discretização dos regimes de trabalho.....	82
QUADRO 9	- Relação de ofertas de disciplinas afins aos professores.....	86
QUADRO 10	- Períodos de indisponibilidade dos professores.....	87
QUADRO 11	- Quadro de horários final.....	91
QUADRO 12	- Relação de ofertas de disciplinas afins aos professores (E4).....	107

Lista de Tabelas

1 -	Evolução das IES no Brasil – 1998-2004.....	11
2 -	Metas sobre titulação e regime de trabalho para o corpo docente	14
3 -	Distribuição dos Pesos nas Dimensões do SINAES	20
4 -	Conceitos do Indicador Titulação (<i>MT</i>).....	23
5 -	Conceitos do Indicador Regime de Trabalho (RT)	24
6 -	Conceitos do Indicador Publicações/Produções (<i>N</i>)	25
7 -	Carga horária por disciplina a ser ofertada	32
8 -	Plano de oferta de disciplinas.....	78
9 -	Regimes de trabalho considerados e seus parâmetros	83
10 -	Solução ótima (inteira) do modelo APRAC	83
11 -	Custos marginais dos regimes de trabalho - solução linear do APRAC	84
12 -	Penalidade calculada para cada professor.....	85
13 -	Enquadramento dos professores na solução final	88
14 -	Distribuição de horas de ensino final por professor	89
15 -	Enquadramento dos professores na solução final (E1).....	95
16 -	Distribuição de horas de ensino final por professor (E1)	96
17 -	Enquadramento dos professores na solução final (E2).....	98
18 -	Distribuição de horas de ensino final por professor (E2)	100
19 -	Enquadramento dos professores na solução final (E3).....	103
20 -	Distribuição de horas de ensino final por professor (E3)	104
21 -	Enquadramento dos professores na solução final (E4).....	108
22 -	Distribuição de horas de ensino final por professor	109
23 -	Avaliação dos Exemplos.....	112
24 -	Instâncias da primeira bateria de testes	118
25 -	Resultados computacionais da primeira bateria de testes.....	118
26 -	Resultados dos indicadores do processo de alocação de professores da primeira bateria de testes	119
27 -	Instâncias da segunda bateria de testes.....	121
28 -	Resultados computacionais da segunda bateria de testes	122
29 -	Resultados dos indicadores do processo de alocação de professores da segunda bateria de testes	123
30 -	Instâncias da terceira bateria de testes.....	125
31 -	Resultados computacionais da terceira bateria de testes	126
32 -	Resultados dos indicadores do processo de alocação de professores da terceira bateria de testes	127

Sumário

Capítulo 1 - Introdução	9
Capítulo 2 - Contextualização	11
2.1 - <i>A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB)</i>	13
2.2 - <i>Avaliação no Ensino Superior</i>	15
2.2.1 - <i>Evolução dos Processos Avaliativos</i>	15
2.2.2 - <i>SINAES</i>	18
2.2.3 - <i>Avaliação Externa</i>	20
2.2.4 - <i>Cálculo de Indicadores</i>	22
Indicador Titulação	22
Indicador Regime de Trabalho.....	23
Indicador Publicações/Produções.....	24
2.3 - <i>Normas Regionais</i>	26
2.4 - <i>Organização e Normas Institucionais</i>	27
2.5 - <i>Competitividade e Custos em IES Particulares</i>	30
2.5.1 - <i>Custos x Horário</i>	32
2.6 - <i>Conclusão</i>	36
Capítulo 3 - Revisão Bibliográfica.....	37
3.1 - <i>O Problema</i>	37
3.2 - <i>Viabilidade versus Otimalidade</i>	41
3.3 - <i>Métodos de Resolução</i>	42
3.4 - <i>Modelos Timetabling</i>	43
3.4.1 - <i>Problema de Escalonamento Turma-Professor (PET)</i>	43
3.4.2 - <i>Problema de Escalonamento de Disciplinas (PED)</i>	45
3.4.3 - <i>Problema de Escalonamento de Exames (PEE)</i>	47
3.4.4 - <i>Problema de Alocação de Professores (PAP)</i>	48
3.4.5 - <i>Problema de Alocação de Salas de Aula (PASA)</i>	50
3.5 - <i>O modelo APRAC</i>	52
3.5.1 - <i>Indicadores Referenciais do APRAC</i>	54
3.5.2 - <i>Análises sobre os Indicadores Referenciais</i>	55
Capítulo 4 - Modelagem do Problema.....	61
4.1 - <i>Processo de Elaboração de um Quadro de Horários</i>	61
4.2 - <i>Alocação de Professores</i>	64
4.3 - <i>Objetivo a otimizar</i>	67

4.4 - <i>Formulação Matemática – Único Campus (Modelo APU)</i>	71
4.5 - <i>Formulação Matemática – Multicampi (Modelo APM)</i>	75
4.6 - <i>Processo Exemplo</i>	77
4.6.1 - Fase 1 – <i>Elaboração do Plano de Oferta</i>	77
4.6.2 - Fase 2 – <i>Elaboração do Quadro de Oferta</i>	80
4.6.3 - Fase 3 – <i>Alocação de Professores no Quadro de Horários</i>	82
4.6.4 - <i>Interação entre Fases</i>	93
4.7 - <i>Extensões ao exemplo - análises em outros cenários</i>	94
4.7.1 - Exemplo E1 - <i>Instituições com vários campi</i>	94
4.7.2 - Exemplo E2 - <i>Evolução no Quadro Docente</i>	98
4.7.3 - Exemplo E3 - <i>Professores pré-alocados em atividades complementares</i>	102
4.7.4 - Exemplo E4 - <i>Aumento na disponibilidade dos professores</i>	106
4.8 - <i>Indicadores do Processo de Alocação de Professores</i>	111
4.8.1 - <i>Avaliação dos Exemplos</i>	112
4.9 - <i>Método de Resolução</i>	114
4.10 - <i>Testes Realizados</i>	115
4.11 - <i>Formulação Alternativa – Fluxo de Custo Mínimo Multiproduto</i>	129
Capítulo 5 - Conclusões	136
Capítulo 6 - Bibliografia	138

Capítulo 1 - Introdução

A elaboração de quadros de horários é uma atividade comum a toda instituição de ensino. A alocação de professores às disciplinas a serem ofertadas em uma turma de alunos em uma determinada sala de aula é uma tarefa difícil e em muitos casos é feita manualmente por uma equipe administrativo-acadêmica antes do início do período letivo. Segundo Bloomfield e McShare [5], “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”.

Essa atividade, conhecida como construção de quadro de horários, (em inglês, *timetabling*) tem características comuns nos diversos modelos de ensino. No entanto, cada Instituição, dependendo do seu contexto, possui características ou peculiaridades que influenciam na construção dos seus quadros de horários.

Existe uma grande variedade de problemas de *timetabling* descritos na literatura [50] bem como caminhos diferentes para obtenção da solução. Essa grande variedade ocorre devido à customização dos modelos de acordo com o tipo de escola e seu sistema educacional. Dessa forma, não é possível o estabelecimento de um modelo único que seja capaz de atender todas as situações.

Um problema de *timetabling* é um problema de aspecto combinatório que consiste em construir quadros de horários para uma série de atividades atendendo a um determinado conjunto de restrições. Na maioria dos casos, a confecção de um quadro de horários se baseia em criar uma solução viável dentro do conjunto de restrições do problema [15][50].

Em se tratando de Instituições de Ensino Superior (IES) brasileiras, as quais estão sujeitas a um mecanismo de avaliação oficializado pelo Ministério da Educação (MEC), uma solução de um quadro de horários pode implicar em arranjos melhores ou piores quanto aos conceitos obtidos nas Avaliações Institucionais [37]. Isso porque o plano de disciplinas a serem ofertadas e conseqüentemente o quadro de horários, estão na base estrutural da organização de uma IES e mesmo com um quadro de horários que atenda todas as restrições e satisfaça as necessidades de professores e alunos, pode ser insuficiente para que uma IES atenda aos padrões mínimos de qualidade exigidos nas avaliações e legislação do ensino superior ([6],[7],[10],[11]).

Uma vez com um conceito abaixo do máximo, uma IES, com o intuito de melhorar seus resultados, pode vir a atuar de forma ineficiente no problema. Acabam onerando seus

custos sem de fato atacar o problema a partir da confecção de um quadro de horários mais adequado.

A partir dessa situação, surge a necessidade da criação de quadros de horários mais eficientes em termos da Avaliação Institucional em paralelo com a gestão de custos [37]. Deste modo, além do trabalho para obter um quadro de horários viável segundo as restrições convencionais dos problemas de quadro de horários, deseja-se obter um quadro de horários que seja mais adequado diante do ponto de vista da instituição.

Essa dissertação está organizada da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta a contextualização do problema, o cenário da legislação e avaliação institucional, os aspectos de custos e o impacto no horário. No Capítulo 3 é apresentada uma revisão bibliográfica sobre o assunto. No Capítulo 4 são apresentados o processo de construção de quadros de horários bem como os modelos a serem utilizados. Por fim, no Capítulo 5 é feita uma conclusão sobre o trabalho.

Capítulo 2 - Contextualização

Esse trabalho tem como escopo o estudo da construção de quadros de horários nas Instituições de Ensino Superior Privadas Brasileiras. A limitação do escopo quanto ao contexto das instituições privadas se dá pelo fato de as mesmas seguirem uma linha de atuação calcada em princípios econômicos e financeiros que não estão presentes nas instituições públicas. As instituições privadas têm como característica fundamental a auto sustentabilidade, ou seja, elas se mantêm com recursos próprios. Já as instituições públicas são custeadas pelo Estado e a dinâmica utilizada para a captação dos recursos é feita de modo específico.

Apesar de praticamente todos os requisitos de qualidade exigidos legalmente aplicarem-se às instituições privadas e públicas, os aspectos econômicos a serem abordados estão presentes apenas nos contextos privados, que são maioria.

De acordo com dados divulgados pelo MEC referente ao Censo [36] da Educação Superior 2004, o Sistema de Ensino Superior Brasileiro conta mais de 2000 instituições. Desse total, 88%, aproximadamente, são particulares e essas são responsáveis por mais de 80% de todas as vagas disponibilizadas à população. A TAB. 1 apresenta a evolução do número de IES no Brasil.

TABELA 1
Evolução das IES no Brasil – 1998-2004

Ano	Públicas	%	Privadas	%	Total
1998	209	21,5	764	78,5	973
1999	192	17,5	905	82,5	1.097
2000	176	14,9	1.004	85,1	1.180
2001	183	13,2	1.208	86,8	1.391
2002	195	11,9	1.442	88,1	1.637
2003	207	11,1	1.652	88,9	1.859
2004	224	11,1	1.789	88,9	2.013

Fonte: MEC/INEP

Segundo dados divulgados pelo INEP¹, houve um aumento de 12,41% no número de cursos ofertados pelas IES Brasileiras comparando 2004 com 2003. Essa grande expansão do ensino superior privado trouxe conseqüências óbvias como, por exemplo, a grande concorrência institucional a partir da crescente oferta de vagas.

¹ Disponível em: http://www.inep.gov.br/imprensa/noticias/censo/superior/news06_01.htm Acesso em 12/01/2006

Diante desse cenário, surge a necessidade, cada vez mais presente, do aperfeiçoamento das estruturas administrativas e acadêmicas em prol da redução de custos e viabilidade orçamentária. Como consequência desse fenômeno, conhecido como mercantilização do ensino [35], a qualidade acadêmica vem sendo ameaçada. A fim de manter o padrão e garantir a qualidade de oferta de educação para a população, o Governo tem criado ações contínuas para o acompanhamento e fiscalização das IES.

Então, mecanismos foram criados para formatar as exigências dos níveis de qualidade. Esses níveis são avaliados em escalas que no final do processo resultam em conceitos. Esses conceitos motivam a corrida pela excelência e automaticamente o aumento da qualidade das instituições. No entanto, todo esse aumento implica diretamente em elevação de custos.

Nesse cenário competitivo, o aumento de custos pode implicar em perda de mercado, pois a fim de garantir a viabilidade orçamentária, uma instituição pode decidir não operar com excelência, tornando-se uma instituição de segundo nível, ou pode optar por aumentar preços. Seguindo as leis básicas da economia e a atual situação econômica do país, é sabido que os estudantes são sensíveis às variações de preços, pois o custo médio de uma mensalidade de um curso superior tem impacto significativo no orçamento familiar. Com preços elevados, uma instituição pode perder mercado e conseqüentemente reduzir seus recursos, tornando, em alguns casos, o seu orçamento inviável. Por outro lado, com um conceito ruim nas avaliações do MEC, a instituição poderá perder prestígio, reputação e conseqüentemente mercado.

A saída que resta está na busca da eficiência e eficácia das estruturas institucionais a fim de que a instituição tenha qualidade e excelência, e ao mesmo tempo, seja financeiramente viável.

Estendendo as abordagens propostas na literatura, o objetivo desse trabalho é propor uma metodologia para a construção do quadro de horários tendo como norteador os índices de avaliação institucional e buscando a minimização dos custos operacionais. Exigências legais, convenções ou acordos coletivos e restrições regimentais também deverão ser consideradas.

2.1 - A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB)

A Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. A LDB [6] abrange aspectos desde a educação básica até a educação superior e é considerada, portanto, o pilar central das políticas educacionais brasileiras.

A LDB estabelece em seu texto a organização da educação superior bem como a classificação das instituições quanto sua categoria administrativa. Com o intuito de regulamentar alguns artigos da LDB, o Decreto 5.773, de 9 de maio de 2006, dispõe sobre a organização do ensino superior, a avaliação de cursos e instituições.

Segundo a legislação supra citada, as instituições educacionais são classificadas quanto à organização administrativa e quanto à organização acadêmica. Quanto à organização administrativa, as instituições podem ser classificadas como públicas, administradas pelo poder público podendo ser federais, estaduais ou municipais, e as privadas. As instituições privadas são mantidas e administradas por pessoas físicas ou jurídicas de direito privado e dividem-se entre instituições com ou sem fins lucrativos.

Quanto à organização acadêmica, as instituições são subdivididas entre dois grupos: instituições universitárias e não universitárias. O grupo de instituições universitárias é formado pelas universidades, as universidades especializadas e os centros universitários.

As universidades são instituições pluridisciplinares, com formação de quadros profissionais de nível superior, que desenvolvem atividades regulares de ensino, pesquisa e extensão. As universidades especializadas são instituições de educação superior especializadas em um campo do saber, no qual são desenvolvidas atividades de ensino e pesquisa e extensão, em áreas básicas e/ou aplicadas. Já os centros universitários são instituições de educação superior pluricurriculares que devem oferecer ensino de excelência e oportunidades de qualificação ao corpo docente e condições de trabalho à comunidade escolar. De forma similar, os centros universitários especializados são instituições que atuam numa área de conhecimento específica ou de formação profissional.

Entre as instituições não universitárias, estão as faculdades, os institutos superiores ou escolas superiores, os centros de educação tecnológica. As faculdades são instituições de educação superior com propostas curriculares em uma ou mais áreas do conhecimento, organizadas sob o mesmo comando e regimento comum, com a finalidade de formar profissionais de nível superior, podendo ministrar cursos nos vários níveis e modalidades do ensino. Já os Institutos Superiores ou Escolas Superiores são instituições de educação superior com finalidade de ministrar cursos nos vários níveis. Por fim, os Centros de Educação

Tecnológica são instituições especializadas de educação profissional com a finalidade de qualificar profissionais em cursos superiores de educação tecnológica.

De acordo com o art. 12 e 13 do Decreto 5.773 [10], a criação de cursos superiores em instituições credenciadas como faculdades depende de prévia autorização do Poder Executivo. Já as universidades, centros universitários e centros de educação tecnológica, gozam de autonomia didático-pedagógica para a criação de cursos de acordo com seus respectivos regimentos.

A qualidade do ensino praticada nas instituições é supervisionada pelos processos avaliativos do poder público [10], sendo que, em caso de desempenho insuficiente nas avaliações, as IES poderão ter suas prerrogativas de autonomia cassadas nos termos da lei. Dessa forma, é exigido pela legislação, um bom desempenho nas avaliações.

O texto da LDB já trazia em seu art. 52 algumas metas de qualidade do corpo docente a serem aplicadas às universidades, exigindo das mesmas, pelo menos um terço do corpo docente com titulação acadêmica de mestrado ou doutorado e pelo menos um terço do corpo docente em regime de trabalho tempo integral. Em 24 de maio de 2006, foi editado o Decreto 5.786, que dispõe sobre as metas sobre regime de trabalho e titulação no âmbito dos centros universitários. A TAB. 2 sintetiza as metas para o corpo docente definidas na legislação.

No entanto, os conceitos sobre níveis de qualidade são definidos por meio dos processos avaliativos. A avaliação no ensino superior será explorada na próxima seção.

TABELA 2
Metas sobre titulação e regime de trabalho para o corpo docente

	% em Regime Integral	% com título de mestre ou doutor
Universidades	33%	33%
Centros Universitários	20%	33%

Fonte: LDB [6] e Decreto 5.786/2006 [11]

2.2 - Avaliação no Ensino Superior

2.2.1 - Evolução dos Processos Avaliativos

Os processos de avaliação e regulação da educação superior têm como motivação desde a necessidade da garantia de qualidade, a necessidade dos controles, a fundamentação de políticas, distribuição de recursos, até mesmo a necessidade de fornecer informações públicas sobre o quadro educacional. Como resultado desses esforços, podem ser citados o aumento do aparato normativo, a ênfase nos resultados ou produtos, e o uso de instrumentos que produzam informações objetivas e que permitam a comparação e a ampla divulgação para os públicos interessados.

A mais antiga e duradoura experiência brasileira em aspectos de avaliação da educação superior é a elaborada e desenvolvida pela Capes desde 1976 junto aos cursos de Pós-Graduação [35]. Desde lá, vários esforços têm sido empenhados na elaboração e implementação de diferentes propostas de avaliação da educação superior abrangendo os demais níveis de formação.

A primeira proposta de avaliação da educação superior no país foi o Programa de Avaliação da Reforma Universitária (Paru) de 1983. O Paru tratou basicamente de dois temas: gestão e produção/disseminação de conhecimento.

Em 1993 surgiu o Programa de Avaliação Institucional das Universidades Brasileiras (Paiub). O Paiub concebeu a auto-avaliação como etapa inicial de um processo que tinha como etapa final, a avaliação externa. Diante de mudanças políticas significativas no período, o Paiub perdeu sua força e acabou sendo incorporado apenas como um processo de avaliação interno das instituições.

A partir da LDB, foram criados novos mecanismos de avaliação:

- Exame Nacional de Cursos;
- Avaliação das Condições de Oferta;
- Avaliação das Condições de Ensino;
- Avaliação Institucional.

O Exame Nacional de Cursos (ENC), também chamado de Provão, foi concebido como um instrumento de avaliação necessário para subsidiar o MEC de informações para orientar suas ações. Sua primeira edição foi em 1996, avaliando 616 cursos em três áreas, e chegando em 2003 (última edição) avaliando 5.890 cursos em 24 áreas. O ENC basicamente

era composto por um teste de conhecimento aplicado aos concluintes dos cursos de graduação e por um conjunto de questionários submetidos aos estudantes.

O ENC tinha como filosofia básica o mapeamento do conceito dos cursos a partir da visão dos seus concluintes. A partir dos resultados obtidos e observando as médias nacionais, os cursos avaliados obtinham uma classificação de “A” até “E”. O ENC foi objeto de severas críticas da comunidade acadêmica, pois foi rotulado com um instrumento de avaliação desarticulado e com resultados não confiáveis sobre a real qualidade acadêmica.

Já a Avaliação das Condições de Oferta (ACO) visava avaliar *in loco* cada um dos cursos de graduação submetidos ao Exame Nacional de Cursos. A avaliação era organizada em três dimensões e abrangia aspectos quanto à qualificação do corpo docente, à organização didático-pedagógica e às instalações, tanto as físicas em geral, quanto as especiais, tais como laboratórios, equipamentos e bibliotecas. Cada uma das três dimensões era classificada com um dos conceitos obtidos a partir das ponderações das pontuações obtidas entre os vários aspectos avaliados e seus respectivos pesos:

- CMB: Condições Muito Boas;
- CB: Condições Boas;
- CR: Condições Regulares;
- CI: Condições Insuficientes.

A Avaliação das Condições de Ensino (ACE) introduziu modificações no sistema de avaliação com o objetivo de suprimir algumas das deficiências apontadas nos mecanismos da ACO. Os instrumentos de avaliação criados para compor a ACE foram balizados nas experiências anteriores com a ACO e o ENC. Foram criados o Manual Geral de Avaliação das Condições de Ensino e os Manuais Específicos por Curso. Esses instrumentos também estão organizados de acordo com as três dimensões, da mesma forma que na ACO, as quais recebem seus conceitos finais a partir da ponderação da pontuação obtida nos aspectos avaliados dentro de cada uma das dimensões. São elas:

- Dimensão 1: Organização Didático Pedagógica;
- Dimensão 2: Corpo Docente;
- Dimensão 3: Instalações.

Por fim, a Avaliação Institucional, é o processo que aborda o aspecto institucional, de modo generalista, sem o detalhamento ou captação de informações específicas de cursos. O Manual de Avaliação Institucional é organizado em três dimensões similarmente aos manuais ACE:

- Dimensão 1: Organização Institucional
- Dimensão 2: Corpo Docente
- Dimensão 3: Instalações

O cálculo dos conceitos das dimensões é feito de forma semelhante ao cálculo nos manuais ACE. Os resultados obtidos por um curso ou por uma instituição nas avaliações, subsidiam o MEC na homologação de reconhecimentos de cursos e recredenciamento de IES.

Outra característica importante do processo avaliativo implantado é a presença do Formulário Eletrônico. Esse sistema, acessível via internet, reúne as informações que subsidiam a avaliação sendo que a pontuação de diversos aspectos (principalmente os relativos ao corpo docente) era calculada automaticamente pelo programa a partir dos dados cadastrados. Os conceitos finais da avaliação também eram calculados pelo sistema a partir das notas atribuídas a cada um dos aspectos pelos avaliadores *in loco*. Além disso, o formulário eletrônico possibilitou a integração com outras informações captadas em outros sistemas do MEC como, por exemplo, o Censo da Educação Superior e o Cadastro de IES.

Os mecanismos então criados estavam voltados para o resultado quantitativo obtido a partir da avaliação dos aspectos de acordo com um manual. Esse modelo acaba tendo características apenas de supervisão ou averiguação, desconsiderando a diversidade de instituições e suas peculiaridades, visto que a definição dos parâmetros é feita de forma unilateral pelo MEC. A partir daí surgiu a necessidade da criação de um sistema nacional de avaliação da educação superior que articulasse regulação com avaliação educativa, aspectos qualitativos em paralelo com os quantitativos.

O Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (SINAES) foi instituído pela Lei Nº 10.861, de 14 de abril de 2004 e tem como propósito articular, de forma coerente, concepções, objetivos, metodologias, práticas, agentes da comunidade acadêmica e de instâncias do governo, resguardando as especificidades, as competências e as autoridades.

O SINAES reformula a estruturação dos instrumentos de avaliação segundo a nova filosofia proposta, aperfeiçoando os mecanismos existentes. Mais detalhes do SINAES são explorados a seguir.

2.2.2 - SINAES

O Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (SINAES) foi instituído pela Lei Nº 10.861, de 14 de abril de 2004, sendo o sistema de avaliação vigente, e sua sistemática de avaliação é construída com base em três processos:

- Avaliação Institucional;
- Avaliação do Desempenho dos Estudantes (por meio do Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes – ENADE);
- Avaliação dos Cursos de Graduação.

A Avaliação Institucional (AI) tem por objetivo verificar as condições gerais de funcionamento dos estabelecimentos de educação superior, subsidiando o MEC quanto a credenciamento de IES. A Avaliação Institucional é compreendida por dois processos: a Auto-Avaliação e Avaliação Externa.

A Auto-Avaliação é de responsabilidade de cada instituição e deverá ser feita de acordo com o documento Roteiro de Auto-Avaliação Institucional. As informações do Cadastro Institucional, do Censo da Educação Superior e do Paideia² também servirão de base para nortear a Auto-Avaliação. A periodicidade da auto-avaliação é no máximo de três em três anos. Uma vez concluído o Relatório de Auto-Avaliação, esse é submetido ao MEC e servirá de subsídio para o processo de Avaliação Externa.

O processo de Avaliação Externa é realizado por uma comissão externa indicada pelo MEC. Os documentos tomados como base são as Diretrizes e o Instrumento de Avaliação Externa das Instituições de Ensino Superior [7][8]. Enquanto a ACE conceituava separadamente cada uma das suas três dimensões, a Avaliação Externa do SINAES tem seu resultado como um único conceito que é calculado pela ponderação da pontuação de cada uma das dez dimensões e seus respectivos pesos.

Já a Avaliação do Desempenho dos Estudantes, feita por meio do ENADE, busca avaliar os alunos dos cursos de graduação, por meio de amostragem. Tem como objetivo geral avaliar o desempenho dos estudantes em relação aos conteúdos programáticos previstos nas diretrizes curriculares, às habilidades e competências para a atualização permanente e aos conhecimentos sobre a realidade brasileira, mundial e sobre outras áreas do conhecimento.

Por fim, a Avaliação dos Cursos de Graduação (ACG) [9] é um procedimento utilizado pelo MEC para o reconhecimento ou renovação de reconhecimento dos cursos de

² O Processo de Avaliação Integrada do Desenvolvimento Educacional e da Inovação da Área (Paideia) é um novo instrumento criado pelo SINAES com o objetivo de mapear o desenvolvimento dos processos formativos e as dinâmicas de cada área do conhecimento.

graduação representando uma medida necessária para a emissão de diplomas. O manual da ACG não foi estruturado nos mesmos moldes da Avaliação Externa de Instituições de Educação Superior, trazendo ainda características do modelo da ACE. Uma das diferenças principais são a ausência de parâmetros quantitativos e sua utilização genérica, aplicável a todos os cursos de graduação, diferentemente do modelo da ACE que trazia um manual específico por tipo de curso.

Os processos de avaliação acima descritos são realizados pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). No entanto, a avaliação dos cursos de pós-graduação permanece sendo feita pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes). Outros detalhes sobre o SINAES podem ser obtidos em www.inep.gov.br.

2.2.3 - Avaliação Externa

A Avaliação Externa é organizada de acordo com as dez dimensões definidas na Lei Nº 10.861, de 14 de abril de 2004, que instituiu o SINAES. Cada uma das dimensões é composta por indicadores, os quais são pontuados de 1 a 5, de acordo com os padrões e referências estabelecidos nas normas. Para se chegar no conceito da dimensão, é calculada a média aritmética das pontuações dos indicadores.

Com o intuito de minimizar erros no processo e possibilitando uma atribuição de conceitos de maior qualidade, quando a média aritmética dos indicadores (MAI) estiver entre dois valores inteiros (decimais de 0,4 a 0,7), cabe ao avaliador decidir, de acordo com as suas observações, a atribuição da nota da dimensão como sendo o primeiro número inteiro maior que a MAI ou o primeiro menor.

Com o conceito de cada uma das dimensões, é feita uma média ponderada por pesos para finalmente definir o conceito final da avaliação. O conceito final também é definido em uma escala de 1 a 5, sendo os critérios de arredondamento similares aos aplicados na conceituação das dimensões. A TAB. 3 discrimina as dimensões e seus respectivos pesos.

TABELA 3
Distribuição dos Pesos nas Dimensões do SINAES

Dimensão	Peso
Dimensão 1: Missão e Plano de Desenvolvimento Institucional	5
Dimensão 2: Perspectiva Científica e Pedagógica Formadora: políticas, normas e estímulos para o ensino, a pesquisa e a extensão	30
Dimensão 3: Responsabilidade Social da IES	10
Dimensão 4: Comunicação com a sociedade	5
Dimensão 5: Políticas de pessoal, de carreira, de aperfeiçoamento, de condições de trabalho	20
Dimensão 6: Organização e Gestão da Instituição	5
Dimensão 7: Infra-estrutura física e recursos de apoio	10
Dimensão 8: Planejamento e Avaliação	5
Dimensão 9: Políticas de Atendimento aos Estudantes	5
Dimensão 10: Sustentabilidade financeira	5
Total	100

Fonte: Manual de Avaliação Institucional Externa [7]

A pontuação dos indicadores forma a base da avaliação. A conceituação de cada um dos indicadores baseia-se nos critérios indicados pelo instrumento de avaliação. Além disso, alguns dos indicadores são classificados como imprescindíveis ou como não se aplica (NSA).

Os indicadores imprescindíveis representam condições obrigatórias para o acesso e a permanência no sistema de educação superior. Esses indicadores, definidos pela legislação em vigor [6][11], exigem no mínimo o conceito 3 para aprovação.

Os indicadores NSA são aqueles cujo atendimento é opcional ao Centro Universitário ou à Faculdade, como forma de assegurar o respeito às suas identidades e diversidades. Quando um indicador NSA for descartado na avaliação, ele não entrará no cálculo da média aritmética para a conceituação da dimensão.

A maioria dos critérios é de análise qualitativa, ou seja, a partir de uma descrição textual do critério para obtenção de um conceito, o avaliador deverá decidir em qual dos conceitos o aspecto avaliado melhor se enquadra. No entanto, alguns dos indicadores são conceituados de forma automática a partir das informações coletadas sobre o corpo docente. São eles: Titulação, Regime de Trabalho e Publicações/Produções. Todos eles pertencem à dimensão 5 e são calculados diretamente pelo sistema.

Uma característica importante no tratamento dos indicadores de cálculo automático é que os parâmetros das faixas de conceitos são diferenciados por tipo de instituição acadêmica (universidades, centros universitários e faculdades).

Na seção seguinte serão detalhados os indicadores de cálculo automático da Avaliação Externa que serão utilizados na formulação, bem como as suas fórmulas, parâmetros e faixas de conceitos.

2.2.4 - Cálculo de Indicadores

Um quadro de horários melhor ou pior em termos de avaliação se resume a um corpo docente mais adequado ao cumprimento das metas. A dimensão que trata assuntos de arranjo do corpo docente é a dimensão 5, a segunda mais significativa no escopo da avaliação.

Logo, os indicadores são os que interessam para subsidiar a formulação:

- Titulação
- Regime de Trabalho
- Publicações/Produções

Como esses indicadores possuem fórmulas de cálculo bem definidas, torna-se mais fácil representá-los na formulação do modelo matemático para definição dos quadros de horário. A seguir serão descritas as fórmulas de cálculo de cada um dos três indicadores.

Indicador Titulação

O cálculo do conceito do Indicador Titulação (MT) é dado pela seguinte fórmula:

$$MT = \frac{(P_E \times N_E + P_M \times N_M + P_D \times N_D)}{D}$$

em que:

- P_E = Peso da Especialização = 10
- N_E = Número de Docentes com Especialização
- P_M = Peso do Mestrado = 30
- N_M = Número de Docentes com Mestrado
- P_D = Peso do Doutorado = 60
- N_D = Número de Docentes com Doutorado
- D = Total de Docentes

De acordo com o tipo de instituição, as metas de qualidade para o conceito variam, de acordo com a TAB. 4.

TABELA 4
Conceitos do Indicador Titulação (*MT*)

Conceito	Universidades	Centros Universitários	Faculdades
1	$0 \leq MT < 13$	$0 \leq MT < 12$	$0 \leq MT < 11$
2	$13 \leq MT < 16,6$	$12 \leq MT < 14$	$11 \leq MT < 12$
3	$16,6 \leq MT < 20$	$14 \leq MT < 16,6$	$12 \leq MT < 14$
4	$20 \leq MT < 25$	$16,6 \leq MT < 20$	$14 \leq MT < 16$
5	$25 \leq MT$	$20 \leq MT$	$16 \leq MT$

Fonte: Manual de Avaliação Institucional Externa [7]

Indicador Regime de Trabalho

O cálculo do conceito do Indicador Regime de Trabalho (*RT*) é dado pela seguinte fórmula:

$$RT = \frac{(P_I \times N_I + P_P \times N_P + P_H \times N_H)}{D}$$

em que:

- P_I = Peso do Regime Integral = 60
- N_I = Número de Docentes em Regime Integral
- P_P = Peso do Regime Parcial = 30
- N_P = Número de Docentes em Regime Parcial
- P_H = Peso do Regime Horista = 10
- N_H = Número de Docentes em Regime Horista
- D = Total de Docentes

Para entendimento do Regime de Trabalho, é necessário definir o que consiste cada um dos tipos. A definição dos regimes de trabalho é apresentada no QUADRO 1.

De acordo com o tipo de instituição, as metas de qualidade para o conceito do indicador Regime de Trabalho variam de acordo com a TAB. 5.

QUADRO 1
Definição dos tipos de regime de trabalho

Tipo	Definição
Regime Integral	Regime cujos docentes são contratados com 40 horas semanais de trabalho na mesma instituição, nelas reservado o tempo de pelo menos 50% da carga horária destinada a atividades complementares ³ .
Regime Parcial	Regime cujos docentes são contratados com 12 ou mais horas semanais de trabalho na mesma instituição, nelas reservado pelo menos 25% da carga horária destinada a atividades complementares.
Regime Horista	Regime cujos docentes são contratados pela instituição exclusivamente para ministrar horas-aula, independentemente da carga horária contratada, ou que não se enquadrem nos outros regimes de trabalho acima definidos.

Fonte: Manual de Avaliação Institucional Externa [7]

TABELA 5
Conceitos do Indicador Regime de Trabalho (RT)

Conceito	Universidades	Centros Universitários	Faculdades
1	$0 \leq RT < 17,5$	$0 \leq RT < 15$	$0 \leq RT < 12,5$
2	$17,5 \leq RT < 26,5$	$15 \leq RT < 20$	$12,5 \leq RT < 15$
3	$26,5 \leq RT < 35$	$20 \leq RT < 25$	$15 \leq RT < 17,5$
4	$35 \leq RT < 40$	$25 \leq RT < 30$	$17,5 \leq RT < 22,5$
5	$40 \leq RT$	$30 \leq RT$	$22,5 \leq RT$

Fonte: Manual de Avaliação Institucional Externa [7]

Indicador Publicações/Produções

O cálculo do conceito do Indicador Publicações/Produções (N) é dado pela seguinte fórmula:

$$N = \frac{(P_A \times n_a + P_L \times n_l + P_T \times n_t + P_R \times n_r + P_{PI} \times n_{pi} + P_{PT} \times n_{pt} + P_{DP} \times n_{dp})}{(P_A + P_L + P_T + P_R + P_{PI} + P_{PT} + P_{DP}) \times D}$$

Onde,

- P_A = Peso atribuído aos artigos publicados em periódicos científicos indexados = 30
- n_a = Número de artigos publicados em periódicos científicos indexados, pelo corpo docente da instituição, nos últimos três anos
- P_L = Peso atribuído aos livros ou capítulos de livros publicados = 20

³ Definem-se como atividades complementares àquelas que compreendem atividades de pesquisa, extensão, gestão, planejamento, estudos, avaliação e orientação de alunos.

- n_l = Número de livros ou capítulos de livros publicados, pelo corpo docente da instituição, nos últimos três anos
 - P_T = Peso atribuído aos trabalhos publicados em anais = 10
 - n_t = Número de trabalhos completos publicados em anais, pelo corpo docente da instituição, nos últimos três anos
 - P_R = Peso atribuído aos resumos publicados em anais = 05
 - n_r = Número de resumos publicados em anais, pelo corpo docente da instituição, nos últimos três anos
 - P_{PI} = Peso atribuído às propriedades intelectuais depositadas ou registradas = 15
 - n_{pi} = Número de propriedades intelectuais depositadas ou registradas, do corpo docente da instituição, nos últimos três anos
 - P_{PT} = Peso atribuído aos projetos e/ou produções artísticas, técnicas, culturais e científicos = 10
 - n_{pt} = Número de projetos e/ou produções artísticas, técnicas, culturais e científicos, do corpo docente da instituição nos últimos três anos
 - P_{DP} = Peso atribuído às produções didático-pedagógicas relevantes = 10
 - n_{dp} = Número de produções didático-pedagógicas relevantes, do corpo docente da instituição, nos últimos três anos;
- D = Total de Docentes

De acordo com o tipo de instituição, as metas de qualidade para o conceito variam, de acordo com a TAB. 6.

TABELA 6
Conceitos do Indicador Publicações/Produções (N)

Conceito	Universidades	Centros Universitários	Faculdades
1	$0 \leq N < 0,007145$	$0 \leq N < 0,004287$	$0 \leq N < 0,0021435$
2	$0,007145 \leq N < 0,012861$	$0,004287 \leq N < 0,007145$	$0,0021435 \leq N < 0,004287$
3	$0,012861 \leq N < 0,1429$	$0,007145 \leq N < 0,07145$	$0,004287 \leq N < 0,04287$
4	$0,1429 \leq N < 0,2858$	$0,07145 \leq N < 0,1429$	$0,04287 \leq N < 0,08574$
5	$0,2858 \leq N$	$0,1429 \leq N$	$0,08574 \leq N$

Fonte: Manual de Avaliação Institucional Externa [7]

2.3 - Normas Regionais

Os sindicatos regionais de professores, periodicamente realizam o acordo, convenção ou dissídio coletivo que estabelecem várias cláusulas que regulamentam as relações trabalhistas do exercício profissional dos docentes.

Entre aspectos relevantes à formação de um quadro de horários, estão a determinação quanto à duração máxima de uma aula, como 50 (cinquenta) minutos no ensino superior⁴; a obrigatoriedade da concessão de descanso, mediante intervalo não remunerado, com duração mínima de 15 (quinze) minutos, após duas ou três aulas consecutivas; e a indenização das janelas entre aulas do mesmo turno quando resultante de alterações no horário de aulas após 30 (trinta) dias do início do período letivo.

Outra situação importante está na realocação de professores a disciplinas. Não pode o empregador transferir o docente de uma disciplina para outra sem consentimento expresso do mesmo. Além disso, caso uma disciplina seja removida do currículo, o docente já contratado tem prioridade para reaproveitamento em outra disciplina, observada sua habilitação, em que haja vaga.

Dependendo da unidade da Federação, podem ser definidos adicionais para atividades extra-classe, qualificação docente, entre outros. Esses adicionais podem implicar em custos para a instituição e que devem ser considerados ao dimensionar a distribuição de atividades aos professores. Os documentos relativos ao acordo, convenção ou dissídio são disponibilizados pelo sindicatos regionais dos professores.

⁴ Exemplos relativos ao contexto do Estado de Minas Gerais

2.4 - Organização e Normas Institucionais

As peculiaridades de cada instituição motivam a adequação de restrições específicas para a elaboração de um quadro de horários. A partir de diferentes visões, as instituições podem ser classificadas em grupos, de acordo com as suas características:

- **Tipo de Instituição:** as instituições podem ser classificadas como Universidades, Centros Universitários, Faculdades, etc. de acordo com a Legislação Brasileira em vigor;
- **Tipo de Currículo:** as instituições podem adotar estratégias de currículos fixos, flexíveis ou semi-flexíveis;
- **Organização Espacial:** geograficamente, as instituições podem estar organizadas em um único ou vários *campus*, que em muitos casos podem estar localizados até mesmo em outra cidade;
- **Disponibilidade de Recursos Específicos:** de acordo com a disponibilidade de recursos específicos, uma instituição pode demandar a elaboração de quadros de horários que racionalizem o uso de laboratórios, auditórios ou qualquer outro recurso específico;
- **Políticas Pedagógicas:** normas internas da instituição podem exigir diretrizes de alocação de disciplinas, diretrizes para alocação de professores e etc.;
- **Níveis de Formação:** uma instituição pode ofertar cursos nos diversos níveis de ensino de acordo com a organização da educação superior;
- **Áreas de Formação dos Cursos:** de acordo com a(s) área(s) de atuação de cada instituição, uma instituição poderá demandar características específicas para a criação de quadros de horários dos seus cursos.

Conforme citado na seção Avaliação Institucional Externa, dependendo do tipo de instituição, os parâmetros de qualidade do corpo docente são diferentes.

Quanto ao tipo de currículo, uma instituição poderá se organizar de forma diferente na estratégia de construção do quadro de horários. Em instituições que adotam currículo flexível, é mais comum a tentativa de se obter quadros de horários que maximizem o atendimento dos alunos nas escolhas pelas disciplinas ofertadas. Esse tipo de abordagem é conhecido na literatura como o problema de escalonamento de disciplinas (PED). Quando o currículo é fixo, ou seja, todos alunos de um determinado período deverão seguir o mesmo conjunto de

disciplinas ofertadas, a construção do quadro de horários se resume ao atendimento das ofertas de cada uma das turmas. Esse tipo de problema é conhecido na literatura como o problema de escalonamento turma-professor (PET). O currículo semi-flexível ocorre quando uma parte do curso, normalmente no final, pode ser selecionada pelo estudante a partir de um rol de opções. Essa situação é bem representada pelas disciplinas optativas e eletivas.

Quanto à organização espacial, uma instituição pode estar organizada em diversos *campi*. Logo, considerando que exista uma distância significativa entre esses locais, torna-se inviável alocar professores para aulas consecutivas em diferentes *campi*, afetando dessa forma o quadro de restrições para a alocação de professores.

Além disso, uma instituição necessita que seu quadro de horários racionalize a utilização de laboratórios, auditórios ou qualquer outro recurso específico, visto que sua disponibilidade normalmente é escassa.

Quanto às políticas pedagógicas, registradas por meio de regimentos, portarias ou outras normas internas, a instituição poderá definir uma série de restrições ao problema de construção de um quadro de horários. Podem ser definidas restrições quanto à alocação de disciplinas visando a qualidade didático-pedagógica como, por exemplo, a proibição que duas disciplinas de alto grau de complexidade sejam escalonadas sucessivamente no mesmo dia, a fim de melhorar o rendimento dos alunos, assim como restrições quanto a carga horária máxima para duração de aulas geminadas; ou por exemplo que disciplinas com alto nível de repetência sempre fiquem escalonadas no mesmo horário da sua antecessora em termos de pré-requisito, tal que um repetente tenha como cursar novamente a disciplina do semestre anterior sem ser prejudicado para fazer as demais disciplinas do período seguinte.

Quanto aos níveis de formação, de acordo com a legislação brasileira (FIG. 1), uma instituição poderá exigir a formação de quadros de horário que contemplem todas as situações específicas não gerando conflitos de escalonamento. Como por exemplo, se uma instituição possui cursos de graduação, pós-graduação *lato sensu* e de extensão, seu quadro de horários deverá contemplar que os cursos de graduação são em regime semestral, os de pós-graduação *lato sensu* em regime modular (cada disciplina corresponde um módulo cujo início e fim podem não coincidir com um semestre letivo) e os cursos de extensão podendo ter duração de semanas ou meses.



FIGURA 1- Níveis de Formação da Educação Superior Brasileira

Fonte: MEC

Quanto à área de formação dos cursos, muitas características específicas de uma determinada área podem levar a criação de outras restrições na elaboração de um quadro de horários. Por exemplo, um curso da área de saúde exige um número máximo de alunos em aulas práticas. Enquanto isso, um curso de licenciatura exige um cumprimento de atividades de estágio curricular que devem ser desenvolvidas ao longo do semestre, impedindo portanto, a alocação de aulas nos horários correspondentes. Muitas dessas normas são regulamentadas pelas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN), emitidas pelo Conselho Nacional de Educação (CNE), que dispõem sobre os currículos e atividades específicas dos cursos.

2.5 - Competitividade e Custos em IES Particulares

Com a atual competitividade de IES particulares, uma gestão de custos eficiente e eficaz, pode gerar vantagem perante a concorrência e principalmente subsidiar o investimento em outras atividades acadêmicas.

O grande crescimento das IES particulares no Brasil se deu a partir da nova LDB. A partir de lá, o número de instituições cresceu de forma acelerada e atualmente, alguns reflexos dessa expansão são observados:

- aumento no número de vagas ofertadas no ensino superior,
- aumento da concorrência,
- aumento da demanda por professores universitários especializados,
- aumento das metas de qualidade no ensino superior.

Com o aumento do número de vagas ofertadas e conseqüentemente a concorrência, as instituições de ensino superiores privadas tiveram que se deparar com a pressão pela redução dos preços dos cursos, o que implica diretamente em redução de receita. Além disso, outros problemas como inadimplência, evasão e vagas ociosas, tem assombrado o planejamento orçamentário das IES particulares.

Com uma receita reduzida, cada vez mais se faz necessário o estabelecimento de uma gestão de custos eficiente tal que a instituição seja viável financeiramente e dessa forma, garanta a continuidade do projeto educacional. No entanto, a questão elementar está em como cortar despesas.

Os custos de uma IES podem ser divididos em dois grandes grupos: diretos e indiretos. Os custos diretos estão vinculados a atividade de ensino, nos cursos ofertados, ou seja, na atividade fim. Já os custos indiretos são os custos da atividade meio, ou seja, responsáveis pelo funcionamento da estrutura de apoio à execução das atividades docentes.

A maior parte dos gastos de uma IES está em sua folha de pagamento que compromete grande parte de seus recursos (mais que 50%). Na folha de pagamento também existe a distinção de custos diretos e indiretos. Os custos diretos são as despesas com pessoal docente em “sala de aula” executando atividades de ensino. Atividades de extensão, pesquisa ou de gestão são consideradas como custos indiretos, pois são atividades meio e não geram resultados diretamente.

A redução de custos pode e deve se dar em todos os âmbitos institucionais a fim de garantir a viabilidade financeira desejada. No caso da redução de custos em folha de

pagamento, a possibilidade de remanejamento de gastos somente pode ser feita no âmbito dos custos indiretos, visto que os diretos estão associados à realização operacional dos cursos ofertados. Contrapondo aos esforços de contenção de gastos, estão as normas e exigências avaliativas que exigem patamares mínimos de qualidade, que por sua vez, possuem custos para implementação. Logo, deseja-se saber qual é o mínimo custo de operacionalização de todas as políticas institucionais, o atendimento a todas exigências de qualidade e o cumprimento de toda a oferta de cursos feita à sociedade.

Portanto, a elaboração de um quadro de horários que minimize os custos indiretos docentes de uma instituição é de grande valia. Visto que o quadro de horários aborda apenas os custos diretos docentes (docentes atendendo a demanda de disciplinas), a otimização dos custos indiretos se dá pela análise das metas de qualidade exigidas do corpo docente por meio dos instrumentos de avaliação e legislação específica, associados aos reflexos que o quadro de horários gera na distribuição final de carga horária ao corpo docente, a qual abrange além das atividades de ensino, todas as demais atividades docentes.

Na seção seguinte será descrito um cenário para exemplificar tal situação.

2.5.1 - Custos x Horário

Suponha uma instituição do tipo universidade composta por um curso em implantação que deverá apenas ofertar as disciplinas de um período em dois turnos (matutino e noturno). A TAB. 7 relaciona as disciplinas que deverão ser ofertadas.

TABELA 7
Carga horária por disciplina a ser ofertada

Disciplina	CH Semanal	Demanda Manhã	Demanda Noite	Total CH Semanal
Cálculo	4	4	4	8
Geometria Analítica	4	4	4	8
Algoritmos	4	4	4	8
Introdução	4	4	4	8
Metodologia	4	4	4	8
Total		20	20	40

Após analisar a habilitação dos docentes disponíveis, os docentes são atribuídos para executar a demanda de disciplinas previamente planejada. O QUADRO 2 exibe um quadro de horários que atende a demanda com 3 (três) professores.

QUADRO 2
Um quadro de horários solução

Turno	Horário	Segunda		Terça		Quarta		Quinta		Sexta	
		Disciplina	Prof.	Disciplina	Prof.	Disciplina	Prof.	Disciplina	Prof.	Disciplina	Prof.
Manhã	1º Horário (7h00 - 8h40)	Cálculo	Adão	Algoritmos	Beto	Cálculo	Adão	Algoritmos	Beto	Geometria	Adão
	2º Horário (9h00 - 10h40)	Introdução	Beto	Metodologia	Maria	Geometria	Adão	Metodologia	Maria	Introdução	Beto
Noite	1º Horário (19h00 - 20h40)	Cálculo	Adão	Algoritmos	Beto	Cálculo	Adão	Algoritmos	Beto	Geometria	Adão
	2º Horário (21h00 - 22h40)	Introdução	Beto	Metodologia	Maria	Geometria	Adão	Metodologia	Maria	Introdução	Beto

Considerando que exista também uma demanda por 8 horas semanais para uma atividade administrativa a ser cumprida pelo Prof. Adão, o quadro de distribuição de carga horária fica de acordo o QUADRO 3 e com um custo operacional 48 horas/semana⁵.

QUADRO 3
Distribuição de carga horária semanal dos professores (1)

Professor	Carga Horária Cálculo	Carga Horária Geometria	Carga Horária Algoritmos	Carga Horária Introdução	Carga Horária Metodologia	Total C.H. Ensino	Total Complementar	Carga Horária Total	Regime de Trabalho
Adão	8	8	-	-	-	16	8	24	Parcial
Beto	-	-	8	8	-	16	0	16	Horista
Maria	-	-	-	-	8	8	0	8	Horista
TOTAL	8	8	8	8	8	40	8	48	

Mesmo tendo atendido a demanda, a distribuição final dos professores não foi adequada, visto que o indicador Regime de Trabalho da Avaliação Institucional Externa [7] teria o valor 16,7. De acordo com as faixas de valor para definição do conceito para o indicador Regime de Trabalho em Universidades, o conceito final obtido seria 1, ou seja, muito fraco.

De acordo com o modelo de otimização de Aplicação de Recursos Acadêmicos (APRAC), descrito nas próximas seções, a melhor composição do corpo docente a fim de atender a demanda com o mínimo custo operacional, seria ter um professor em regime integral e dois em regime parcial tal que o conceito seria máximo e o custo mínimo. O QUADRO 4 mostra uma possibilidade para a distribuição de horas dos professores tal que o conceito seja máximo.

QUADRO 4
Distribuição de carga horária semanal dos professores (2)

Professor	Carga Horária Cálculo	Carga Horária Geometria	Carga Horária Algoritmos	Carga Horária Introdução	Carga Horária Metodologia	Total C.H. Ensino	Total Complementar	Carga Horária Total	Regime de Trabalho
Adão	8	8	-	-	-	16	24	40	Integral
Beto	-	-	8	4	-	12	4	16	Parcial
Maria	-	-	-	4	8	12	4	16	Parcial
TOTAL	8	8	8	8	8	40	32	72	

⁵ Para efeitos de simulação, considera-se que o custo de uma hora docente é o mesmo para qualquer situação, sendo que o custo monetário final é diretamente proporcional ao total de horas distribuídas.

Nessa nova proposta foi considerado que a Prof.^a Maria assumiu as aulas de Introdução no turno da manhã. Sendo assim, tanto a Prof.^a Maria quanto o Prof. Beto ficaram com 12 (doze) horas de ensino e 4 (quatro) horas complementares cada um no novo quadro de horários. O Prof. Adão foi enquadrado em regime integral.

Portanto, como o indicador Regime de Trabalho da Avaliação Institucional Externa [7] assumiu o valor de 40, a distribuição final dos professores foi adequada, visto que o conceito final obtido foi 5, ou seja, o máximo. O custo operacional da nova proposta foi de 72 horas/semana que é mínimo.

No entanto, supondo que existam restrições que impeçam que a Prof.^a Maria assuma as aulas de Introdução às segundas e sextas feiras no turno da manhã, sejam restrições de habilitação ou restrições de tempo, surge a necessidade da confecção de um novo quadro de horários.

Supondo que o Prof. Beto não pode reassumir as aulas de Introdução no turno da manhã, e que a Prof.^a Maria fique apenas com suas aulas de Metodologia, surgiria a necessidade da contratação de um novo professor. Esse novo professor, o Prof. Paulo, seria um professor horista, o que faria com que o indicador Regime de Trabalho da Avaliação Institucional tivesse o valor 32,5, o que implica em um conceito final igual a 3, ou seja, regular. O QUADRO 5 mostra a nova distribuição de aulas obtida.

QUADRO 5
Distribuição de carga horária semanal dos professores (3)

Professor	Carga Horária Cálculo	Carga Horária Geometria	Carga Horária Algoritmos	Carga Horária Introdução	Carga Horária Metodologia	Total C.H. Ensino	Total Complementar	Carga Horária Total	Regime de Trabalho
Adão	8	8	-	-	-	16	24	40	Integral
Beto	-	-	8	4	-	12	4	16	Parcial
Maria	-	-	-	-	8	8	4	12	Parcial
Paulo	-	-	-	4	-	4	0	4	Horista
TOTAL	8	8	8	8	8	40	32	72	

É importante observar que mesmo não tendo havido modificação no custo total do quadro distribuição, o conceito no indicador regime de trabalho decresceu. Observando, ainda, que cada professor possui uma titulação, a entrada do novo docente impacta também nos conceitos dos indicadores titulação e publicações/produções da avaliação.

Portanto, ao designar professores a cumprir a demanda do quadro de horários, deve-se levar em consideração o arranjo final da alocação tal que seja possível trabalhar com o menor custo operacional, mas ao mesmo tempo obtendo conceitos de qualidade máximos.

2.6 - Conclusão

A partir da definição do contexto, deve-se elaborar um modelo para a construção de um quadro de horários que seja capaz de trabalhar com um custo mínimo e indicadores de qualidade máximos.

Para isso, a percepção do quadro de horários deverá extrapolar a fronteira da alocação de disciplinas e atingir os níveis de averiguação de outras atividades docentes responsáveis pela composição do quadro final de distribuição de aulas. Apenas a partir do quadro final é possível o cálculo dos indicadores automáticos da avaliação institucional.

Apesar do problema de criação de quadros de horários ser um problema que pertence à classe NP [23][29], o modelo a ser trabalhado deverá contemplar os aspectos de custos e avaliação tal que uma vez obtida uma solução, por meio de um método exato, ela seja ótima, nos aspectos de custos e avaliação, e tenha como garantia o atendimento de toda a demanda sem conflitos na alocação dos recursos docentes.

Capítulo 3 - Revisão Bibliográfica

3.1 - O Problema

O problema de criação de quadro de horários, conhecido como *timetabling*, é um problema que consiste em escalonar uma seqüência de aulas entre professores e estudantes em um período de tempo pré-fixado (normalmente uma semana), atendendo a um conjunto de restrições de diversos tipos [50].

O problema de *timetabling* é um tipo especial de problemas do tipo *scheduling* [47], o qual vem sendo estudado há muitos anos. Existem muitas variações nas formulações dos problemas de quadros de horários devido às especificidades de cada Instituição e seu respectivo sistema educacional [15]. Da mesma forma, existem vários métodos utilizados para a resolução do problema.

Schaerf [50] categorizou os problemas de *timetabling* em três categorias:

- *School Timetabling*: conhecido também como Problema de Escalonamento Turma-Professor [58] (*Class-Teacher Problem*);
- *University Course Timetabling*, conhecido também como Problema de Escalonamento de Disciplinas [58] (*Course Scheduling Problem*);
- *Examination Timetabling*, conhecido também como Problema de Escalonamento de Exames (*Exam Scheduling Problem*).

A primeira categoria consiste no escalonamento semanal de todas as turmas evitando conflitos de horários de professores e de turmas. Conforme frisado por Souza [54], esse problema “diz respeito à alocação das aulas de uma instituição com as características de uma escola secundária típica”. Logo, existem conjuntos disjuntos de turmas, os quais seguem um mesmo currículo, e um conjunto de professores e horários disponíveis para a realização das aulas. Deseja-se obter um quadro de horários tal que todas as turmas tenham todas as aulas devidas com os respectivos professores dentro do tempo definido. No entanto, em faculdades que adotam a estratégia de currículos rígidos, esse tipo de problema também é aplicável.

Já a segunda categoria, refere-se aos problemas mais comumente encontrados nas universidades, as quais normalmente adotam sistemas de currículo flexível. Esse problema consiste no escalonamento de disciplinas no tempo tal que ocorram o mínimo de conflitos nas escolhas dos alunos. Para exemplificar a aplicação do problema, cada aluno pode se

matricular em disciplinas que compõem seu currículo. Essas disciplinas podem ser ofertadas em diversas turmas, em seus respectivos departamentos ou cursos, e cada uma delas pode estar sendo freqüentada por diversos alunos de currículos diferentes. Portanto, deseja-se criar um quadro de horários que atenda ao máximo a demanda dos alunos, respeitando as restrições de disponibilidade dos professores e salas.

Por fim, a terceira categoria, corresponde ao problema do escalonamento de exames. Segundo Souza [54], “o objetivo primário é alocar cada exame a um horário, de forma que nenhum estudante tenha que fazer dois ou mais exames simultaneamente”. É também desejável que os exames fiquem o máximo distribuídos ao longo do seu período de realização tal que os alunos não fiquem sobrecarregados.

Segundo Schaerf [50], alguns problemas podem ser classificados em dois grupos de acordo com suas características específicas. No mesmo período, Carter e Laporte [17] também propuseram categorias para os problemas de *timetabling*. No entanto, foram propostas cinco categorias. Três são equivalentes àquelas propostas Schaerf [50]. As outras duas categorias são:

- *Teacher Assignment*, conhecido também como Problema de Alocação de Professores;
- *Classroom Assignment*, conhecido também como Problema de Escalonamento de Salas;

Mais tarde, Reis e Oliveira [43] definiram oito categorias de sub-problemas inter-relacionados com *timetabling*:

- *CTT – Class-Teacher Timetabling*: corresponde à categoria *School Timetabling* definida por Schaerf [50]. Nesse tipo de problema, considera-se que a alocação dos professores e disciplinas às turmas já fora feita, restando portanto definir o local e horário de cada uma das aulas.
- *CT – Course Timetabling*: corresponde à categoria *University Course Timetabling* definida por Schaerf [50]. Nesse tipo de problema, considera-se que a alocação dos professores às disciplinas ocorre previamente (embora seja necessária alguma flexibilidade). Em alguns casos, os estudantes ainda não estão alocados antes da realização do escalonamento. Essa questão é importante, pois segundo Reis e Oliveira [43], embora normalmente os estudantes já estão associados às disciplinas, isso não se aplica a todas as universidades.

- *ET – Examination Timetabling*: corresponde à categoria *Examination Timetabling* definida por Schaerf [50]. A alocação de salas ou de fiscais podem ser feitas antes ou depois de concluído o escalonamento.
- *SD – Section Definition*: problema que ocorre em qualquer *timetabling*. Consiste em definir, para cada atividade, o número de seções ofertadas (como por exemplo, uma mesma disciplina dada a diferentes grupos de estudantes).
- *SS – Student Scheduling*: este problema ocorre quando módulos são dados em múltiplas partes. Uma vez que os estudantes selecionaram seus módulos, eles deverão ser escalonados, sem conflitos e com um certo balanceamento da carga.
- *SA – Staff Allocation (Teacher Assignment)*: alocação de professores aos diferentes módulos de acordo com suas preferências, distribuição da carga ao longo do tempo. Em alguns casos, o escalonamento de professores é finalizado após dois ou três passos consecutivos. O primeiro passo consiste em selecionar os professores que serão responsáveis para cada um dos módulos. No segundo passo, são selecionados os professores que irão lecionar cada um dos módulos (de acordo com suas cargas horárias). Por fim, o terceiro passo consiste em associar cada uma das seções individuais a cada um dos professores. Em alguns casos, isso pode ficar em aberto (de forma flexível) até o final da geração do quadro de horários.
- *IA – Invigilator Assignment*: esse problema é comum e está associado ao problema de escalonamento de exames. Consiste em alocar fiscais para a realização dos exames. Normalmente, o número de fiscais está relacionado ao número de estudantes e salas.
- *RA – Room Assignment*: normalmente, todo problema de *timetabling* possui, em alguma fase, o escalonamento de salas. Basicamente, deve-se satisfazer restrições sobre tamanho, recursos especiais (como por exemplo: laboratórios, auditórios) e em alguns casos a localização.

Segundo Reis e Oliveira [43], outras categorias de subproblemas podem ser definidas, no entanto, tratar-se-ia de problemas menos usuais ou importantes.

Os problemas de *timetabling* possuem uma estrutura básica de acordo com os tipos de restrição. Segundo Burke [15], essas restrições são divididas em dois conjuntos:

- Restrições rígidas (*Hard-constraints*): nunca podem ser violadas para garantir a integridade de um quadro de horários.
- Restrições flexíveis (*Soft-constraints*): são desejáveis, mas não absolutamente essenciais.

De acordo com Braz Júnior [12], restrições flexíveis “nem sempre são menos importantes que restrições rígidas”, mas dificilmente levariam um quadro de horários ser descartado caso alguma fosse violada. Elas devem ser atendidas sempre que possível e pode-se considerar que existam prioridades entre elas.

As restrições rígidas são aquelas que não permitem colisões, ou seja, um estudante não pode ser escalonado para duas ou mais disciplinas ao mesmo tempo, um professor não pode ser escalonado para duas ou mais atividades ao mesmo tempo, uma sala não pode ser ocupada simultaneamente para duas disciplinas, não se pode designar dois professores para mesma atividade na mesma turma e todos os envolvidos no quadro de horários devem estar adequadamente escalonados.

As restrições flexíveis são desejáveis e como exemplo podem ser citadas as preferências do corpo docente, a não ocorrência de janelas entre as aulas e a não necessidade de trocas de sala entre aulas.

3.2 - Viabilidade *versus* Otimalidade

Outra questão importante sobre o problema de *timetabling* é a abordagem dada para a obtenção da solução. Quando se deseja apenas obter uma solução viável a partir do conjunto de restrições que definem o problema, trata-se de um problema de busca ou de viabilidade, no qual o objetivo se limita a obter uma solução viável. Esse problema é demonstrado ser NP-Completo em [23], [26] e [59].

Algumas implementações trazem abordagens interativas, ou seja, permite a intervenção do usuário durante a construção do quadro de horários. Exemplos de implementações interativas podem ser encontradas em [60] e [19].

Quando o problema de *timetabling* é formulado como um problema de otimização, além de obter uma solução viável, deseja-se obter a solução ótima. Nesse caso, o problema é NP-Difícil [29] [25]. De acordo com Souza [54], nesses casos, algumas restrições flexíveis são incorporadas no objetivo a ser minimizado, tal que as restrições flexíveis sejam atendidas ao máximo, ou seja, minimizando a distância de viabilidade.

Existe uma grande dificuldade em se definir o objetivo a ser otimizado em problemas de *timetabling*. Uma vez definida a função objetivo, a definição dos coeficientes continua sendo um problema. Conforme colocado por Daskalaki *et al.* [24], se todos os coeficientes da função objetivo forem iguais, o problema fica degenerado e todas as soluções viáveis serão ótimas. Logo, devido à volatilidade da função, ou seja, muitas soluções têm o mesmo valor de objetivo, o uso de métodos exatos é dificultado. Com um objetivo pouco explícito, diversas soluções devem ser exploradas antes de concluir que um resultado é ótimo, dificultando a convergência para a solução ótima.

3.3 - Métodos de Resolução

Segundo Schaerf [50], as primeiras técnicas utilizadas para resolução dos problemas de *timetabling* foram heurísticas. Em seguida, começaram a ser trabalhadas outras técnicas baseadas em Programação Linear Inteira, Fluxos em Redes e Coloração de Grafos. Mais recentemente, abordagens baseadas em técnicas de busca, utilizadas na área de Inteligência Artificial, como por exemplo, *Simulated Annealing*, Busca Tabu, Algoritmos Genéticos, Programação Lógica Restrita.

Diversos trabalhos foram reportados na literatura. Na linha de coloração de grafos está o trabalho de Werra [58] entre outros ([13],[20],[41],[55]). Na linha da Programação Linear Inteira, vários autores resolveram o problema de *timetabling*. Entre eles, destaca-se o trabalho de Tripathy [57], o qual utilizou a técnica de relaxação lagrangeana na resolução do problema. Outros trabalhos são encontrados em [24] e [42]. Nas linhas de Busca Tabu e *Simulated Annealing*, temos [1], [48], [49] e [51]. Na linha da Programação Lógica Restrita, temos [30][32][39][46]. Na linha de algoritmos genéticos, temos [2], [21], [22], [44] e [45].

Outras abordagens podem ser vistas na literatura, como por exemplo a utilização de redes neurais [52] e outras técnicas de Inteligência Artificial [53]. Akkoyunlu [3] apresenta um modelo linear para o escalonamento de disciplinas.

Em seu *survey*, Schaerf [50] descreve algumas das técnicas acima citadas.

3.4 - Modelos Timetabling

Nesta seção são apresentadas as formulações que definem cada uma das cinco classes de problemas *timetabling* enumeradas nas seções anteriores

3.4.1 - Problema de Escalonamento Turma-Professor (PET)

A formulação abaixo é apresentada por Schaerf [50] e é baseada no trabalho de Werra [58]. O problema consiste em atribuir aulas aos períodos de modo que nenhum professor ou turma esteja envolvido em mais de uma aula ao mesmo tempo.

Então, considerando:

- C = conjunto de turmas, sendo $c_i \in C$ e $i = 1..m$;
- T = conjunto de professores, sendo $t_j \in T$ e $j = 1..n$;
- P = conjunto de períodos, sendo $p_k \in P$ e $k = 1..p$.

As seguintes informações devem ser consideradas no modelo:

- r_{ij} = número de aulas que o professor j deve dar à turma i .
- d_{ijk} = desejo do professor j para ser designado para a turma i no período k , sendo 0 quando desejar muito.

Seja a seguinte variável de decisão:

- $x_{ijk} = 1$ se o professor j foi designado para a turma i no período k , 0 caso contrário.

Então, o seguinte modelo de otimização é proposto:

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p d_{ijk} x_{ijk}$$

sujeito a:

$$\sum_{k=1}^p x_{ijk} = r_{ij} \quad \forall i=1..m, j=1..n \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq 1 \quad \forall i=1..m, k=1..p \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} \leq 1 \quad \forall j=1..n, k=1..p \quad (3)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i=1..m, j=1..n, k=1..p \quad (4)$$

As restrições (1) garantem que cada professor leciona o número correto de aulas para cada turma. As restrições (2) garantem que cada professor está envolvido em no máximo uma aula por período. As restrições (3) garantem que cada turma está envolvida em no máximo uma aula por período.

Esse é um modelo simplificado, que pode ser resolvido em tempo polinomial. Ele não contempla indisponibilidades de professores e nem pré-aloções. A seguir, apresenta-se um modelo PET com uma abordagem mais completa.

Então, deverão também ser consideradas as seguintes informações:

$c_{ik} = 1$ se a turma i estiver disponível no período k , 0 caso contrário.

$t_{jk} = 1$ se o professor j estiver disponível no período k , 0 caso contrário.

$p_{ijk} = 1$ se o professor j estiver pré-alocado para a turma i no período k , 0 caso contrário.

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p d_{ijk} x_{ijk}$$

sujeito a:

$$\sum_{k=1}^p x_{ijk} = r_{ij} \quad \forall i=1..m, j=1..n \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq c_{ik} \quad \forall i=1..m, k=1..p \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} \leq t_{jk} \quad \forall j=1..n, k=1..p \quad (7)$$

$$x_{ijk} \geq p_{ijk} \quad \forall i=1..m, j=1..n, k=1..p \quad (8)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i=1..m, j=1..n, k=1..p \quad (9)$$

As restrições (5) garantem que cada professor leciona o número correto de aulas para cada turma. As restrições (6) garantem que cada professor está envolvido em no máximo uma aula por período, mas condicionado a disponibilidade do professor naquele período. As restrições (7), de forma análoga, garantem que cada turma está envolvida em no máximo uma aula por período caso a mesma tenha disponibilidade. Por fim, as restrições (8) exigem que todas as pré-aloções sejam atendidas. A obtenção de um quadro de horários utilizando o modelo PET apresentado é geralmente um problema NP-Difícil [29].

3.4.2 - Problema de Escalonamento de Disciplinas (PED)

A formulação abaixo é apresentada por Schaerf [50] e é também baseada no trabalho de Werra [58]. O problema consiste em escalonar um conjunto de disciplinas para cada curso dado um número de salas e de períodos.

Então, considerando:

- $D =$ conjunto de disciplinas, sendo $K_i \in D$ e $i = 1..q$;
- $k_i =$ número de aulas da disciplina K_i ;
- $G =$ conjunto de currículos, sendo $S_l \in G$ e $l = 1..r$. Pode-se entender um currículo como sendo um conjunto de disciplinas que possuem estudantes comuns, implicando na impossibilidade de escalonar disciplinas de um mesmo currículo em um mesmo período;
- $p =$ número de períodos;

As seguintes informações devem ser consideradas no modelo:

- $l_k =$ número máximo de disciplinas que podem ser escalonadas no período k (pode estar relacionado ao número de salas disponíveis);
- $d_{ik} =$ desejo de que uma aula da disciplina K_i seja escalonada no período k .

Seja a seguinte variável de decisão:

- $y_{ik} = 1$ se uma aula da disciplina K_i for escalonada no período k , 0 caso contrário.

Então, o seguinte modelo de otimização é proposto:

$$\max \sum_{i=1}^q \sum_{k=1}^p d_{ik} y_{ik}$$

sujeito a:

$$\sum_{k=1}^p y_{ik} = k_i \quad \forall i=1..q \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^q y_{ik} \leq l_k \quad \forall k=1..p \quad (11)$$

$$\sum_{i \in S_l} y_{ik} \leq 1 \quad \forall l=1..r, k=1..p \quad (12)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i=1..q, k=1..p \quad (13)$$

As restrições (10) garantem que cada disciplina tem o número correto de aulas. As restrições (11) garantem que a cada período, o número de aulas não é maior que o número de

salas. As restrições (12) garantem não haver conflitos de disciplinas de um mesmo currículo, ou seja, que as mesmas não sejam escalonadas no mesmo período visto que possuem alunos em comum. A obtenção de um quadro de horários utilizando o modelo PED proposto é geralmente um problema NP-Difícil [29].

3.4.3 - Problema de Escalonamento de Exames (PEE)

A formulação abaixo é apresentada por Schaerf [50]. O problema consiste em escalonar um conjunto de exames, correspondentes às disciplinas ofertadas em um determinado tempo. Nesse problema, a função objetivo tenta evitar que um estudante faça dois exames em períodos consecutivos.

Então, considerando:

- $D =$ conjunto de disciplinas, com $K_i \in D$ e $i = 1..q$, sendo que a cada disciplina está associado um exame;
- $E =$ conjunto de grupos de exames, sendo $S_l \in E$ e $l = 1..r$. Para cada S_l , existem estudantes que devem fazer todos os exames de S_l ;
- $p =$ número de períodos;

As seguintes informações devem ser consideradas no modelo:

- $l_k =$ número máximo de exames que podem ser escalonados no período k .

Seja a seguinte variável de decisão:

- $y_{ik} = 1$ se o exame da disciplina K_i for escalonado no período k , 0 caso contrário.

Então, o seguinte modelo de otimização é proposto:

$$\min \sum_{k=1}^{p-1} \sum_{l=1}^r \sum_{j \in S_l} y_{ik} y_{j(k+1)}$$

sujeito a:

$$\sum_{k=1}^p y_{ik} = 1 \quad \forall i=1..q \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^q y_{ik} \leq l_k \quad \forall k=1..p \quad (15)$$

$$\sum_{i \in S_l} y_{ik} \leq 1 \quad \forall l=1..r, k=1..p \quad (16)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i=1..q, k=1..p \quad (17)$$

As restrições do PEE desempenham as mesmas condições no PED. A obtenção de um escalonamento de exames utilizando o modelo PEE é geralmente um problema NP-Difícil [29].

3.4.4 - Problema de Alocação de Professores (PAP)

A formulação abaixo é adaptada a partir da apresentada por McClure e Wells [38]. O problema consiste em escalonar professores a fim de atender a todas as disciplinas, maximizando a preferência docente.

Seja:

- T = conjunto de professores, sendo $t_j \in T$ e $j = 1..n$;
- D = conjunto de disciplinas, sendo $K_i \in D$ e $i = 1..q$;
- k_i = número de aulas da disciplina K_i ;
- E = conjunto de escalonamentos, sendo $m \in E$;
- E_j = conjunto de escalonamentos viáveis para o professor j , sendo $E_j \subseteq E$, obtido a partir do conjunto de todas as combinações possíveis para as disciplinas que o professor pode lecionar, observando a carga docente e tempos para preparação de aulas.

Seja a seguinte variável de decisão:

- $x_{jm} = 1$ se o professor j for alocado no escalonamento m , 0 caso contrário.

Devem ser consideradas ainda, as seguintes informações:

- u_{jm} = medida de utilidade relativa ao professor j ser alocado no escalonamento m ;
- c_{jmi} = número de vezes que a disciplina i aparece no escalonamento m para o professor j .

Logo, tem-se o seguinte modelo matemático:

$$\max \sum_{j=1}^n \sum_{m \in E_j} u_{jm} x_{jm}$$

sujeito a:

$$\sum_{m \in E_j} x_{jm} = 1 \quad \forall j=1..n \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{m \in E_j} c_{jmi} x_{jm} = k_i \quad \forall i=1..q \quad (19)$$

$$x_{jm} \in \{0,1\} \quad \forall j=1..n, m \in E_j \quad (20)$$

As restrições (18) exigem que cada professor esteja associado a apenas um escalonamento. As restrições (19) exigem que os escalonamentos associados aos professores atendam ao número correto de aulas para cada disciplina. Afim de reduzir o número de

variáveis, o número total de escalonamentos possíveis para cada professor é reduzido. Segundo McClure e Wells [38], apenas os escalonamentos com maior valor de utilidade são considerados.

3.4.5 - Problema de Alocação de Salas de Aula (PASA)

A formulação abaixo é adaptada a partir da apresentada por Gosselin e Truchon [31]. O problema consiste em alocar salas de aula de acordo com uma determinada demanda. Nesse problema, deseja-se minimizar uma função de penalidades.

Então, considerando:

- H = conjunto de horários considerados em um dia, sendo $H_h \in H$ e $h = 1..NH$;
- R = conjunto de tipos de requisições, sendo $R_d \in R$ e $d = 1..ND$;
- E_d = conjunto de requisições do tipo R_d ;
- S = conjunto de categorias de salas, sendo $S_s \in S$ e $s = 1..NS$;
- F_s = conjunto de salas da categoria S_s ;
- P_d = conjunto de categorias de salas que podem atender requisições do tipo R_d .

Para qualquer conjunto finito E , define-se $n(E)$ como sendo a cardinalidade do conjunto. A fim de nunca se obter inviabilidade na solução, define-se que a categoria de sala S_{NS} é composta por salas fictícias, as quais podem atender qualquer requisição, e que $n(F_{S_{NS}}) \geq \sum_d n(E_d)$. O uso de salas fictícias tem uma elevada penalidade associada à função objetivo.

Seja então a seguinte variável de decisão:

- x_{sd} denota o número de requisições do tipo R_d que serão atendidas com salas do tipo S_s , sendo $S_s \in P_d$.

As seguintes informações devem ser consideradas no modelo:

- c_{sd} = penalidade associada a cada x_{sd} .
- a_{dh} = igual a 1 se o horário H_h está envolvido em requisições do tipo R_d , sendo 0 caso contrário.

Então, o seguinte modelo de otimização é proposto:

$$\min \sum_{d=1}^{ND} \sum_{S_s \in P_d} c_{sd} x_{sd}$$

sujeito a:

$$\sum_{d=1}^{ND} a_{dh} x_{sd} \leq n(F_{S_s}) \quad \forall h=1..NH, s = 1..NS \quad (21)$$

$$\sum_{S_s \in P_d} x_{sd} = n(E_d) \quad \forall d=1..ND \quad (22)$$

$$x_{sd} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall d=1..ND, S_s \in P_D \quad (23)$$

As restrições (21) garantem que em um dado horário, não são alocadas mais salas do que a disponibilidade correspondente de acordo com as categorias. As restrições (22) garantem que todas as solicitações são atendidas. Em uma segunda fase, as salas específicas são alocadas a cada uma das solicitações, de acordo com suas categorias. Segundo Gosselin e Truchon [31], esta formulação pode ser resolvida em tempo polinomial, mas, no entanto, em geral, conforme colocado por Carter e Tovey [16], o problema é NP-Difícil.

3.5 - O modelo APRAC

O modelo de Aplicação de Recursos Acadêmicos (APRAC), é um modelo de programação linear destinado a computar o mínimo de carga horária necessária para atender uma demanda de ensino de acordo com as exigências dos indicadores de regime de trabalho definidos no processo de avaliação institucional [7].

O modelo foi proposto primeiramente em [37] e seu propósito era municiar de informações gerenciais os gestores de IES para estimar a quantidade mínima de carga horária complementar que deveria ser alocada ao corpo docente. Logo, o modelo é capaz de informar o limite inferior para os custos de alocação docente a partir de dada demanda, visto que ele trabalha informações sobre carga horária de ensino e carga horária complementar. A carga horária de ensino deve atender a demanda planejada e a carga horária complementar é indiretamente minimizada atendendo as restrições de qualidade definidas.

O modelo pode ser aplicado com ou sem as restrições de integralidade às variáveis de decisão. Quando o modelo é tratado como um problema de programação linear puro, é possível identificar os custos marginais associados a cada uma das variáveis. No entanto, no mundo real, as variáveis somente podem assumir valores inteiros. Logo, o modelo deve ser descrito como um problema de programação linear inteira.

Segue abaixo a formulação matemática do modelo APRAC. Seja:

- J = conjunto de regimes de trabalho nos quais um docente pode estar enquadrado.
- I = subconjunto de regimes de trabalho do tipo tempo integral $\Rightarrow I \subset J$.
- p_j = variável de decisão, indicando quantos professores serão alocados no regime de trabalho j .
- e_j = total de horas destinadas a atividades de ensino de cada regime de trabalho j .
- ch = carga horária semanal total de ensino demandada.
- $peso_j$ = peso que o regime de trabalho j possui na avaliação institucional.
- MRT = meta de qualidade do indicador regime de trabalho para atingir o conceito máximo na avaliação institucional.
- MTI = meta de docentes em regime de trabalho tempo integral com vistas ao atendimento da LDB e do Decreto nº 5.786, dependendo do tipo de organização acadêmica.

- c_j = custo mensal de um docente alocado no regime de trabalho j . O custo é proporcional à quantidade de carga horária alocada ao docente.

Logo, tem-se a seguinte formulação para o APRAC:

$$\min \sum_{j \in J} p_j c_j$$

sujeito a:

$$\sum_{j \in J} p_j e_j \geq ch \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} p_j peso_j \geq MRT \sum_{j \in J} p_j \quad (2)$$

$$\sum_{j \in I} p_j \geq MTI \sum_{j \in J} p_j \quad (3)$$

$$p_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$p_j \in Z \quad \forall j \in J \quad (5)$$

A restrição (1) garante o atendimento da demanda de carga horária. A restrição (2) garante o conceito máximo na avaliação do indicador Regime de Trabalho. Já a restrição (3) garante os percentuais de docentes em tempo integral estabelecidos na legislação de acordo com o tipo de instituição. As restrições (4) garantem a não negatividade das variáveis de decisão e quando o modelo é resolvido com as restrições de integralidade, as restrições (5) são consideradas.

A partir dos resultados obtidos no processo de otimização do modelo APRAC, ou seja, os custos marginais associados a cada p_j e a combinação ótima do número de professores em cada regime de trabalho a fim de atender toda a demanda de carga horária de atividades de ensino, é possível saber os limites inferiores para a alocação de recursos acadêmicos para uma instância, assim como também, compreender em nível macro quais são as direções que devem ser tomadas para a redução de custos operacionais.

3.5.1 - Indicadores Referenciais do APRAC

O modelo APRAC define limites inferiores referenciais para a alocação de recursos acadêmicos. Esses limites são expressos por meio de alguns indicadores referenciais definidos a seguir:

1. CHTM – Carga Horária Total Mínima: é a carga horária total alocada aos professores na solução ótima do APRAC para uma determinada instância;
2. CPLM – Carga Horária Complementar Mínima: é a carga horária complementar total alocada aos professores na solução ótima do APRAC para uma determinada instância;
3. NPM – Número Total Mínimo de Professores: é o número de professores alocados na solução ótima do APRAC para uma determinada instância;
4. NTIM – Número Total Mínimo de Professores em Regime Integral: é o número de professores alocados em regime de trabalho integral na solução ótima do APRAC para uma determinada instância;

Os indicadores referenciais deverão ser utilizados para a definição de índices de avaliação do grau de eficiência de uma alocação de professores.

3.5.2 - Análises sobre os Indicadores Referenciais

A partir da análise de sucessivas execuções do modelo APRAC, pode-se observar o comportamento dos indicadores referenciais à medida que a carga horária a ser atendida cresce. O GRAF. 1 demonstra que o crescimento da carga horária total mínima (CHTM) é linear em relação à carga horária de ensino (CHE) demandada. Como era de se esperar, a CHTM para as universidades é maior que para os centros universitários, que por sua vez é maior que para as faculdades, visto que a comparação foi realizada utilizando um mesmo conceito no indicador Regime de Trabalho da Avaliação Institucional.

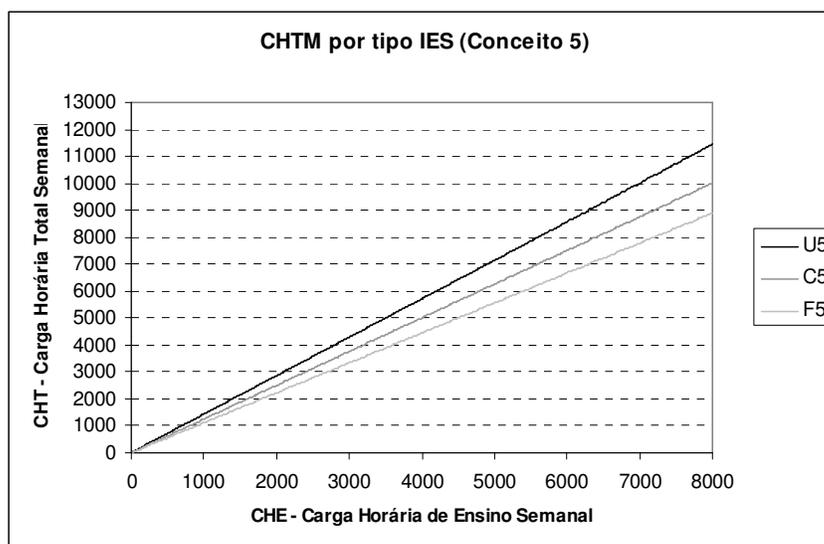


GRÁFICO 1 - Carga Horária Total Mínima por tipo de IES

Legenda: U5 – Universidade (Conceito 5)
C5 – Centro Universitário (Conceito 5)
F5 – Faculdade (Conceito 5)

Essa linearidade do GRAF. 1 pode ser comprovada analisando a proporção entre a CHTM e a CHE (GRAF. 2), ou seja, quão maior a CHTM é em relação a CHE percentualmente. Esse valor tende a ser constante à medida que a CHE cresce, demonstrando que a carga horária total fica diretamente proporcional a demanda de carga horária de ensino. Logo, é possível estimar a CHTM a partir da CHE sem mesmo instanciar o modelo APRAC.

Por meio dos gráficos que demonstram a proporção entre CHTM e CHE (GRAF. 2, 3, 4 e 5), pode-se perceber também a variação da quantidade de recursos hora percentuais são necessários para mudar de um conceito para outro ou de uma modalidade de Instituição para outra.

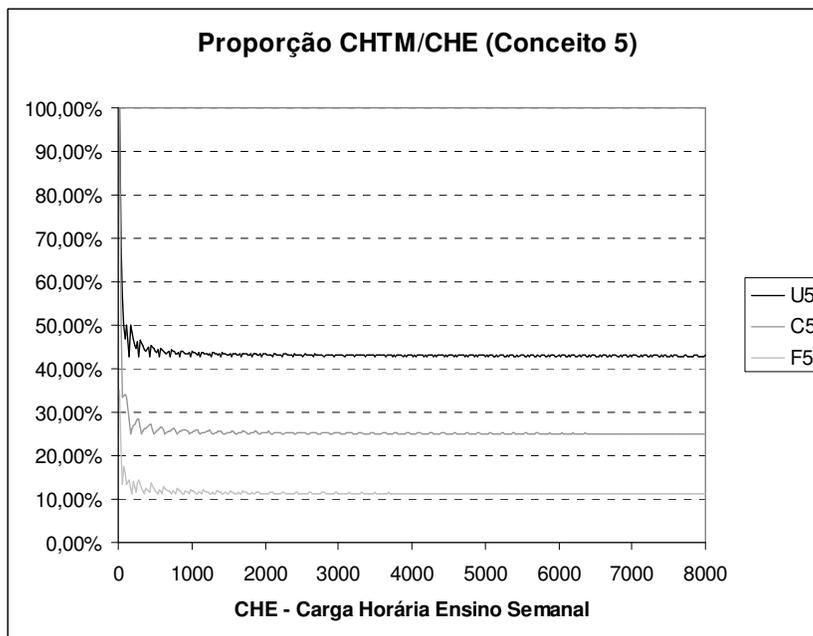


GRÁFICO 2 – Proporção CHTM/CHE por tipo de IES

Legenda: U5 – Universidade (Conceito 5)
 C5 – Centro Universitário (Conceito 5)
 F5 – Faculdade (Conceito 5)

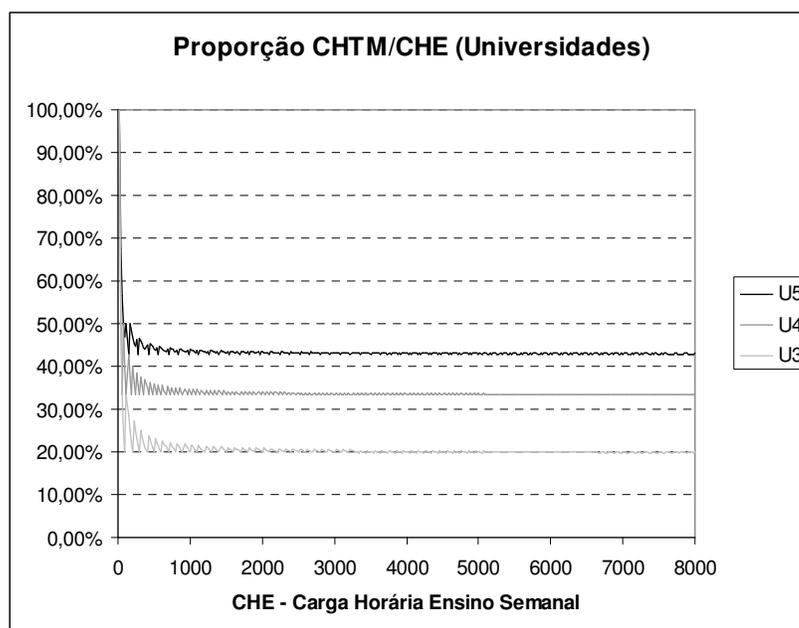


GRÁFICO 3 – Proporção CHTM/CHE nas Universidades

Legenda: U5 – Universidade (Conceito 5)
 U4 – Universidade (Conceito 4)
 U3 – Universidade (Conceito 3)

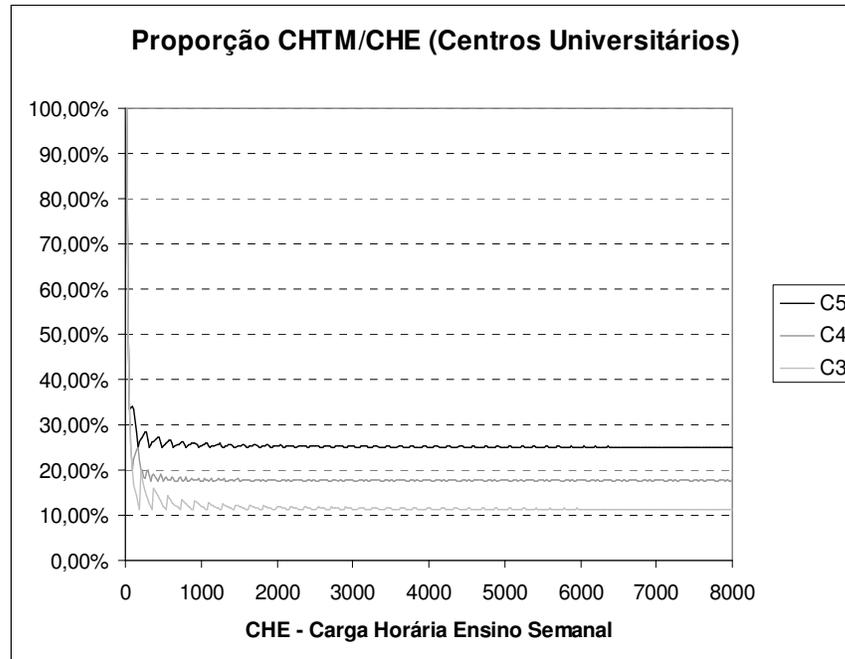


GRÁFICO 4 – Proporção CHTM/CHE nos Centros Universitários

Legenda: C5 – Centros Universitários (Conceito 5)
 C4 – Centros Universitários (Conceito 4)
 C3 – Centros Universitários (Conceito 3)

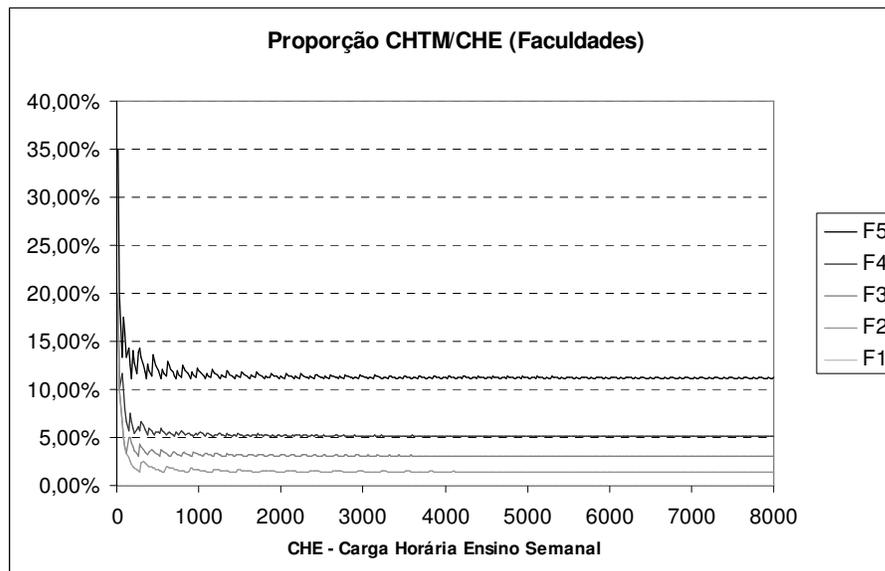


GRÁFICO 5 – Proporção CHTM/CHE nas Faculdades

Legenda: F5 – Faculdade (Conceito 5)
 F4 – Faculdade (Conceito 4)
 F3 – Faculdade (Conceito 3)
 F2 – Faculdade (Conceito 2)
 F1 – Faculdade (Conceito 1)

Uma observação interessante sobre os gráficos anteriormente apresentados é que como as universidades devem cumprir um mínimo de 33% do corpo docente em tempo integral e os centros universitários 20% (TAB. 2), os conceitos 4 e 5 são coincidentes aos valores do conceito 3. Isso não acontece para as faculdades, que no caso de trabalharem com o conceito 1, a CHTM é igual a CHE, ou seja, não existe a necessidade de carga horária complementar (a curva F1 toca o eixo no GRAF. 5).

Quanto ao número de professores mínimo (NPM) pode-se observar que o número mínimo de professores em um centro universitário é menor que em uma universidade. No entanto, para as faculdades, o número mínimo se apresentou maior que para os demais tipos de IES, como pode ser observado no GRAF. 6. Isso ocorre devido ao fato de que para as faculdades não existe exigência quanto o número de professores em tempo integral e as metas para o indicador regime de trabalho são baixas. Visto isso, o número de professores pouco interfere na alocação de recursos complementares, exigidos por meio dos regimes de trabalho tempo integral, permitindo, portanto, se trabalhar com um número maior de docentes. Essa característica pode inclusive facilitar a montagem de quadros de horários nas faculdades pois pode-se ter mais professores disponíveis para a alocação.

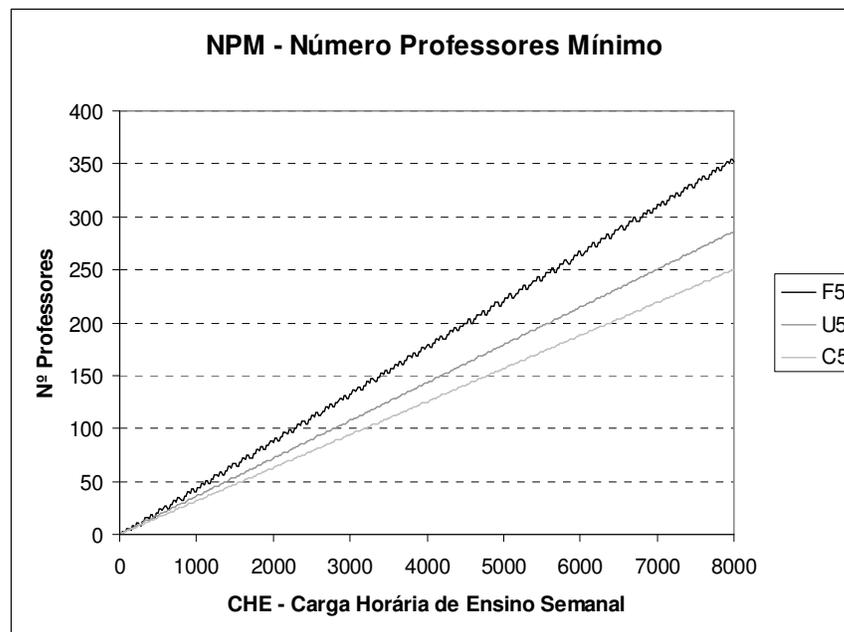


GRÁFICO 6 - Número de Professores Mínimo por tipo de IES
 Legenda: U5 – Universidade (Conceito 5)
 C5 – Centro Universitário (Conceito 5)
 F5 – Faculdade (Conceito 5)

Quanto ao número de professores em tempo integral, pode-se observar que o percentual se estabiliza a partir de uma determinada quantidade de CHE a ser atendida. O percentual para as universidades é maior que o percentual dos centros universitários, que por sua vez é maior que o percentual para as faculdades, o qual é praticamente zero (GRAF. 7, 8 e 9).

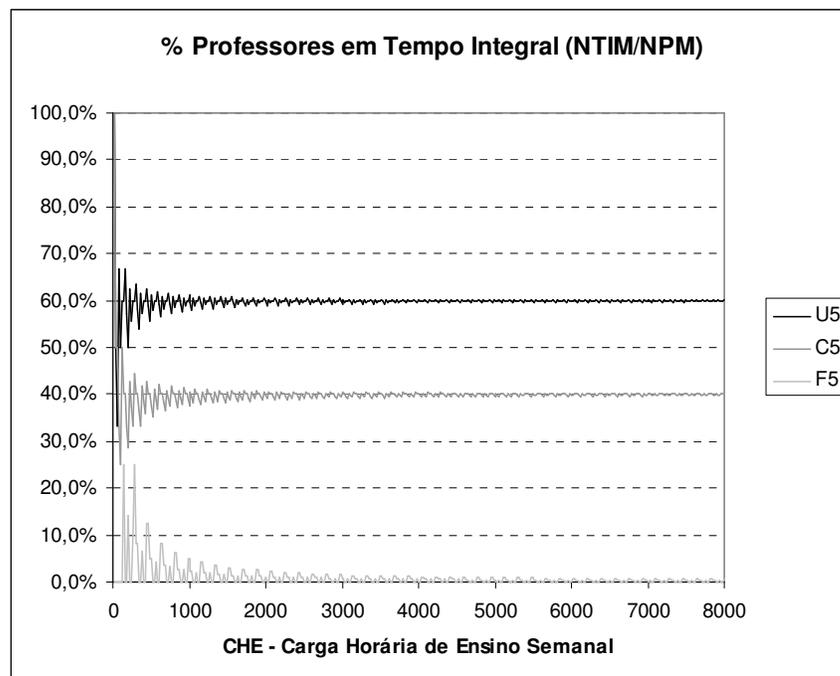


GRÁFICO 7- Percentual de Professores em Tempo Integral por tipo de IES
Legenda: U5 – Universidade (Conceito 5)
C5 – Centro Universitário (Conceito 5)
F5 – Faculdade (Conceito 5)

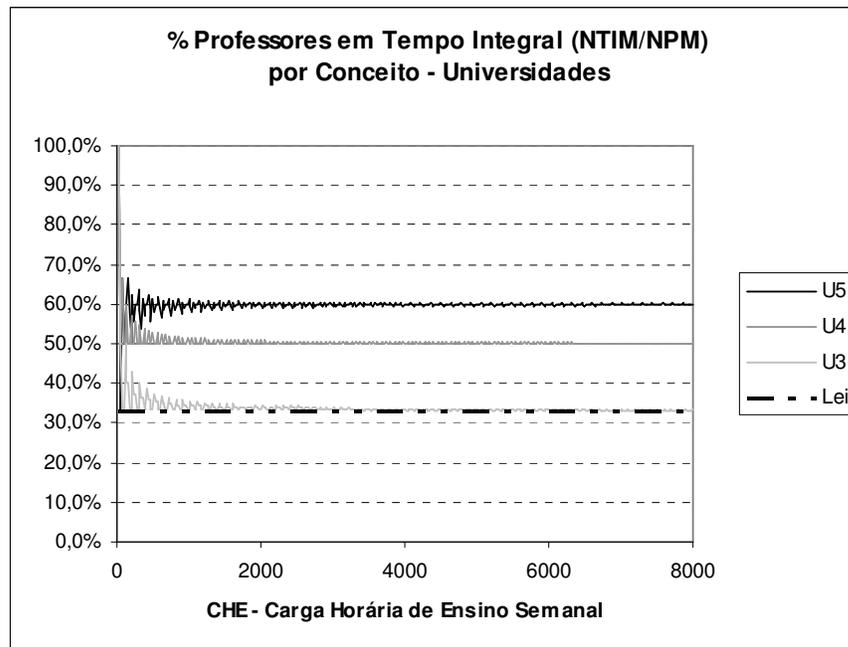


GRÁFICO 8- Percentual de Professores em Tempo Integral nas Universidades

Legenda: U5 – Universidade (Conceito 5)

U4 – Universidade (Conceito 4)

U3 – Universidade (Conceito 3)

Lei – Limite definido na legislação (Vide TAB. 2)

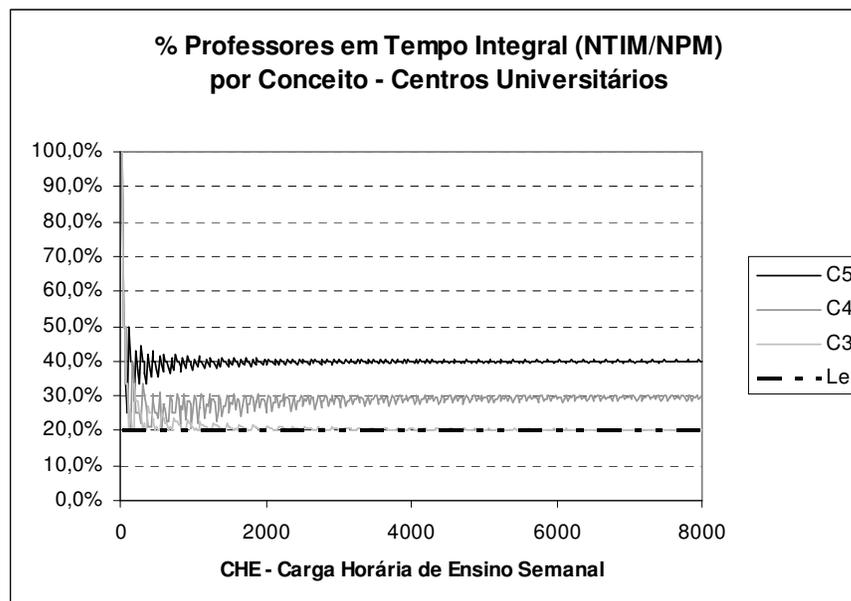


GRÁFICO 9- Percentual de Professores em Tempo Integral nos Centros Universitários

Legenda: C5 – Centro Universitário (Conceito 5)

C4 – Centro Universitário (Conceito 4)

C3 – Centro Universitário (Conceito 3)

Lei – Limite definido na legislação (Vide TAB. 2)

Capítulo 4 - Modelagem do Problema

Com base no cenário do Sistema de Ensino Superior Brasileiro, busca-se a definição de um modelo, associado a um processo, para definir um quadro de horários eficiente. O escopo é limitado, ou melhor, focado, para as IES particulares, visto que essas instituições devem se manter com recursos próprios e por isso, a gestão de custos eficiente é um requisito primordial. Quanto à legislação a ser atendida, são abordados requisitos apontados no SINAES, aplicáveis às IES brasileiras de modo geral, tanto públicas quanto privadas.

4.1 - Processo de Elaboração de um Quadro de Horários

Toda a estrutura de uma instituição se organiza em prol da realização de um conjunto de atividades, as quais são escalonadas em um quadro de horários. Por isso, o processo de elaboração de um quadro de horários pode ser dito como estrutural em uma IES. Esse processo é realizado em fases compreendidas em um período de tempo. Para o caso das IES particulares, que na maioria dos casos adotam a estratégia de currículos rígidos, ou seja, o aluno é obrigado a seguir uma seqüência de disciplinas obrigatórias, com pré-requisitos, até sua formação, toda a modelagem do processo assume que existem currículos a serem cumpridos pelos alunos ingressantes nas instituições, com pouca flexibilidade para disciplinas do tipo optativas ou eletivas.

Na primeira fase do processo, denominada elaboração do plano de oferta, está o gerenciamento das grades curriculares dos cursos a serem ofertadas. Não é viável pensar que os cursos possuem grades imutáveis ao longo do tempo. Dessa forma, o dinamismo da evolução das grades curriculares dos cursos é um fator que impacta diretamente no processo da construção do quadro de horários, tal que o processo seja aplicável ao dia a dia das IES. As grades curriculares definem temporalmente, o conjunto de disciplinas que deverão ser ofertadas no período letivo seguinte, de acordo com as turmas de alunos ingressantes em cada processo seletivo realizado e seu respectivo currículo. Nessa fase, devem ser abordadas também situações específicas como, por exemplo, o de oferta de turmas especiais e de disciplinas optativas. Como resultado da primeira fase, define-se o plano de ofertas de disciplinas. Pode-se observar que o plano de ofertas já pode delinear programações de custos

visto que independente de quando e onde elas ocorrerão, o custo hora para a realização das atividades já está definido.

Na segunda fase, a partir do plano de ofertas, começa uma nova etapa que se resume a definir o quadro de ofertas, ou seja, definir o posicionamento de cada uma das disciplinas na grade de horários semanal. A definição do quadro de ofertas subsidia o planejamento institucional, não somente o do aluno, mas como também dos setores administrativos e do corpo docente. A FIG 2 mostra a seqüência das fases.

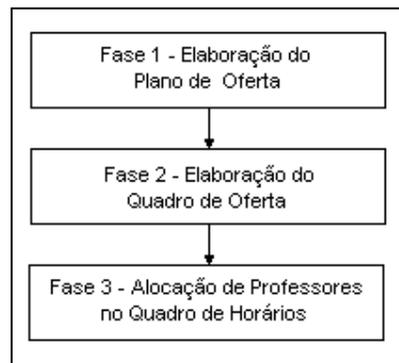


FIGURA 2 - Fases do Processo

Essa abordagem permite que as informações sobre a oferta já sejam divulgadas sem mesmo haver a designação dos professores às disciplinas. Na prática é o que ocorre visto que um docente pode ser contratado até poucos dias antes do início de um período letivo enquanto a matrícula dos alunos ocorre com uma certa antecedência. Além disso, entre o período de divulgação das disciplinas ofertadas e a matrícula dos alunos até o início das aulas, podem ocorrer mudanças nas disponibilidades dos professores, o que faria com que a alocação tivesse que ser alterada.

Uma vez que o quadro de ofertas está disponível com antecedência, é possível que o aluno programe suas disciplinas, faça seu plano orçamentário, e por fim, decida em quais unidades de oferta de disciplinas irá se matricular.

Essa organização de fases traz também benefícios ao corpo docente. A tarefa de planejamento das disciplinas pretendidas pelo professor é facilitada visto que os horários nas quais cada uma das ofertas ocorrerá são divulgados com antecedência. Logo, em instituições onde existem vários professores que não trabalham em regime integral, torna-se mais fácil planejar a alocação. Um docente, sabendo exatamente o horário das disciplinas, pode, por exemplo, buscar outras aulas em outros locais com a segurança de que não será surpreendido

minutos antes de começar o trabalho com a informação que seus horários estão sendo modificados.

Na parte administrativa, os benefícios são obtidos a partir da antecedência para a realização das ações. Por exemplo, uma equipe de infra-estrutura tem mais tempo para a preparação de salas de aula para receber os alunos matriculados nas unidades de oferta. Uma equipe de informática poderá organizar com antecedência sua matrícula *on-line*, assim como também a secretaria na divulgação do que será ofertado etc.

Essa fase de elaboração do quadro de oferta pode ser auxiliada por um modelo matemático, buscando, por exemplo, uma organização das unidades de oferta de disciplinas tal que sejam minimizadas as janelas, que disciplinas que necessitem de recursos especiais não sejam escalonadas nos mesmos horários, ou que disciplinas que devam ser ofertadas em dias diferentes sejam devidamente escalonadas. Outros critérios didático-pedagógicos também podem ser utilizados para a construção do quadro de ofertas. Para isso, vários modelos e métodos propostos na literatura podem ser adaptados e utilizados, tanto com propostas interativas como propostas do tipo automáticas.

Como exemplo, tem-se o trabalho proposto por Chaves [19], que permite a criação de quadros de horários interativos. White e Wong [60] também propuseram um sistema interativo para a definição de um quadro de horários. A principal diferença é que nesse caso ainda não existe a restrição de que “um determinado professor é quem leciona a disciplina”.

Parte-se do pressuposto que o resultado do processo da segunda fase, ou seja, o quadro de ofertas consolidado foi construído de alguma forma, seja manual, automática ou interativa, e, portanto, será considerado como dado de entrada para a execução da terceira fase.

Por fim, a terceira fase, denominada alocação de professores, consiste na elaboração final do quadro de horários, ou seja, acoplar ao quadro de oferta os recursos docentes para a realização das atividades. Consiste em alocar o corpo docente de uma forma eficiente para cumprir o quadro de ofertas. Na terceira fase existem dois processos macro: a otimização do modelo APRAC e a alocação de professores (FIG. 3).

Nessa fase entram os aspectos para a definição de uma alocação eficiente. No contexto proposto das IES particulares, a alocação tem duas componentes principais: o custo e o conceito de avaliação.

4.2 - Alocação de Professores

Segundo Carter e Laporte [17], os problemas de quadros de horários podem ser vistos como um problema de alocação multidimensional onde estudantes e professores são alocados em cursos que são alocados em salas e horários. Reis e Oliveira [43] lembraram que essa multidimensionalidade do problema indica que não temos um problema único de quadros de horários, conforme indicado nas seções anteriores. No entanto, os problemas de quadros de horários abordados na literatura tem se especializado nos problemas de escalonamento turma-professor, escalonamento de disciplinas e escalonamento de exames.

Outra questão é a definição do objetivo, que normalmente está associada à preferência docente, diminuição de janelas de tempo etc. Na área de alocação de professores, são encontrados menos trabalhos. Entre eles, vale destacar o de Hultberg e Cardoso [33], que tem como objetivo minimizar o número de disciplinas distintas alocadas a um professor. Teixeira *et al* [55] propuseram um trabalho de alocação de professores para atendimento de carências diante a expansão de demanda.

De acordo com o modelo APRAC, existem formas mais eficientes de se alocar o corpo docente tal que seja possível obter um custo operacional mínimo com garantia de níveis de qualidade máximo nos indicadores de avaliação institucional. Essa abordagem deverá ser acoplada ao problema de quadro de horários, definindo então um novo objetivo para a alocação.

Portanto, para a definição do objetivo para resolução da terceira fase do processo, deverão ser abordados os seguintes pontos a respeito dos professores:

- *status* da alocação,
- disponibilidade de tempo,
- formação acadêmica e área de atuação,
- disponibilidade nos horários,
- titulação,
- publicações e produções acadêmicas,
- experiência profissional,
- carreira institucional.

O *status* da alocação do professor destina-se a avaliar o tipo de regime de trabalho que o docente está alocado. Conforme abordado por Carvalho [18], sempre que ocorre uma redução de jornada, gera-se uma rescisão parcial do contrato de trabalho do professor, a qual

gera custos para a Instituição. Sendo assim, é importante evitar reduções parciais, preferindo alocar prioritariamente aqueles docentes que já fazem parte do quadro efetivo. Observando também o disposto nos acordos coletivos, uma vez que um professor já atua em determinada disciplina, deve-se preferencialmente mantê-lo na mesma.

A disponibilidade de tempo do professor é importante, pois quanto mais disponível (mais próximo de quarenta horas semanais), mais fácil é alocar atividades ao docente. Uma observação que pode ser feita a partir de simulações do modelo APRAC é que o modelo, ao minimizar os custos operacionais, reduz ao máximo o número de professores necessários para atender a demanda. Visto isso, deve-se observar que cada vez mais, o corpo docente deve ser menor, mas com mais envolvimento nas atividades institucionais (menos professores com carga horária maior). Portanto, é importante ter professores com disponibilidade de tempo para serem alocados.

Quanto à formação acadêmica e área de atuação, os professores que tem afinidade com o conjunto de disciplinas ofertadas tem prioridade de alocação. Afinal, a formação didático-pedagógica do professor é fundamental para o bom andamento da relação ensino-aprendizagem em todas as disciplinas. Como o quadro de ofertas é pré-estabelecido, é importante que o professor tenha disponibilidade nos horários nos quais as ofertas de disciplinas de sua área ocorrem.

Estendendo a formação acadêmica por área, quanto maior for a qualificação docente, melhor para a Instituição. Logo, docentes com melhores titulações, índices de publicações e produções acadêmicas e mais tempo de experiência profissional, são mais indicados para serem alocados.

Por fim, respeitando aspectos regimentais e de planos de carreira institucionais, aqueles professores que já estão mais avançados em termos de carreira institucional, a critério de cada instituição, devem ser prioritariamente alocados.

Todos os aspectos acima descritos deverão ser contemplados para a elaboração do objetivo, além das informações sobre custo de alocação e informações sobre alocação mínima apontadas pela resolução do modelo APRAC. A FIG. 3 mostra o diagrama da modelagem de processo da construção do quadro de horários.

A próxima seção explica como é definida a função objetivo.

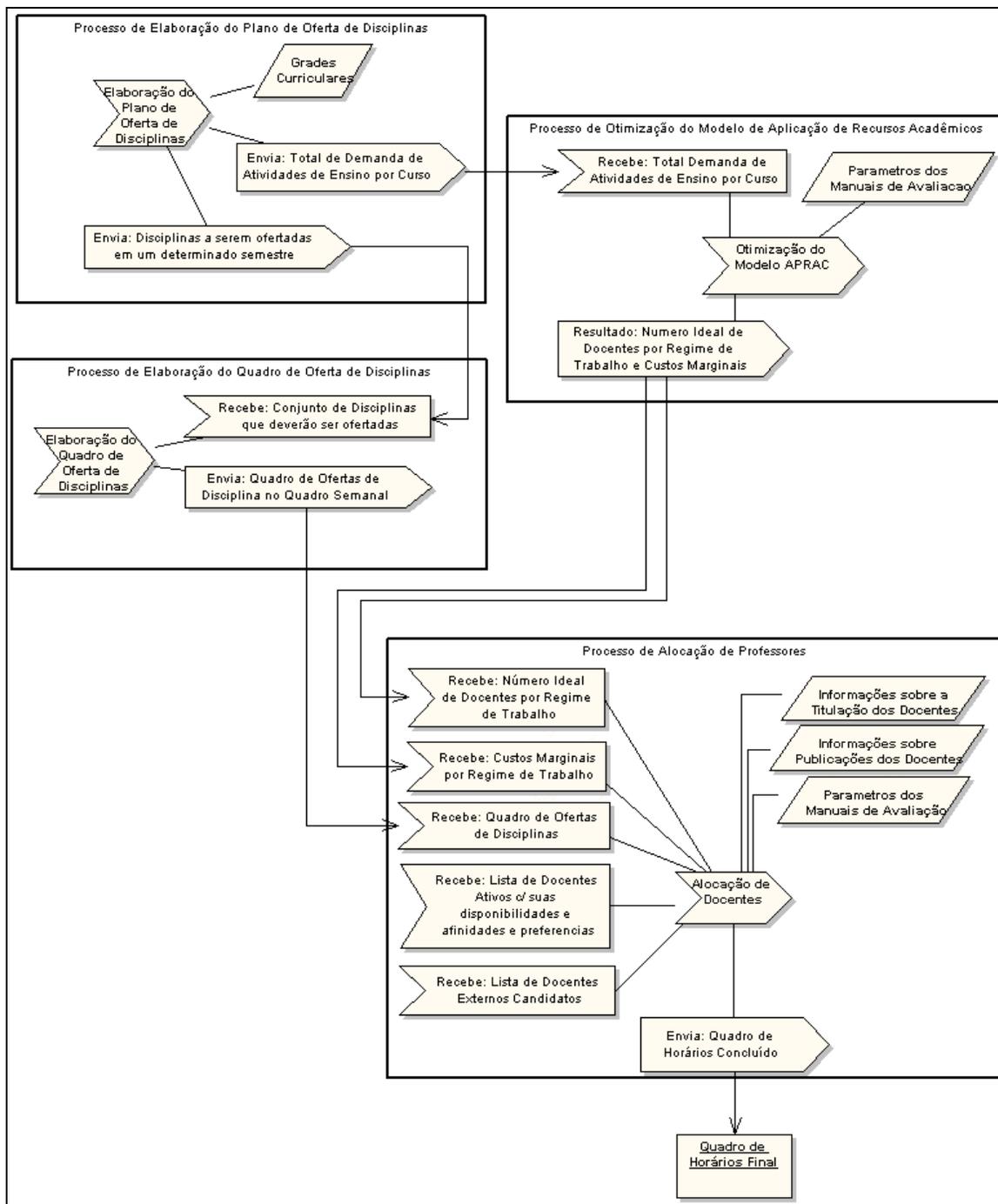


FIGURA 3 - Diagrama de processo para construção do quadro de horários

4.3 - Objetivo a otimizar

O objetivo do modelo a ser proposto é alocar os professores de forma eficiente. Para isso, aspectos sobre o corpo docente, sobre os custos de alocação e sobre as informações para a alocação de custo mínimo são consideradas.

Para uma determinada instância, deve-se decidir:

- Se o docente deverá ou não ser alocado no quadro de horários;
- Se for alocado, em qual regime de trabalho o docente deverá atuar;
- Se for alocado, em quais unidades de oferta o docente deverá lecionar.

Considerando:

- I = conjunto de docentes disponíveis para serem alocados;
- J = conjunto de regimes de trabalho;
- K = conjunto de unidades de oferta de disciplinas.

Então, as variáveis de decisão para o problema são:

- $Y_{ij} = 0$ ou 1 , sendo 1 caso o docente i seja atribuído ao regime de trabalho j e 0 caso contrário.
- $X_{ik} = 0$ ou 1 , sendo 1 caso o docente i seja designado a atender a oferta de disciplina k .

O objetivo a ser otimizado pode então ser descrito da seguinte forma:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} F_{ij} Y_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} C_{ik} X_{ik}$$

A definição dos coeficientes F e C devem ser balizadas nos aspectos enumerados anteriormente. O coeficiente F está relacionado à ativação do professor em um regime de trabalho. O coeficiente C está relacionado à designação do professor para atender uma determinada oferta de disciplina. Um professor somente poderá ser alocado para uma determinada oferta de disciplina caso ele tenha sido previamente alocado em um regime de trabalho. Além disso, cada regime de trabalho tem uma faixa de horas que podem ser alocadas para o docente. Portanto, a alocação do docente a ofertas de disciplinas está limitada a disponibilidade do regime no qual o docente fora atribuído.

O coeficiente F é calculado para cada docente em cada regime de trabalho. Em um primeiro momento, é definida uma função $f(i)$, denominada função de penalidade, que retorna uma penalidade para cada professor i disponível para participar da alocação. A rigor,

$$f(i) = \frac{\sum_{a \in A} p_a n_a}{\sum_{a \in A} p_a}$$

onde:

- A = conjunto de aspectos;
- p_a é o peso do aspecto a ;
- n_a é a nota do aspecto a .

A função $f(i)$ é uma média ponderada dos aspectos docentes considerados. O conjunto A é formado por:

- 1) Regime: penalidade igual a 0 (zero) caso o professor se encontre atualmente em regime de trabalho integral e igual a 100 caso o professor não pertença ao quadro efetivo.
- 2) Disponibilidade: penalidade igual a 0 (zero) quando o professor tiver a disponibilidade total de carga horária (40 horas semanais), crescendo quanto menos disponível.
- 3) Titulação: penalidade igual a 0 (zero) quando a maior titulação do professor Doutorado, crescendo quanto menor for a titulação.
- 4) Publicações/Produções: penalidade igual a 0 (zero) quando a média de publicações do professor for maior que uma publicação por ano, considerando os últimos três anos, devendo a penalidade máxima ocorrer para o docente sem produção acadêmica.
- 5) Experiência: penalidade igual a 0 (zero) quando o professor possuir 5 (cinco) anos ou mais de experiência, crescendo quanto menor for a experiência.
- 6) Carreira: penalidade igual a 0 (zero) para professores com mais que 5 (cinco) anos de docência na Instituição, crescendo quanto menor for o tempo de trabalho na Instituição.

A lista de aspectos pode ser ampliada, visto que a definição dos pesos de cada um deverá ser orientada pelos interesses institucionais, que podem inclusive ser norteadas pelos pesos e relevância de cada um dos aspectos dentro da Avaliação Institucional no SINAES. Sendo assim, uma instituição a fim de melhorar algum quesito para obter uma melhor avaliação, pode definir uma forma diferente para atribuir pesos aos aspectos considerados no

cálculo de $f(i)$. A função $f(i)$ retorna a penalidade do docente de acordo com os parâmetros definidos.

O propósito é que os docentes com a menor penalidade terão preferência para a alocação. Após executar o modelo APRAC para a instância correspondente, duas informações principais são obtidas. A primeira é o número de professores por regime de trabalho na solução ótima⁶. A segunda é o custo marginal de cada um dos regimes de trabalho. A definição de cada F_{ij} é dada pelo seguinte algoritmo:

Para cada docente $i \in I$, sendo i ordenado crescentemente de acordo com $f(i)$, **faça**
Para cada regime $j \in J$, sendo j ordenado decrescentemente por peso na avaliação **faça**

F_{ij} recebe a soma do custo marginal de j com o valor de $f(i)$

Se o número de professores analisados até o regime j for maior que o número total de docentes até o regime j da solução ótima, **então**

F_{ij} recebe F_{ij} mais o custo operacional efetivo de j

Analisa o próximo j

Analisa o próximo i

Após ter executado o procedimento acima, o valor de cada um dos coeficientes F_{ij} indica ao modelo quais recursos deverão ser priorizados na alocação, facilitando a convergência dos métodos de solução exatos.

Assim como o coeficiente F , o coeficiente C está associado a uma penalidade para que o professor i seja alocado para atender a oferta de disciplina k . A definição de C_{ik} é balisada nos seguintes aspectos:

- 1) Preferência pela disciplina.
- 2) Histórico de Alocação.
- 3) Adequação da Formação.
- 4) *Status* contratação.

De forma análoga, outros aspectos podem ser definidos de acordo com as necessidades específicas de uma determinada instituição. Seja $g(i,k)$ uma função que retorna um valor de penalidade para que o professor i seja alocado na oferta de disciplina k . A função $g(i,k)$ é a soma das penalidades avaliadas em cada um dos aspectos. Abaixo, define-se um critério para obter o valor de $g(i,k)$.

⁶ O modelo APRAC deve ser executado duas vezes: uma para obter solução inteira para o número de professores em cada regime de trabalho e outra para obter os custos marginais associados aos regimes de trabalho na solução linear. Uma opção é armazenar dados de execução do APRAC a fim de evitar sucessivas resoluções de instâncias iguais.

Para o primeiro aspecto, a penalidade é 0 (zero) caso a disciplina seja altamente desejada. Quanto menos se deseja aquela disciplina, maior a penalidade. Para disciplinas que não se deseja em hipótese nenhuma, deve-se associar uma penalidade infinita, indicando que aquela disciplina nunca deverá ser alocada para aquele docente.

Quanto ao segundo aspecto, a penalidade é 0 (zero) caso o docente já estiver lecionando a disciplina e 20 (por exemplo) caso contrário.

Quanto ao terceiro aspecto, a penalidade é 0 (zero) caso o docente tenha formação adequada para lecionar aquela disciplina. Caso não tenha formação adequada, deve-se associar uma penalidade alta.

Quanto ao quarto e último aspecto, a penalidade é 0 (zero) caso o docente faça parte do quadro efetivo e 100 (por exemplo) caso contrário.

Ao final da avaliação para cada professor i e para cada oferta de disciplina k , C_{ik} recebe o valor de $g(i,k) + f(i)$.

Conforme colocado anteriormente, os valores dos coeficientes F e C podem ser alterados de acordo com a especificidade de cada instituição, tornando determinados critérios mais relevantes em termos de otimização. Além disso, a definição desses valores depende fortemente de uma base de informações para permitir o cálculo dos coeficientes.

Uma vez encontrada uma solução de custo mínimo, de acordo com os coeficientes definidos por F e C , pode-se afirmar que o quadro de horários resultante apresentará as características como:

- 1) Custo operacional baixo.
- 2) Atendimento da oferta de disciplinas de forma eficiente.
- 3) Concentração de atividades em número menor de professores.
- 4) Equipe acadêmica com um melhor nível de qualidade.

A seguir são enunciados os modelos matemáticos completos para a solução do problema de alocação de professores.

4.4 - Formulação Matemática – Único Campus (Modelo APU)

O problema a ser resolvido é a elaboração de um quadro de custo mínimo tal que sejam mantidos níveis de qualidade máximos. Parte-se do pressuposto que o quadro de ofertas de disciplinas já exista e a atividade está em alocar o corpo docente para executar tal oferta. O modelo de Alocação de Professores para um Único Campus (APU) proposto é descrito da seguinte forma:

Seja:

- I = conjunto de docentes.
- J = conjunto de regimes de trabalho. (Tipicamente: de acordo com o QUADRO 1, RI – Regime Integral –, RP – Regime Parcial –, e RH – Regime Horista.
- K = conjunto de unidades de oferta de disciplinas. (Obs: uma disciplina pode estar sendo ofertada várias vezes).
- H = conjunto de horários de um turno. (Tipicamente: 1 a 4).
- T = conjunto de turnos. (Tipicamente: Manhã, Tarde e Noite).
- D = conjunto de dias da semana (Tipicamente: Segunda a Sexta).

Deve-se considerar como dados de entrada do modelo as seguintes informações:

- F_{ij} = custo de ativação de um docente i ao regime de trabalho j .
- C_{ik} = custo de alocação de um professor i a uma oferta de disciplina k . Pode representar preferências docentes a designação do conjunto de oferta de disciplinas.
- Tam_k = tamanho, em horas, de uma oferta de disciplina k .
- TH_j = total de horas do regime de trabalho j .
- E_j = disponibilidade de horas do regime de trabalho j para alocação em atividades de ensino, ou seja, atividades que vão atender a oferta de disciplinas.
- Em_j = limite inferior de horas do regime de trabalho j para alocação em atividades de ensino, ou seja, atividades que vão atender a oferta de disciplinas.
- Qd_{khtd} = quadro de oferta das disciplinas, especificando que a oferta de disciplina k ocorrerá no horário h , do turno t , do dia d , sendo Qd_{khtd} igual a 1 quando existe a oferta e 0 caso contrário.

- PRT_j = peso do regime de trabalho na avaliação institucional do MEC.
- MRT = Meta do Indicador Regime de Trabalho na Avaliação Institucional.
- RTI_j = Igual a 1 caso o regime de trabalho seja do tipo tempo integral.
- MTI = Meta de docentes em regime de trabalho tempo integral de acordo com o tipo de organização acadêmica.
- $Disp_{ihtd}$ = quadro de disponibilidade do docente i , sendo 1 caso o docente i tem disponibilidade para ser alocado no horário h , do turno t , do dia d , sendo 0 caso contrário.
- $Compl_i$ = Carga horária pré-alocada para o docente i em atividades complementares⁷.

As variáveis de decisão do modelo são:

- $Y_{ij} = 0$ ou 1, sendo 1 caso o docente i seja atribuído ao regime de trabalho j e 0 caso contrário.
- $X_{ik} = 0$ ou 1, sendo 1 caso o docente i seja designado a atender a oferta de disciplina k .

O objetivo do modelo é alocar os docentes tal que todas as unidades de oferta sejam atendidas com o mínimo custo operacional, atendendo também aos requisitos de qualidade da avaliação institucional e demais restrições de um quadro de horários. As restrições serão explicadas a partir da formulação matemática do modelo descrita abaixo:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} F_{ij} Y_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} C_{ik} X_{ik}$$

sujeito a:

$$\sum_{j \in J} Y_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (1)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ik} = 1 \quad \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} X_{ik} Tam_k \leq \sum_{j \in J} Y_{ij} E_j \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} X_{ik} Tam_k \geq \sum_{j \in J} Y_{ij} Em_j \quad \forall i \in I \quad (4)$$

⁷ A pré-alocação em atividades complementares permite informar ao modelo que determinado professor já se encontra alocado em atividades de gestão, projetos de pesquisa e demais atividades complementares.

$$\sum_{k \in K} X_{ik} Tam_k \leq \sum_{j \in J} Y_{ij} TH_j - Compl_i \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} Y_{ij} (TH_j - E_j) \geq Compl_i \quad \forall i \in I \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Y_{ij} PRT_j \geq MRT \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Y_{ij} \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Y_{ij} RTI_j \geq MTI \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Y_{ij} \quad (8)$$

$$X_{ik} Qd_{khd} \leq Disp_{ihtd} \quad \forall i \in I, k \in K, h \in H, t \in T, d \in D \quad (9)$$

$$\sum_{k \in K} X_{ik} Qd_{khd} \leq 1 \quad \forall i \in I, h \in H, t \in T, d \in D \quad (10)$$

$$X_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, k \in K \quad (11)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (12)$$

As restrições (1) garantem que um docente i estará alocado em apenas um regime de trabalho j . Caso não esteja associado a nenhum significa que ele não está alocado no quadro de horários final. Já as restrições (2) garantem que toda a oferta de disciplina k será exclusivamente atendida por um docente i .

As restrições (3), (4), (5) e (6) servem para limitar a quantidade de carga horária alocada a um docente de acordo com seu regime de trabalho. As restrições (3) garantem que a quantidade de horas alocadas a um docente i para atender ofertas de disciplinas não é superior a quantidade de horas disponíveis para atividades de ensino de acordo com o regime de trabalho j . Da mesma forma, as restrições (4) definem um limite inferior para o número de horas de ensino do regime de trabalho j . As restrições (5) garantem que a quantidade de horas alocadas a um docente i para atender ofertas de disciplinas não sobreponha à carga horária complementar ($Compl_i$) pré-alocada ao docente i . Já as restrições (6) garantem que o total de carga horária complementar pré-alocado seja sempre enquadrado no montante destinado a esse tipo de atividade para cada regime de trabalho j , ou seja, no saldo de $TH_j - E_j$.

A restrição (7) garante que o conceito do indicador regime de trabalho da avaliação institucional seja atendido no nível máximo, enquanto a restrição (8) garante o atendimento do percentual de professores em regime de trabalho tempo integral, de acordo com o estabelecido na legislação.

As restrições (9) garantem que nenhum docente será alocado caso esteja indisponível em um determinado horário. As restrições (10) garantem que um docente i nunca está alocado

mais de uma vez em um mesmo horário. Por fim, as restrições (11) e (12) definem os domínios das variáveis de decisão X e Y , respectivamente.

A fim de incrementar o modelo, podem ser adicionadas duas outras restrições, apesar de que seu atendimento está embutido na função objetivo.

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Y_{ij} PTIT_i \geq MTIT \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Y_{ij} \quad (13)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Y_{ij} PPUB_i \geq MPUB \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Y_{ij} \quad (14)$$

$PTIT_i$ corresponde ao peso da titulação e $PPUB_i$ corresponde ao peso da publicação do professor i de acordo com o Manual de Avaliação Externa [7]. $MTIT$ e $MPUB$ são as metas para o indicador Titulação e Publicação/Produção respectivamente, de acordo com o tipo de IES. A restrição (13) garante o atendimento do indicador titulação e a restrição (14) garante o atendimento do indicador Publicação/Produção. Como o atendimento dessas restrições está embutido na função objetivo, essas restrições podem ser consideradas desejáveis e por isso não serem utilizadas.

Outra observação importante é que as restrições de indisponibilidade dos professores também podem ser relaxadas visto que como o quadro de ofertas está pré-definido, caso um professor esteja indisponível durante o horário de determinada oferta, pode-se simplesmente desabilitá-lo a atender tal oferta. Essa situação corresponde à associar um custo elevado ao coeficiente C_{ik} sempre que o professor estiver indisponível no horário de realização da oferta de disciplina. Nesse caso, as restrições (9) seriam desconsideradas do modelo.

Por fim, com o intuito de evitar a criação de variáveis que jamais serão solução do problema, ou seja, aquelas que possuem um custo muito elevado (infinito), pode-se incrementar o modelo tal que apenas as variáveis que podem vir a participar da solução sejam instanciadas e que variáveis de folga sejam inseridas para evitar a inviabilidade na resolução do modelo. Dessa forma é possível trabalhar com instâncias maiores.

4.5 - Formulação Matemática – *Multicampi* (Modelo APM)

O modelo anteriormente proposto não é aplicável em instituições que trabalham com seus cursos distribuídos em mais de um *campus*. Isso porque o modelo permite que em um mesmo turno t , de um mesmo dia d , o professor seja alocado em ofertas de disciplinas que ocorrerão em *campus* diferentes. Normalmente, devido à necessidade de um deslocamento significativo entre essas unidades, torna-se inviável permitir que um professor seja designado a atender a demanda em *campus* diferentes, no mesmo turno, no mesmo dia.

A fim de comportar o problema *multicampi*, o modelo anteriormente proposto necessita de restrições e variáveis adicionais. Então, seja:

- L = conjunto de *campus* ou locais que exigem deslocamento significativo do docente.
- NH = número de horários de um turno.
- Qd_{khtdl} = quadro de oferta das disciplinas, especificando que a oferta de disciplina k será dada no horário h , do turno t , do dia d , no *campus* l , sendo Qd_{khtdl} igual a 1 quando existe a oferta e 0 caso contrário.
- $Disp_{ihtdl}$ = quadro de disponibilidade do docente i , sendo 1 caso o docente i tem disponibilidade para ser alocado no horário h , do turno t , do dia d , no *campus* l , sendo 0 caso contrário.
- V_{idtl} = variável auxiliar que representa que um docente i foi alocado para lecionar no turno t do dia d no *campus* l , sendo 1 quando o docente foi alocado e 0 caso contrário.

Reescrevendo as restrições (9) e (10) e adicionando quatro novos conjuntos de restrições, temos o modelo de Alocação de Professores *Multicampi* (APM):

$$X_{ik} Qd_{khtdl} \leq Disp_{ihtdl} \quad \forall i \in I, k \in K, h \in H, t \in T, d \in D, l \in L \quad (15)$$

$$\sum_{k \in K} X_{ik} Qd_{khtdl} \leq 1 \quad \forall i \in I, h \in H, t \in T, d \in D, l \in L \quad (16)$$

$$\sum_{l \in L} V_{idtl} \leq 1 \quad \forall i \in I, t \in T, d \in D \quad (17)$$

$$\frac{1}{NH} \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} X_{ik} Qd_{khtdl} - V_{idtl} \geq \frac{1}{NH} - 1 \quad \forall i \in I, t \in T, d \in D, l \in L \quad (18)$$

$$\frac{1}{NH} \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} X_{ik} Qd_{khtdl} - V_{idtl} \leq 0 \quad \forall i \in I, t \in T, d \in D, l \in L \quad (19)$$

$$V_{idl} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, t \in T, d \in D, l \in L \quad (20)$$

As restrições (17) garantem que um professor nunca é alocado dentro de um mesmo turno em dois *campi* diferentes. As restrições (18) e (19) são responsáveis por atribuir 0 ou 1 à variável V_{idl} , que de acordo com as restrições (20), é binária. Quando um docente i foi alocado em um turno t do dia d no *campus* l , a variável V_{idl} assume 1. As restrições (15) e (16) correspondem às restrições (9) e (10) do modelo para um único *campus*.

Da mesma forma, no caso de não se utilizar as restrições de disponibilidade de professores, conforme explicado na seção anterior, as restrições (15) seriam desconsideradas do modelo.

4.6 - Processo Exemplo

Para exemplificar o funcionamento do processo proposto, será demonstrado um fluxo do início ao fim abrangendo as três fases da construção de um quadro de horários. As informações aqui apresentadas são meramente ilustrativas.

4.6.1 - Fase 1 – Elaboração do Plano de Oferta

Uma determinada instituição possui três cursos em implantação: ciência da computação, engenharia elétrica e matemática, sendo que os três cursos funcionam nos turnos da manhã e da noite. No período letivo seguinte, o qual está sendo planejado, o curso de ciência da computação terá 3 (três) períodos implantados e os demais 2 (dois) períodos. Com base na grade curricular de cada um dos cursos, chega-se a uma lista de disciplinas que deverão ser ofertadas. O QUADRO 6 mostra o conjunto de disciplinas que deverão ser ofertadas nos dois turnos.

QUADRO 6
Conjunto de disciplinas a serem ofertadas de acordo com a grade curricular

Curso	Período	Disciplina	CH
Ciência da Computação	1	Cálculo I	4
		Geometria Analítica e Álgebra Linear I	4
		Algoritmos e Estruturas de Dados I	6
		Introdução à Ciência da Computação	2
		Metodologia Científica	4
	2	Cálculo II	4
		Álgebra Linear	4
		Algoritmos e Estruturas de Dados II	4
		Física para Computação	4
		Leitura e Produção de Textos	4
	3	Cálculo III	4
		Matemática Discreta	4
		Algoritmos e Estruturas de Dados III	4
		Introdução aos Sistemas Lógicos	4
		Teoria Geral da Administração	4

Curso	Período	Disciplina	CH	Curso	Período	Disciplina	CH
Engenharia Elétrica	1	Cálculo I	4	Matemática	1	Introdução à Aritmética e Álgebra	4
		Química Geral	4			Introdução à Geometria Plana	4
		Geometria Analítica	4			Leitura e Produção de Textos	4
		Algoritmos e Estruturas de Dados	4			Matemática e Informática	4
		Leitura e Produção de Textos	4			Tópicos Especiais	4
	2	Cálculo II	4		2	Estudo de Funções	6
		Física I	4			Filosofia	2
		Álgebra Linear	4			Geometria Analítica I	4
		Circuitos Elétricos I	6			Matemática e Educação I	4
		Introdução ao Pensamento Científico	2			Trigonometria	4

Com a lista de disciplinas que devem ser ofertadas, a coordenação pedagógica da instituição deverá avaliar o número de turnos que cada disciplina deverá ser ofertada, o número de alunos previstos de acordo com as vagas do curso, as necessidades de turmas especiais oriundas de adaptações e ou repetências, além da necessidade de divisão de turmas em caso de aulas práticas ou outras exigências legais.

Neste exemplo, foi decidido que a disciplina Cálculo I deverá ser ofertada em uma turma especial pois existe uma demanda grande para a disciplina, visto que vários alunos foram reprovados e todos os ingressantes na Instituição são obrigados a se matricular na mesma. Como resultado da primeira fase, obtêm-se o plano de ofertas de disciplinas que deverá ser oferecido aos alunos no semestre seguinte com suas respectivas cargas horárias. A lista é apresentada na TAB. 8.

TABELA 8
Plano de oferta de disciplinas

(Continua)

Código Oferta	Disciplina	Turma	CH
OF001	Cálculo I	1º Período Ciência da Computação - Manhã	4
OF002	Geometria Analítica e Álgebra Linear I	1º Período Ciência da Computação - Manhã	4
OF003	Algoritmos e Estruturas de Dados I	1º Período Ciência da Computação - Manhã	6
OF004	Introdução à Ciência da Computação	1º Período Ciência da Computação - Manhã	2
OF005	Metodologia Científica	1º Período Ciência da Computação - Manhã	4
OF006	Cálculo II	2º Período Ciência da Computação - Manhã	4
OF007	Álgebra Linear	2º Período Ciência da Computação - Manhã	4
OF008	Algoritmos e Estruturas de Dados II	2º Período Ciência da Computação - Manhã	4
OF009	Física para Computação	2º Período Ciência da Computação - Manhã	4
OF010	Leitura e Produção de Textos	2º Período Ciência da Computação - Manhã	4
OF011	Cálculo III	3º Período Ciência da Computação - Manhã	4
OF012	Matemática Discreta	3º Período Ciência da Computação - Manhã	4
OF013	Algoritmos e Estruturas de Dados III	3º Período Ciência da Computação - Manhã	4
OF014	Introdução aos Sistemas Lógicos	3º Período Ciência da Computação - Manhã	4
OF015	Teoria Geral da Administração	3º Período Ciência da Computação - Manhã	4
OF016	Cálculo I	1º Período Ciência da Computação - Noite	4
OF017	Cálculo I	1º Período Ciência da Computação - Noite (T. Especial)	4
OF018	Geometria Analítica e Álgebra Linear I	1º Período Ciência da Computação - Noite	4
OF019	Algoritmos e Estruturas de Dados I	1º Período Ciência da Computação - Noite	6
OF020	Introdução à Ciência da Computação	1º Período Ciência da Computação - Noite	2
OF021	Metodologia Científica	1º Período Ciência da Computação - Noite	4
OF022	Cálculo II	2º Período Ciência da Computação - Noite	4
OF023	Álgebra Linear	2º Período Ciência da Computação - Noite	4
OF024	Algoritmos e Estruturas de Dados II	2º Período Ciência da Computação - Noite	4
OF025	Física para Computação	2º Período Ciência da Computação - Noite	4
OF026	Leitura e Produção de Textos	2º Período Ciência da Computação - Noite	4
OF027	Cálculo III	3º Período Ciência da Computação - Noite	4
OF028	Matemática Discreta	3º Período Ciência da Computação - Noite	4
OF029	Algoritmos e Estruturas de Dados III	3º Período Ciência da Computação - Noite	4
OF030	Introdução aos Sistemas Lógicos	3º Período Ciência da Computação - Noite	4
OF031	Teoria Geral da Administração	3º Período Ciência da Computação - Noite	4

TABELA 8
Plano de oferta de disciplinas

(Conclusão)

Código Oferta	Disciplina	Turma	CH
OF032	Cálculo I	1º Período Engenharia Elétrica - Manhã	4
OF033	Química Geral	1º Período Engenharia Elétrica - Manhã	4
OF034	Geometria Analítica	1º Período Engenharia Elétrica - Manhã	4
OF035	Algoritmos e Estruturas de Dados	1º Período Engenharia Elétrica - Manhã	4
OF036	Leitura e Produção de Textos	1º Período Engenharia Elétrica - Manhã	4
OF037	Cálculo II	2º Período Engenharia Elétrica - Manhã	4
OF038	Física I	2º Período Engenharia Elétrica - Manhã	4
OF039	Álgebra Linear	2º Período Engenharia Elétrica - Manhã	4
OF040	Circuitos Elétricos I	2º Período Engenharia Elétrica - Manhã	6
OF041	Introdução ao Pensamento Científico	2º Período Engenharia Elétrica - Manhã	2
OF042	Cálculo I	1º Período Engenharia Elétrica - Noite	4
OF043	Química Geral	1º Período Engenharia Elétrica - Noite	4
OF044	Geometria Analítica	1º Período Engenharia Elétrica - Noite	4
OF045	Algoritmos e Estruturas de Dados	1º Período Engenharia Elétrica - Noite	4
OF046	Leitura e Produção de Textos	1º Período Engenharia Elétrica - Noite	4
OF047	Cálculo II	2º Período Engenharia Elétrica - Noite	4
OF048	Física I	2º Período Engenharia Elétrica - Noite	4
OF049	Álgebra Linear	2º Período Engenharia Elétrica - Noite	4
OF050	Circuitos Elétricos I	2º Período Engenharia Elétrica - Noite	6
OF051	Introdução ao Pensamento Científico	2º Período Engenharia Elétrica - Noite	2
OF052	Introdução à Aritmética e Álgebra	1º Período Matemática - Manhã	4
OF053	Introdução à Geometria Plana	1º Período Matemática - Manhã	4
OF054	Leitura e Produção de Textos	1º Período Matemática - Manhã	4
OF055	Matemática e Informática	1º Período Matemática - Manhã	4
OF056	Tópicos Especiais	1º Período Matemática - Manhã	4
OF057	Estudo de Funções	2º Período Matemática - Manhã	6
OF058	Filosofia	2º Período Matemática - Manhã	2
OF059	Geometria Analítica I	2º Período Matemática - Manhã	4
OF060	Matemática e Educação I	2º Período Matemática - Manhã	4
OF061	Trigonometria	2º Período Matemática - Manhã	4
OF062	Introdução à Aritmética e Álgebra	1º Período Matemática - Noite	4
OF063	Introdução à Geometria Plana	1º Período Matemática - Noite	4
OF064	Leitura e Produção de Textos	1º Período Matemática - Noite	4
OF065	Matemática e Informática	1º Período Matemática - Noite	4
OF066	Tópicos Especiais	1º Período Matemática - Noite	4
OF067	Estudo de Funções	2º Período Matemática - Noite	6
OF068	Filosofia	2º Período Matemática - Noite	2
OF069	Geometria Analítica I	2º Período Matemática - Noite	4
OF070	Matemática e Educação I	2º Período Matemática - Noite	4
OF071	Trigonometria	2º Período Matemática - Noite	4
Total			284

4.6.2 - Fase 2 – Elaboração do Quadro de Oferta

A segunda fase, a qual destina-se a escalonar cada uma das ofertas no quadro de horários, tem como entrada o plano de ofertas. Esse processo pode ser auxiliado por um sistema especialista ou pode até mesmo ser feito manualmente. Independente de como o plano de ofertas foi montado, o objetivo da segunda fase é definir onde (local e sala) e quando (horário de realização) cada oferta de disciplina será realizada, ou seja, definir o quadro de oferta.

Um quadro é uma planilha de alocação de atividades ao longo do tempo. É composto por períodos de tempo, denominados horários (i.e. *timeslots*), que são unidades mínimas de alocação e que possuem um tamanho pré-definido em horas. Nesse exemplo, um horário corresponde à duas aulas de 50 min., ou seja, 1:40 h de duração.

O QUADRO 7 é um quadro de oferta. O posicionamento das disciplinas obedeceu a alguns critérios pedagógicos definidos tal como disciplinas pré-requisito deverão ocorrer em um mesmo horário, implicando na necessidade de professores distintos. É importante frisar que o quadro de ofertas pode trazer uma característica evolutiva, ou seja, recuperar informações de quadros de horários anteriores para subsidiar a elaboração do quadro de ofertas seguinte. Segundo Barraclough [4], o processo de construção de um quadro de horários deverá verificar o quadro do período anterior e os novos requisitos exigidos para a definição do novo quadro de horários.

QUADRO 7
Quadro de oferta de disciplinas

Turno	Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Manhã	1º Horário (7h00 - 8h40)	OF003	OF001	OF003	OF001	OF003
		OF008	OF006	OF008	OF006	OF010
		OF013	OF011	OF013	OF011	OF014
		OF033	OF034	OF036	OF034	OF033
		OF039	OF038	OF039	OF040	OF038
		OF052	OF055	OF052	OF055	OF054
		OF057	OF059	OF057	OF060	OF059
	2º Horário (9h00 - 10h40)	OF002	OF005	OF002	OF005	OF004
		OF007	OF009	OF007	OF010	OF009
		OF012	OF014	OF012	OF015	OF015
		OF035	OF032	OF035	OF032	OF036
		OF040	OF037	OF040	OF037	OF041
		OF053	OF054	OF056	OF053	OF056
		OF058	OF060	OF061	OF057	OF061
Noite	1º Horário (19h00 - 20h40)	OF019	OF016 OF017	OF019	OF016 OF017	OF019
		OF024	OF022	OF024	OF022	OF026
		OF029	OF027	OF029	OF027	OF030
		OF043	OF044	OF046	OF044	OF043
		OF049	OF048	OF049	OF050	OF048
		OF062	OF065	OF062	OF065	OF064
		OF067	OF069	OF067	OF070	OF069
	2º Horário (21h00 - 22h40)	OF018	OF021	OF018	OF021	OF020
		OF023	OF025	OF023	OF026	OF025
		OF028	OF030	OF028	OF031	OF031
		OF045	OF042	OF045	OF042	OF046
		OF050	OF047	OF050	OF047	OF051
		OF063	OF064	OF066	OF063	OF066
		OF068	OF070	OF071	OF067	OF071

O quadro de oferta pode ser divulgado mesmo antes da conclusão do quadro de horários. Isso porque a informação necessária para os alunos e para outros setores, como por exemplo infra-estrutura, já está definida. Para a finalização do quadro de horários, deve-se definir por fim a alocação dos professores às ofertas de disciplina.

4.6.3 - Fase 3 – Alocação de Professores no Quadro de Horários

Considerando que todos os cursos funcionam em um mesmo local, para efetivar a conclusão do processo, deverá ser utilizado o modelo de Alocação de Professores para um Único Campus.

Considerando o plano de ofertas apresentado (TAB. 8), o primeiro passo é instanciar o modelo APRAC para conhecer as condições de mínimo operacional. Portanto, as seguintes informações devem ser passadas ao modelo: a quantidade de horas demandadas e os parâmetros sobre as metas de avaliação e características dos regimes de trabalho.

Com base no Manual de Avaliação Institucional Externa [7], afim de permitir uma melhor percepção das alocações em regimes de trabalho, deve-se primeiramente discretizar as possibilidades de enquadramento docente, criando um detalhamento de cada classificação em regimes de trabalho. Considerando a quantidade de horas alocadas para atividades de ensino e a quantidade de horas alocadas para atividades complementares, sendo que o total de horas deve ser sempre menor que 40 horas semanais, chega-se a um conjunto de regimes de trabalho resultante das diversas combinações para o enquadramento docente (QUADRO 8).

QUADRO 8
Discretização dos regimes de trabalho

		Horas Destinadas a Atividades de Ensino																						
		CH	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
Horas Destinadas a Atividades Complementares	0	-	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	
	2	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	-
	4	H	H	H	H	P	P	P	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	-	-
	6	H	H	H	P	P	P	P	P	P	P	H	H	H	H	H	H	H	H	H	-	-	-	-
	8	H	H	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	H	H	H	H	-	-	-	-	-
	10	H	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-
	12	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-
	14	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	16	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	18	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	22	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	24	P	P	P	P	P	P	P	P	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	26	P	P	P	P	P	P	P	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	28	P	P	P	P	P	P	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30	P	P	P	P	P	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	32	P	P	P	P	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	34	P	P	P	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	36	P	P	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	38	P	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Legenda: H = Regime Horista; P = Regime Parcial; I = Regime Integral, de acordo com o QUADRO 1

Para o exemplo proposto, apenas um subconjunto das possibilidades para arranjo de um regime de trabalho foi considerado. A TAB. 9 apresenta os regimes de trabalho considerados, bem como os parâmetros de cada um, utilizados no modelo.

TABELA 9
Regimes de trabalho considerados e seus parâmetros

Código Regime	Tipo	TH	E	Em	Compl	Código Regime	Tipo	TH	E	Em	Compl
H02	Horista	2	2	1	0	H38	Horista	38	38	37	0
H04	Horista	4	4	3	0	H40	Horista	40	40	39	0
H06	Horista	6	6	5	0	I08	Integral	40	8	7	32
H08	Horista	8	8	7	0	I12	Integral	40	12	11	28
H10	Horista	10	10	9	0	I16	Integral	40	16	15	24
H12	Horista	12	12	11	0	I20	Integral	40	20	19	20
H14	Horista	14	14	13	0	P12	Parcial	12	8	7	4
H16	Horista	16	16	15	0	P14	Parcial	14	10	9	4
H18	Horista	18	18	17	0	P16	Parcial	16	12	11	4
H20	Horista	20	20	19	0	P19	Parcial	19	14	13	5
H22	Horista	22	22	21	0	P22	Parcial	22	16	15	6
H24	Horista	24	24	23	0	P24	Parcial	24	18	17	6
H26	Horista	26	26	25	0	P27	Parcial	27	20	19	7
H28	Horista	28	28	27	0	P30	Parcial	30	22	21	8
H30	Horista	30	30	29	0	P32	Parcial	32	24	23	8
H32	Horista	32	32	31	0	P35	Parcial	35	26	25	9
H34	Horista	34	34	33	0	P38	Parcial	38	28	27	10
H36	Horista	36	36	35	0	P40	Parcial	40	30	29	10

Legenda: Tipo = Tipo do regime de trabalho
 TH = Total de Horas
 E = Carga horária destinada a ensino
 Em = Carga horária mínima destinada a ensino
 Compl = Carga horária complementar

De acordo com o plano de ofertas (TAB. 8), a demanda de horas a serem atendidas é de 284 horas semanais. Com base nas informações apresentadas, a solução ótima do modelo APRAC indica que a situação de custo mínimo operacional é de 364 horas, utilizando dez professores (TAB. 10).

TABELA 10
Solução ótima (inteira) do modelo APRAC

Código Regime de Trabalho	Nº Prof.	Horas de Ensino do Regime de Trabalho	Horas de Ensino Atendidas	Total Horas do Regime de Trabalho	Custo Total em Horas/Semana
H10	1	10	10	10	10
H36	1	36	36	36	36
H38	1	38	38	38	38
H40	3	40	120	40	120
I20	4	20	80	40	160
TOTAL	10		284		364

A solução do modelo APRAC pode ser entendida como um limite inferior para a alocação do quadro de horários para a instância correspondente. De fato, o APRAC não contempla restrições de indisponibilidade, área de atuação docente, distribuição de atividades e outras restrições típicas dos quadros de horários. No entanto, conforme apresentado (TAB. 10), se fosse possível escalonar dez professores nos regimes de trabalho correspondentes, cobrindo toda a demanda do quadro de ofertas, a solução para a alocação de professores seria ótima no ponto de vista custo e avaliação. Para exemplificar o oposto, suponha que fosse decidido cobrir o quadro de horários apenas com professores em tempo integral (ex. I20) com o propósito de facilitar a alocação. Nesse caso, o custo operacional seria 600 horas (15 professores com 40 horas semanais), que representaria um acréscimo de aproximadamente 65% além do custo mínimo operacional.

TABELA 11
Custos marginais dos regimes de trabalho - solução linear do APRAC

Código Regime de Trabalho	Custos Marginais						
H02	1.758,86	H20	925,71	H38	92,57	P19	644,14
H04	1.666,29	H22	833,14	H40	-	P22	686,57
H06	1.573,71	H24	740,57	I08	2.499,43	P24	594,00
H08	1.481,14	H26	648,00	I12	1.666,29	P27	636,43
H10	1.388,57	H28	555,43	I16	833,14	P30	678,86
H12	1.296,00	H30	462,86	I20	-	P32	586,29
H14	1.203,43	H32	370,29	P12	786,86	P35	628,71
H16	1.110,86	H34	277,71	P14	694,29	P38	536,14
H18	1.018,29	H36	185,14	P16	601,71	P40	578,57

Sendo assim, com base nas informações retornadas pela solução do modelo, mais os custos marginais⁸ associados a cada um dos regimes de trabalho (TAB. 11), dá-se então a criação da instância para ser resolvida pelo modelo de Alocação de Professores proposto. Pressupõe-se que algum sistema armazene informações diversas sobre professores e informações acadêmicas em geral, para que, a partir desse repositório, os dados sejam extraídos e dessa forma a instância do modelo seja gerada. As informações utilizadas para a geração das instâncias foi utilizada do modelo de dados apresentado na FIG. 4.

Foram considerados 24 professores capazes de cobrir as ofertas de disciplinas relacionadas no plano de oferta. Após serem verificadas as informações sobre o regime de trabalho atual do docente, a disponibilidade, a titulação, as publicações e produções

⁸ Custos marginais podem ser entendidos como o aumento do custo total quando diante do aumento de uma unidade do fator em questão.

Quanto menor a penalidade, mais chances o professor tem de participar da alocação. Teoricamente, se todos os professores fossem aptos a lecionar qualquer disciplina e estivessem disponíveis em todos os horários, os dez primeiros, de acordo com o resultado do APRAC, seriam certamente alocados. No entanto, trata-se de uma situação irreal. O QUADRO 9 mostra as informações de quais professores podem atender cada uma das ofertas de disciplinas.

QUADRO 9
Relação de ofertas de disciplinas afins aos professores

Prof.	Ofertas de Disciplinas	Total
P01	OF001; OF002; OF006; OF007; OF011; OF016; OF017; OF018; OF022; OF023; OF027; OF032; OF037; OF039; OF042; OF047; OF049; OF052; OF062;	19
P02	OF003; OF004; OF008; OF012; OF013; OF019; OF020; OF024; OF028; OF029; OF035; OF045; OF055; OF065;	14
P03	OF002; OF007; OF018; OF023; OF034; OF039; OF044; OF049; OF052; OF053; OF059; OF062; OF063; OF069;	14
P04	OF005; OF021; OF041; OF051;	4
P05	OF009; OF014; OF025; OF030; OF038; OF040; OF048; OF050;	8
P06	OF012; OF014; OF028; OF030;	4
P07	OF033; OF043;	2
P08	OF015; OF031; OF055; OF065;	4
P09	OF010; OF026; OF036; OF046; OF054; OF064;	6
P10	OF003; OF008; OF013; OF019; OF024; OF029; OF035; OF045; OF055; OF056; OF065; OF066;	12
P11	OF057; OF059; OF061; OF067; OF069; OF071;	6
P12	OF041; OF051; OF058; OF068;	4
P13	OF001; OF016; OF017; OF032; OF042; OF052; OF060; OF061; OF062; OF070; OF071;	11
P14	OF001; OF006; OF011; OF012; OF016; OF017; OF022; OF027; OF028; OF032; OF037; OF042; OF047;	13
P15	OF001; OF006; OF011; OF016; OF017; OF022; OF027; OF032; OF037; OF042; OF047; OF060; OF070;	13
P16	OF005; OF021; OF041; OF051; OF058; OF068;	6
P17	OF003; OF008; OF013; OF019; OF024; OF029; OF035; OF045; OF055; OF065;	10
P18	OF002; OF004; OF018; OF034; OF044; OF053; OF059; OF063; OF069;	9
P19	OF010; OF026; OF036; OF046; OF054; OF064;	6
P20	OF009; OF014; OF020; OF025; OF030; OF038; OF040; OF048; OF050;	9
P21	OF056; OF057; OF061; OF064; OF066; OF067; OF071;	7
P22	OF015; OF031;	2
P23	OF009; OF025; OF033; OF038; OF040; OF043; OF046; OF048; OF050;	9
P24	OF004; OF014; OF015; OF020; OF030; OF031; OF060; OF070;	8
Total		200

Além disso, os professores podem possuir períodos de indisponibilidade para serem alocados no quadro de horários. O QUADRO 10 mostra a indisponibilidade dos professores que poderão ser alocados.

QUADRO 10
Períodos de indisponibilidade dos professores

Professor	Período(s) de indisponibilidade
P01	as 6 ^a -feiras
P02	
P03	
P04	as 2 ^a -feiras
P05	as 4 ^a -feiras e no 2 ^o Horário Turno da Noite de 5 ^a -feira
P06	as 5 ^a -feiras
P07	as 4 ^a e 5 ^a -feiras e no 2 ^o Horário Turno da Noite de 6 ^a -feira
P08	as 2 ^a e 4 ^a -feiras e no 1 ^o Horário Turno da Manhã de 6 ^a -feira
P09	as 2 ^a -feiras
P10	
P11	as 5 ^a -feiras
P12	as 3 ^a -feiras e no 1 ^o Horário Turno da Manhã de 4 ^a -feira
P13	no 2 ^o Horário Turno da Noite de 2 ^a e 5 ^a -feiras
P14	as 6 ^a -feiras
P15	as 2 ^a , 4 ^a e 6 ^a -feiras
P16	
P17	no 2 ^o Horário Turno da Noite de 3 ^a , 5 ^a e 6 ^a -feiras
P18	
P19	as 2 ^a -feiras
P20	as 4 ^a -feiras
P21	as 5 ^a -feiras e no 2 ^o Horário Turno da Noite de 2 ^a -feira
P22	as 2 ^a , 3 ^a e 4 ^a -feiras
P23	
P24	as 2 ^a e 4 ^a -feiras

A partir dos dados, o modelo APU é instanciado e após ser resolvido por um *software* de otimização, obtém-se a solução final.

A solução final utilizou 19 dos 24 professores disponíveis, os quais atenderam às 284 horas semanais demandadas. O total de horas utilizado na alocação foi de 436 horas semanais, que representa um acréscimo de aproximadamente 19,8% em relação à carga horária total mínima apontada pelo APRAC. Outra observação importante é quanto ao atendimento do indicador regime de trabalho da avaliação institucional, obtendo conceito máximo e garantindo todas as exigências legais. O enquadramento de cada um dos professores pode ser visto na TAB. 13.

TABELA 13
Enquadramento dos professores na solução final

Professor	Regime de Trabalho	Horas Ensino	Total de Horas
P01	P38	28	38
P02	I20	20	40
P03	P32	24	32
P04	I12	12	40
P05	P38	28	38
P06	I16	16	40
P08	I16	16	40
P09	P22	16	22
P10	H18	18	18
P11	H16	16	16
P12	H04	4	4
P13	H08	8	8
P14	P16	12	16
P15	H16	16	16
P17	P14	10	14
P18	P22	16	22
P19	P12	8	12
P23	H08	8	8
P24	P12	8	12
Total		284	436

O quadro de distribuição de horas de ensino para cada um dos professores (TAB. 14) exhibe as informações da composição da carga horária total de cada professor de acordo com as ofertas de disciplina alocadas para o professor.

Por fim, basta gerar o quadro de horários final, no formato adequado para divulgação para a comunidade acadêmica, como por exemplo, o leiaute apresentado no QUADRO 11.

TABELA 14
Distribuição de horas de ensino final por professor

(Continua)

Oferta	Professores																		Total	
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P17	P18	P19	P23		P24
OF001	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF002	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF003	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF004	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF005	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
OF007	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	4
OF009	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF010	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4
OF012	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF013	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF014	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF015	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
OF017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4
OF018	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	6
OF020	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF021	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF022	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF023	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF024	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF025	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF026	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
OF028	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF029	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF030	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF031	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
OF033	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	4
OF034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	4
OF035	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF036	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF037	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4
OF038	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF039	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF040	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF041	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF042	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
OF043	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4
OF044	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4

TABELA 14
Distribuição de horas de ensino final por professor

(Conclusão)

Oferta	Professores																		Total	
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P17	P18	P19	P23		P24
OF045	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF046	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF047	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF048	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF049	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF050	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF051	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF052	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	4
OF054	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	4
OF055	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF056	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF057	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF059	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4
OF061	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF062	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF063	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	4
OF064	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	4
OF065	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF066	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF067	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF068	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF069	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	4
OF070	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4
OF071	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
Total	28	20	24	12	28	16	16	16	18	16	4	8	12	16	10	16	8	8	8	284

QUADRO 11
Quadro de horários final

(Continua)

Turno	Horário	Segunda		Terça		Quarta		Quinta		Sexta	
		Oferta	Detalhe	Oferta	Detalhe	Oferta	Detalhe	Oferta	Detalhe	Oferta	Detalhe
Manhã	1º Horário (7h00 - 8h40)	OF003	D: AEDS I T: 1º P. C.Computação(M) Prof: P10 - Sala: 101	OF001	D: Cálculo I T: 1º P. C.Computação(M) Prof: P01 - Sala: 101	OF003	D: AEDS I T: 1º P. C.Computação(M) Prof: P10 - Sala: 101	OF001	D: Cálculo I T: 1º P. C.Computação(M) Prof: P01 - Sala: 101	OF003	D: AEDS I T: 1º P. C.Computação(M) Prof: P10 - Sala: 101
		OF008	D: AEDS II T: 2º P. C.Computação(M) Prof: P17 - Sala: 102	OF006	D: Cálculo II T: 2º P. C.Computação(M) Prof: P15 - Sala: 102	OF008	D: AEDS II T: 2º P. C.Computação(M) Prof: P17 - Sala: 102	OF006	D: Cálculo II T: 2º P. C.Computação(M) Prof: P15 - Sala: 102	OF010	D: Leitura e Prod. de Textos T: 2º P. C.Computação(M) Prof: P09 - Sala: 102
		OF013	D: AEDS III T: 3º P. C.Computação(M) Prof: P02 - Sala: 103	OF011	D: Cálculo III T: 3º P. C.Computação(M) Prof: P14 - Sala: 103	OF013	D: AEDS III T: 3º P. C.Computação(M) Prof: P02 - Sala: 103	OF011	D: Cálculo III T: 3º P. C.Computação(M) Prof: P14 - Sala: 103	OF014	D: Intr. aos Sistemas Lógicos T: 3º P. C.Computação(M) Prof: P06 - Sala: 103
		OF033	D: Química Geral T: 1º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P23 - Sala: 104	OF034	D: Geometria Analítica T: 1º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P18 - Sala: 104	OF036	D: Leitura e Prod. de Textos T: 1º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P09 - Sala: 104	OF034	D: Geometria Analítica T: 1º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P18 - Sala: 104	OF033	D: Química Geral T: 1º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P23 - Sala: 104
		OF039	D: Álgebra Linear T: 2º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P03 - Sala: 105	OF038	D: Física I T: 2º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P05 - Sala: 105	OF039	D: Álgebra Linear T: 2º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P03 - Sala: 105	OF040	D: Circuitos Elétricos I T: 2º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P05 - Sala: 105	OF038	D: Física I T: 2º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P05 - Sala: 105
		OF052	D: Intr. à Aritmética e Álgebra T: 1º P. Matemática(M) Prof: P01 - Sala: 106	OF055	D: Matemática e Informática T: 1º P. Matemática(M) Prof: P08 - Sala: 106	OF052	D: Intr. à Aritmética e Álgebra T: 1º P. Matemática(M) Prof: P01 - Sala: 106	OF055	D: Matemática e Informática T: 1º P. Matemática(M) Prof: P08 - Sala: 106	OF054	D: Leitura e Prod. de Textos T: 1º P. Matemática(M) Prof: P19 - Sala: 106
		OF057	D: Estudo de Funções T: 2º P. Matemática(M) Prof: P11 - Sala: 107	OF059	D: Geometria Analítica I T: 2º P. Matemática(M) Prof: P03 - Sala: 107	OF057	D: Estudo de Funções T: 2º P. Matemática(M) Prof: P11 - Sala: 107	OF060	D: Matemática e Educação I T: 2º P. Matemática(M) Prof: P24 - Sala: 107	OF059	D: Geometria Analítica I T: 2º P. Matemática(M) Prof: P03 - Sala: 107
	2º Horário (9h00 - 10h40)	OF002	D: GAAL I T: 1º P. C.Computação(M) Prof: P01 - Sala: 101	OF005	D: Metodologia Científica T: 1º P. C.Computação(M) Prof: P04 - Sala: 101	OF002	D: GAAL I T: 1º P. C.Computação(M) Prof: P01 - Sala: 101	OF005	D: Metodologia Científica T: 1º P. C.Computação(M) Prof: P04 - Sala: 101	OF004	D: Intr. à C.Computação T: 1º P. C.Computação(M) Prof: P02 - Sala: 101
		OF007	D: Álgebra Linear T: 2º P. C.Computação(M) Prof: P03 - Sala: 102	OF009	D: Física para Computação T: 2º P. C.Computação(M) Prof: P05 - Sala: 102	OF007	D: Álgebra Linear T: 2º P. C.Computação(M) Prof: P03 - Sala: 102	OF010	D: Leitura e Prod. de Textos T: 2º P. C.Computação(M) Prof: P09 - Sala: 102	OF009	D: Física para Computação T: 2º P. C.Computação(M) Prof: P05 - Sala: 102
		OF012	D: Matemática Discreta T: 3º P. C.Computação(M) Prof: P06 - Sala: 103	OF014	D: Intr. aos Sistemas Lógicos T: 3º P. C.Computação(M) Prof: P06 - Sala: 103	OF012	D: Matemática Discreta T: 3º P. C.Computação(M) Prof: P06 - Sala: 103	OF015	D: TGA T: 3º P. C.Computação(M) Prof: P08 - Sala: 103	OF015	D: TGA T: 3º P. C.Computação(M) Prof: P08 - Sala: 103
		OF035	D: AEDS T: 1º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P02 - Sala: 104	OF032	D: Cálculo I T: 1º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P15 - Sala: 104	OF035	D: AEDS T: 1º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P02 - Sala: 104	OF032	D: Cálculo I T: 1º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P15 - Sala: 104	OF036	D: Leitura e Prod. de Textos T: 1º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P09 - Sala: 104
		OF040	D: Circuitos Elétricos I T: 2º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P05 - Sala: 105	OF037	D: Cálculo II T: 2º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P14 - Sala: 105	OF040	D: Circuitos Elétricos I T: 2º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P05 - Sala: 105	OF037	D: Cálculo II T: 2º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P14 - Sala: 105	OF041	D: Intr. ao Pens. Científico T: 2º P. Eng. Elétrica(M) Prof: P04 - Sala: 105
		OF053	D: Intr. à Geometria Plana T: 1º P. Matemática(M) Prof: P18 - Sala: 106	OF054	D: Leitura e Prod. de Textos T: 1º P. Matemática(M) Prof: P19 - Sala: 106	OF056	D: Tópicos Especiais T: 1º P. Matemática(M) Prof: P10 - Sala: 106	OF053	D: Intr. à Geometria Plana T: 1º P. Matemática(M) Prof: P18 - Sala: 106	OF056	D: Tópicos Especiais T: 1º P. Matemática(M) Prof: P10 - Sala: 106
		OF058	D: Filosofia T: 2º P. Matemática(M) Prof: P12 - Sala: 107	OF060	D: Matemática e Educação I T: 2º P. Matemática(M) Prof: P24 - Sala: 107	OF061	D: Trigonometria T: 2º P. Matemática(M) Prof: P11 - Sala: 107	OF057	D: Estudo de Funções T: 2º P. Matemática(M) Prof: P11 - Sala: 107	OF061	D: Trigonometria T: 2º P. Matemática(M) Prof: P11 - Sala: 107

QUADRO 11
Quadro de horários final

(Conclusão)

Turno	Horário	Segunda		Terça		Quarta		Quinta		Sexta	
		Oferta	Detalhe	Oferta	Detalhe	Oferta	Detalhe	Oferta	Detalhe	Oferta	Detalhe
Noite	1º Horário (19h00 - 20h40)	OF019	D: AEDS I T: 1º P. C.Computação(N) Prof: P17 - Sala: 101	OF016	D: Cálculo I T: 1º P. C.Computação(N) Prof: P13 - Sala: 101	OF019	D: AEDS I T: 1º P. C.Computação(N) Prof: P17 - Sala: 101	OF016	D: Cálculo I T: 1º P. C.Computação(N) Prof: P13 - Sala: 101	OF019	D: AEDS I T: 1º P. C.Computação(N) Prof: P17 - Sala: 101
				OF017	D: Cálculo I T: 1º P. C.Computação(N) (T. Esp.) Prof: P14 - Sala: 108			OF017	D: Cálculo I T: 1º P. C.Computação(N) (T. Esp.) Prof: P14 - Sala: 108		
		OF024	D: AEDS II T: 2º P. C.Computação(N) Prof: P02 - Sala: 102	OF022	D: Cálculo II T: 2º P. C.Computação(N) Prof: P01 - Sala: 102	OF024	D: AEDS II T: 2º P. C.Computação(N) Prof: P02 - Sala: 102	OF022	D: Cálculo II T: 2º P. C.Computação(N) Prof: P01 - Sala: 102	OF026	D: Leitura e Prod. de Textos T: 2º P. C.Computação(N) Prof: P09 - Sala: 102
		OF029	D: AEDS III T: 3º P. C.Computação(N) Prof: P23 - Sala: 103	OF027	D: Cálculo III T: 3º P. C.Computação(N) Prof: P15 - Sala: 103	OF029	D: AEDS III T: 3º P. C.Computação(N) Prof: P10 - Sala: 103	OF027	D: Cálculo III T: 3º P. C.Computação(N) Prof: P15 - Sala: 103	OF030	D: Intr. aos Sistemas Lógicos T: 3º P. C.Computação(N) Prof: P06 - Sala: 103
		OF043	D: Química Geral T: 1º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P23 - Sala: 104	OF044	D: Geometria Analítica T: 1º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P03 - Sala: 104	OF046	D: Leitura e Prod. de Textos T: 1º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P09 - Sala: 104	OF044	D: Geometria Analítica T: 1º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P03 - Sala: 104	OF043	D: Química Geral T: 1º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P23 - Sala: 104
		OF049	D: Álgebra Linear T: 2º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P03 - Sala: 105	OF048	D: Física I T: 2º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P05 - Sala: 105	OF049	D: Álgebra Linear T: 2º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P03 - Sala: 105	OF050	D: Circuitos Elétricos I T: 2º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P05 - Sala: 105	OF048	D: Física I T: 2º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P05 - Sala: 105
		OF062	D: Intr. à Aritmética e Álgebra T: 1º P. Matemática(N) Prof: P01 - Sala: 106	OF065	D: Matemática e Informática T: 1º P. Matemática(N) Prof: P08 - Sala: 106	OF062	D: Intr. à Aritmética e Álgebra T: 1º P. Matemática(N) Prof: P01 - Sala: 106	OF065	D: Matemática e Informática T: 1º P. Matemática(N) Prof: P08 - Sala: 106	OF064	D: Leitura e Prod. de Textos T: 1º P. Matemática(N) Prof: P19 - Sala: 106
		OF067	D: Estudo de Funções T: 2º P. Matemática(N) Prof: P11 - Sala: 107	OF069	D: Geometria Analítica I T: 2º P. Matemática(N) Prof: P18 - Sala: 107	OF067	D: Estudo de Funções T: 2º P. Matemática(N) Prof: P11 - Sala: 107	OF070	D: Matemática e Educação I T: 2º P. Matemática(N) Prof: P24 - Sala: 107	OF069	D: Geometria Analítica I T: 2º P. Matemática(N) Prof: P18 - Sala: 107
	2º Horário (21h00 - 22h40)	OF018	D: GAAL I T: 1º P. C.Computação(N) Prof: P03 - Sala: 101	OF021	D: Metodologia Científica T: 1º P. C.Computação(N) Prof: P04 - Sala: 101	OF018	D: GAAL I T: 1º P. C.Computação(N) Prof: P03 - Sala: 101	OF021	D: Metodologia Científica T: 1º P. C.Computação(N) Prof: P04 - Sala: 101	OF020	D: Intr. à C.Computação T: 1º P. C.Computação(N) Prof: P02 - Sala: 101
		OF023	D: Álgebra Linear T: 2º P. C.Computação(N) Prof: P01 - Sala: 102	OF025	D: Física para Computação T: 2º P. C.Computação(N) Prof: P05 - Sala: 102	OF023	D: Álgebra Linear T: 2º P. C.Computação(N) Prof: P01 - Sala: 102	OF026	D: Leitura e Prod. de Textos T: 2º P. C.Computação(N) Prof: P09 - Sala: 102	OF025	D: Física para Computação T: 2º P. C.Computação(N) Prof: P05 - Sala: 102
		OF028	D: Matemática Discreta T: 3º P. C.Computação(N) Prof: P06 - Sala: 103	OF030	D: Intr. aos Sistemas Lógicos T: 3º P. C.Computação(N) Prof: P06 - Sala: 103	OF028	D: Matemática Discreta T: 3º P. C.Computação(N) Prof: P06 - Sala: 103	OF031	D: TGA T: 3º P. C.Computação(N) Prof: P08 - Sala: 103	OF031	D: TGA T: 3º P. C.Computação(N) Prof: P08 - Sala: 103
		OF045	D: AEDS T: 1º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P02 - Sala: 104	OF042	D: Cálculo I T: 1º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P15 - Sala: 104	OF045	D: AEDS T: 1º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P02 - Sala: 104	OF042	D: Cálculo I T: 1º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P15 - Sala: 104	OF046	D: Leitura e Prod. de Textos T: 1º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P09 - Sala: 104
		OF050	D: Circuitos Elétricos I T: 2º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P05 - Sala: 105	OF047	D: Cálculo II T: 2º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P01 - Sala: 105	OF050	D: Circuitos Elétricos I T: 2º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P05 - Sala: 105	OF047	D: Cálculo II T: 2º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P01 - Sala: 105	OF051	D: Intr. ao Pens. Científico T: 2º P. Eng. Elétrica(N) Prof: P04 - Sala: 105
		OF063	D: Intr. à Geometria Plana T: 1º P. Matemática(N) Prof: P18 - Sala: 106	OF064	D: Leitura e Prod. de Textos T: 1º P. Matemática(N) Prof: P19 - Sala: 106	OF066	D: Tópicos Especiais T: 1º P. Matemática(N) Prof: P10 - Sala: 106	OF063	D: Intr. à Geometria Plana T: 1º P. Matemática(N) Prof: P18 - Sala: 106	OF066	D: Tópicos Especiais T: 1º P. Matemática(N) Prof: P10 - Sala: 106
		OF068	D: Filosofia T: 2º P. Matemática(N) Prof: P12 - Sala: 107	OF070	D: Matemática e Educação I T: 2º P. Matemática(N) Prof: P24 - Sala: 107	OF071	D: Trigonometria T: 2º P. Matemática(N) Prof: P13 - Sala: 107	OF067	D: Estudo de Funções T: 2º P. Matemática(N) Prof: P11 - Sala: 107	OF071	D: Trigonometria T: 2º P. Matemática(N) Prof: P13 - Sala: 107

4.6.4 - Interação entre Fases

As fases do processo ocorrem sequencialmente e periodicamente (por exemplo em um semestre). No entanto, pode-se assumir que existe uma interação entre as fases, visto que o problema de elaboração de quadros de horários tem um comportamento dinâmico.

Como por exemplo, após ter sido definido o plano de ofertas na primeira fase, por algum motivo, foi observado, na segunda fase, na construção do quadro de ofertas que uma determinada turma, se dividida, viabilizaria a utilização de um determinado laboratório de capacidade reduzida, evitando um conflito de horário em um laboratório maior que tem uso compartilhado, não necessitando portanto, construir outro. Nesse caso, a primeira fase foi revista e a divisão de tal turma foi considerada.

Outras situações podem ser observadas, por exemplo, entre a segunda e terceira fase. Suponha que apenas um professor entre todos os disponíveis para a alocação, na terceira fase, seja capaz de atender uma determinada oferta de disciplina. Sendo assim, considerando que o mesmo tem uma disponibilidade limitada, a definição do quadro de ofertas na segunda fase será influenciada por essa informação, restringindo, portanto, as possibilidades de posicionamento de tal oferta de disciplina no quadro de horários.

O aprendizado armazenado após iterações do processo, pode inclusive aprimorar as técnicas de realização das atividades. Apesar de existirem momentos de reavaliação dos resultados, o processo é sequencial e assume que existe um produto final de cada fase, sendo que o mesmo é utilizado como informação para o início da fase seguinte.

4.7 - Extensões ao exemplo - análises em outros cenários

Modificações no cenário dos dados de entrada podem implicar em mudanças nas soluções para as alocações nos quadros de horários. Abaixo são apresentadas situações hipotéticas para avaliar o impacto sobre a solução final, todas baseadas nos dados do exemplo anteriormente descrito, denominado EP (exemplo principal).

O exemplo E1 considera que existem 2 (dois) *campus* distintos onde as ofertas de disciplinas são realizadas. O exemplo E2 considera uma situação de evolução do corpo docente e conseqüente modificação nos parâmetros de entrada para a função objetivo a ser otimizada. O exemplo E3, mostra a situação que um professor possui pré-alocação em atividades complementares. Por fim, o exemplo E4 mostra o efeito de se ter uma maior disponibilidade dos professores para atendimento das ofertas de disciplinas.

4.7.1 - Exemplo E1 - Instituições com vários *campi*

De acordo com o QUADRO 11, o professor P01 atende, entre outras, as ofertas de disciplina OF002 e OF052. Ambas ocorrem nas segundas e quartas-feiras, no turno da manhã. A OF052 ocorre no 1º horário e a OF002 ocorre no 2º horário.

Considerando que a OF002, pertencente ao curso de Ciência da Computação, ocorre no campus C1 e que OF052, pertencente ao curso de Matemática, ocorre no campus C2, ocorre uma situação indesejada visto que o professor terá que deslocar entre dois *campi* dentro de um mesmo turno para lecionar as aulas correspondentes. No caso de uma IES possuir diversos *campi*, deve-se realizar a alocação de professores ao quadro de horários utilizando o modelo APM.

Considerando que os cursos de Ciência da Computação e Engenharia Elétrica estão no campus C1 e que o curso de Matemática está no campus C2, a partir das informações apresentadas no exemplo, obtêm-se a solução apresentada na TAB. 15.

TABELA 15
Enquadramento dos professores na solução final (E1)

Professor	Regime de Trabalho	Horas Ensino	Total de Horas
P01	P38	28	38
P02	I20	20	40
P03	P32	24	32
P04	I12	12	40
P05	P38	28	38
P06	I16	16	40
P08	I08	8	40
P09	P22	16	22
P10	H18	18	18
P12	H04	4	4
P13	P16	12	16
P14	H12	12	12
P15	H16	16	16
P17	P12	8	12
P18	P22	16	22
P19	P12	8	12
P21	H20	20	20
P23	H08	8	8
P24	P14	10	14
Total		284	444

A solução obtida tem mais horas no total (444 horas) que se o modelo fosse tratado com um único *campus* (436 horas). A TAB. 16 apresenta a alocação final das disciplinas. A partir das informações obtidas na solução, o quadro de horários final (QUADRO 11) deverá ser remontado com os novos dados.

TABELA 16
Distribuição de horas de ensino final por professor (E1)

(Continua)

Oferta	Professores																			Total
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P08	P09	P10	P12	P13	P14	P15	P17	P18	P19	P21	P23	P24	
OF001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
OF002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	4
OF003	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2
OF005	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF006	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF007	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
OF009	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF010	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4
OF012	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF013	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF014	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF015	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
OF017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	4
OF019	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF020	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF021	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF022	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF023	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
OF025	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF026	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4
OF028	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF029	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF030	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF031	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4
OF033	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4
OF034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	4
OF035	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF036	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF037	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF038	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF039	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF040	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF041	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF042	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
OF043	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4
OF044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	4

TABELA 16
Distribuição de horas de ensino final por professor (E1)

(Conclusão)

Oferta	Professores																		Total	
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P08	P09	P10	P12	P13	P14	P15	P17	P18	P19	P21	P23		P24
OF045	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF046	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF047	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
OF048	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF049	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF050	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF051	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF052	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF053	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF054	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	4
OF055	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF056	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	4
OF057	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	6
OF058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF059	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4
OF061	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF062	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF063	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF064	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	4
OF065	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF066	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	4
OF067	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	6
OF068	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF069	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF070	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4
OF071	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	4
Total	28	20	24	12	28	16	8	16	18	4	12	12	16	8	16	8	20	8	10	284

4.7.2 - Exemplo E2 - Evolução no Quadro Docente

De acordo com a evolução do corpo docente, novos cenários vão se construindo tal que os coeficientes da função objetivo do modelo para alocação de professores também vão se alterando. Uma nova qualificação do professor, uma nova contratação, uma expansão de cursos e outros eventos vão implicar em novas características do quadro docente.

Supondo que o professor P07 tenha terminado o doutorado, deixando, portanto, de ser um especialista. Logo, seu $f(i)$ que era 10 (TAB. 12) foi para 4. O professor P07 era o sexto na lista das menores penalidades $f(i)$. Com esse novo título acadêmico, o professor passou a ser o quarto.

Com essas novas informações a solução para o modelo APU é alterada e então o professor P07 passou a participar da alocação (TAB. 17).

TABELA 17
Enquadramento dos professores na solução final (E2)

Professor	Regime de Trabalho	Horas Ensino	Total de Horas
P01	P38	28	38
P02	I20	20	40
P03	H24	24	24
P04	I12	12	40
P05	P38	28	38
P06	I16	16	40
P07	I08	8	40
P08	I16	16	40
P09	P22	16	22
P10	H18	18	18
P12	H04	4	4
P13	H08	8	8
P14	H12	12	12
P15	H16	16	16
P17	P14	10	14
P18	P22	16	22
P19	P12	8	12
P21	H16	16	16
P24	P12	8	12
Total		284	456

O total de horas utilizados na solução foi de 456 que é maior que a solução obtida no primeiro cenário (436 horas). Esse crescimento se deu ao fato que a prioridade para alocação do professor P07 aumentou, mas, no entanto, sua capacidade de atendimento das ofertas de

disciplinas não. O professor P07 pode apenas atender as ofertas de disciplina OF033 e OF043 (QUADRO 9). Sendo assim, o modelo alocou o professor, mas, no entanto, a carga horária complementar do mesmo foi maior, implicando em um aumento da carga horária total resultante.

Por outro lado, a solução conta com mais um professor doutor, o que implica em um conceito no indicador titulação melhor. Obviamente, os pesos relativos a cada uma das características docentes podem ser alterados a fim de refletir os diversos interesses e particularidades das instituições. A alocação final dos professores às disciplinas é apresentado na TAB. 18.

A partir das informações obtidas na solução, o quadro de horários final (QUADRO 11) deverá ser remontado com os novos dados.

TABELA 18
Distribuição de horas de ensino final por professor (E2)

(Continua)

Oferta	Professores																		Total	
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P12	P13	P14	P15	P17	P18	P19	P21		P24
OF001	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF002	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	6
OF004	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF005	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4
OF007	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF009	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF010	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
OF012	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF013	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF014	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF015	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
OF017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4
OF018	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF020	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF021	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
OF023	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF024	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF025	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	4
OF027	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF028	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF029	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	4
OF030	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF031	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4
OF033	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	4
OF035	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF036	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF037	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
OF038	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF039	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF040	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF041	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF042	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
OF043	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	4

TABELA 18
Distribuição de horas de ensino final por professor (E2)

(Conclusão)

Oferta	Professores																		Total	
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P12	P13	P14	P15	P17	P18	P19	P21		P24
OF045	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF046	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF047	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF048	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF049	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF050	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF051	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF052	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	4
OF054	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	4
OF055	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF056	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF057	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	6
OF058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF059	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4
OF061	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
OF062	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF063	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	4
OF064	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF065	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF066	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF067	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	6
OF068	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF069	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF070	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4
OF071	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4
Total	28	20	24	12	28	16	8	16	16	18	4	8	12	16	10	16	8	16	8	284

4.7.3 - Exemplo E3 - Professores pré-allocados em atividades complementares

Suponha que o professor P01 foi indicado para participar de um projeto de pesquisa que vai alocá-lo por 16 horas semanais. Além disso, o professor foi também nomeado para assumir uma atividade administrativo-acadêmica de supervisão de laboratórios específicos, a qual irá alocá-lo por mais 8 horas semanais. Sendo assim, o professor P01 possui 24 horas semanais complementares pré-allocadas.

Na solução do EP (exemplo principal), o professor P01 foi alocado para atender a 7 (sete) ofertas de disciplina, totalizando 28 horas semanais envolvido em atividades de ensino. Visto que ele está pré-allocado em 24 horas semanais, o modelo APU poderá alocá-lo para até 16 horas semanais (aproximadamente 4 ofertas de disciplina) pois o limite máximo de carga horária semanal de um professor é 40 (quarenta). Sendo assim, algumas das ofertas que o professor atendia deverão ser alocadas para outros professores, de acordo o modelo.

Portanto, a partir do novo cenário, obtêm-se a solução apresentada na TAB. 19 e a alocação final dos professores às disciplinas é apresentado na TAB. 20.

TABELA 19
Enquadramento dos professores na solução final (E3)

Professor	Regime de Trabalho	Horas Ensino	Total de Horas
P01	I16	16	40
P02	I20	20	40
P03	H24	24	24
P04	I12	12	40
P05	P38	22	38
P06	I16	16	40
P08	I16	16	40
P09	P22	16	22
P10	H18	18	18
P11	P16	12	16
P12	H04	4	4
P13	H24	24	24
P14	H12	12	12
P15	H16	16	16
P17	P14	10	14
P18	P22	22	22
P19	P12	8	12
P23	H08	8	8
P24	P12	8	12
Total		284	442

O total de horas utilizados foi de 442 horas, maior que o valor da solução do primeiro cenário apresentado (436 horas). Esse aumento indica o custo associado à decisão de se alocar o professor P01 para as atividades complementares. Ao observar o resultado, um gestor poderia, por exemplo, alocar o professor apenas para a atividade de pesquisa (16 horas) e alocar um outro docente para a atividade de supervisão de laboratório. Então uma nova simulação poderia ser feita com o intuito de verificar os resultados obtidos, antes de homologar a alocação final a ser utilizada pela instituição.

A partir das informações obtidas na solução, o quadro de horários final (QUADRO 11) deverá ser remontado com os novos dados.

TABELA 20
Distribuição de horas de ensino final por professor (E3)

(Continua)

Oferta	Professores																			Total
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P17	P18	P19	P23	P24	
OF001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
OF002	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	6
OF004	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF005	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4
OF007	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF008	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF009	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	4
OF011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
OF012	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF013	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF014	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF015	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
OF017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
OF018	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF019	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF020	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF021	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4
OF023	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	4
OF025	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF026	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF027	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF028	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF029	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF030	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF031	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
OF033	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4
OF034	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF035	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF036	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF037	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4
OF038	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF039	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF040	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF041	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF042	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF043	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4
OF044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	4

TABELA 20
Distribuição de horas de ensino final por professor (E3)

(Conclusão)

Oferta	Professores																			Total
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P17	P18	P19	P23	P24	
OF045	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF046	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF047	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4
OF048	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF049	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF050	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF051	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF052	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
OF053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	4
OF054	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF055	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF056	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF057	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF059	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	4
OF060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4
OF061	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
OF062	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
OF063	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	4
OF064	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	4
OF065	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF066	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF067	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF068	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF069	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF070	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4
OF071	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
Total	16	20	24	12	28	16	16	16	18	12	4	24	12	16	10	16	8	8	8	284

4.7.4 - Exemplo E4 - Aumento na disponibilidade dos professores

Considerando a hipótese de que todo professor poderia atender qualquer disciplina, a solução da alocação de professores ocorreria de acordo com a solução apontada pelo modelo APRAC. No entanto, essa situação é irreal e não condiz com nenhuma diretriz de qualidade acadêmica aplicável na prática.

Normalmente, os professores possuem formação em áreas do conhecimento específicas e dessa forma, lecionam disciplinas específicas que normalmente possuem certa proximidade temática.

Observando o modelo, quanto mais ofertas de disciplinas os professores puderem em média atender, melhor será o resultado da alocação, visto que as atividades estarão concentradas em menos professores os quais terão uma maior carga horária. Quando o número de ofertas de disciplinas de um determinado tipo (mesma ementa) é pequeno, o aumento de carga horária de um determinado professor automaticamente implicará em muitos tipos de disciplinas sendo lecionadas pelo mesmo. Essa situação não é desejável observando aspectos de qualidade didático-pedagógica.

Por outro lado, existem disciplinas que são ofertadas diversas vezes, e em alguns casos, em diversos cursos. Nesse caso, o professor poderia atender mais disciplinas, pois todas seriam do mesmo tipo.

Logo, considerando hipoteticamente um aumento de 300 novas disponibilidades dos 24 professores para atenderem outras ofertas, obtêm-se uma nova solução para o problema de alocação. As novas disponibilidades de oferta são apresentadas no QUADRO 12 (são 300 a mais que o QUADRO 9). A partir dos novos dados, a solução da alocação de professores pelo modelo APU é apresentada na TAB. 21 e a alocação final dos professores às disciplinas é apresentada na TAB. 22.

A partir das informações obtidas na solução, o quadro de horários final (QUADRO 11) deverá ser remontado com os novos dados.

QUADRO 12
Relação de ofertas de disciplinas afins aos professores (E4)

Prof.	Ofertas de Disciplinas	Total
P01	OF001; OF002; OF006; OF007; OF011; OF012; OF016; OF017; OF018; OF022; OF023; OF027; OF028; OF032; OF034; OF037; OF039; OF042; OF044; OF047; OF049; OF052; OF053; OF059; OF060; OF061; OF062; OF063; OF069; OF070; OF071;	31
P02	OF002; OF003; OF004; OF007; OF008; OF012; OF013; OF014; OF018; OF019; OF020; OF023; OF024; OF028; OF029; OF030; OF035; OF039; OF045; OF049; OF052; OF055; OF056; OF057; OF062; OF065; OF066; OF067;	28
P03	OF001; OF002; OF006; OF007; OF011; OF012; OF016; OF017; OF018; OF022; OF023; OF027; OF028; OF032; OF034; OF037; OF039; OF042; OF044; OF047; OF049; OF052; OF053; OF055; OF059; OF060; OF061; OF062; OF063; OF065; OF069; OF070; OF071;	33
P04	OF005; OF010; OF021; OF026; OF036; OF041; OF046; OF051; OF054; OF058; OF064; OF068;	12
P05	OF003; OF008; OF009; OF013; OF014; OF019; OF024; OF025; OF029; OF030; OF033; OF035; OF038; OF040; OF043; OF045; OF048; OF050;	18
P06	OF002; OF003; OF007; OF008; OF012; OF013; OF014; OF018; OF019; OF023; OF024; OF028; OF029; OF030; OF035; OF039; OF045; OF049; OF052; OF057; OF062; OF067;	22
P07	OF009; OF025; OF033; OF038; OF040; OF043; OF048; OF050;	8
P08	OF015; OF031; OF055; OF065; OF070;	5
P09	OF005; OF010; OF021; OF026; OF036; OF041; OF046; OF051; OF054; OF058; OF064; OF068;	12
P10	OF003; OF004; OF008; OF009; OF013; OF014; OF019; OF020; OF024; OF025; OF029; OF030; OF033; OF035; OF038; OF040; OF043; OF045; OF048; OF050; OF055; OF056; OF065; OF066;	24
P11	OF001; OF002; OF006; OF007; OF011; OF012; OF016; OF017; OF018; OF022; OF023; OF027; OF028; OF032; OF034; OF037; OF039; OF042; OF044; OF047; OF049; OF052; OF053; OF057; OF059; OF061; OF062; OF063; OF067; OF069; OF071;	31
P12	OF005; OF010; OF015; OF021; OF026; OF031; OF036; OF041; OF046; OF051; OF054; OF058; OF064; OF068;	14
P13	OF001; OF002; OF006; OF007; OF011; OF012; OF016; OF017; OF018; OF022; OF023; OF027; OF028; OF032; OF034; OF037; OF039; OF042; OF044; OF047; OF049; OF052; OF053; OF059; OF060; OF061; OF062; OF063; OF069; OF070; OF071;	31
P14	OF001; OF002; OF006; OF007; OF011; OF012; OF016; OF017; OF018; OF022; OF023; OF027; OF028; OF032; OF034; OF037; OF039; OF042; OF044; OF047; OF049; OF052; OF053; OF056; OF057; OF059; OF062; OF063; OF066; OF067; OF069;	31
P15	OF001; OF002; OF006; OF007; OF011; OF012; OF016; OF017; OF018; OF022; OF023; OF027; OF028; OF032; OF034; OF037; OF039; OF042; OF044; OF047; OF049; OF052; OF053; OF056; OF059; OF060; OF062; OF063; OF066; OF069; OF070;	31
P16	OF005; OF010; OF021; OF026; OF036; OF041; OF046; OF051; OF054; OF058; OF064; OF068;	12
P17	OF003; OF004; OF008; OF013; OF019; OF020; OF024; OF029; OF035; OF045; OF055; OF065;	12
P18	OF001; OF002; OF003; OF004; OF006; OF007; OF008; OF011; OF012; OF013; OF016; OF017; OF018; OF019; OF020; OF022; OF023; OF024; OF027; OF028; OF029; OF032; OF034; OF035; OF037; OF039; OF042; OF044; OF045; OF047; OF049; OF052; OF053; OF059; OF062; OF063; OF069;	37
P19	OF005; OF010; OF015; OF021; OF026; OF031; OF036; OF041; OF046; OF051; OF054; OF058; OF064; OF068;	14
P20	OF003; OF008; OF009; OF013; OF014; OF019; OF020; OF024; OF025; OF029; OF030; OF033; OF035; OF038; OF040; OF043; OF045; OF048; OF050;	19
P21	OF002; OF005; OF007; OF010; OF012; OF018; OF021; OF023; OF026; OF028; OF036; OF039; OF041; OF046; OF049; OF051; OF052; OF054; OF056; OF057; OF058; OF061; OF062; OF064; OF066; OF067; OF068; OF071;	28
P22	OF015; OF031;	2
P23	OF005; OF009; OF010; OF021; OF025; OF026; OF033; OF036; OF038; OF040; OF041; OF043; OF046; OF048; OF050; OF051; OF054; OF058; OF064; OF068;	20
P24	OF003; OF004; OF008; OF009; OF013; OF014; OF015; OF019; OF020; OF024; OF025; OF029; OF030; OF031; OF033; OF035; OF038; OF043; OF045; OF048; OF050; OF056; OF060; OF066; OF070;	25
Total		500

TABELA 21
Enquadramento dos professores na solução final (E4)

Professor	Regime de Trabalho	Horas Ensino	Total de Horas
P01	H40	40	40
P02	P40	30	40
P03	H32	32	32
P04	I16	16	40
P05	P38	28	38
P06	I20	20	40
P07	I20	20	40
P08	I16	16	40
P09	P19	14	19
P11	H08	8	8
P13	H08	8	8
P14	P16	12	16
P18	H30	30	30
P21	H10	10	10
Total		284	401

TABELA 22
Distribuição de horas de ensino final por professor

(Continua)

Oferta	Professores														Total
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P11	P13	P14	P18	P21	
OF001	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4
OF003	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF004	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF005	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4
OF007	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4
OF009	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF010	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
OF011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	4
OF012	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF013	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF014	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF015	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4
OF016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	4
OF017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4
OF018	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	6
OF020	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF021	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
OF022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	4
OF023	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF024	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF025	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4
OF027	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF028	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF029	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF030	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF031	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4
OF032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4
OF033	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
OF034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	4
OF035	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF036	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
OF037	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF038	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF039	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF040	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	6
OF041	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF042	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4
OF043	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
OF044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	4

TABELA 22
Distribuição de horas de ensino final por professor

(Conclusão)

Oferta	Professores														Total
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P12	P13	P14	P15	
OF045	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF046	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF047	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF048	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF049	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF050	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	6
OF051	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2
OF052	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF053	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF054	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4
OF055	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4
OF056	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	4
OF057	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2
OF059	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF060	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF061	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF062	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF063	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF064	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF065	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4
OF066	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	4
OF067	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	6
OF068	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
OF069	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF070	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
OF071	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
Total	40	30	32	16	28	20	20	16	14	8	8	12	30	10	284

4.8 - Indicadores do Processo de Alocação de Professores

Para facilitar a análise do resultado final da alocação de professores, deverão ser considerados alguns indicadores que permitem avaliar a eficiência de uma solução em relação aos indicadores referenciais apresentados pelo APRAC. São eles:

1. CHT – Carga Horária Total da Alocação: é a carga horária total da alocação, sendo que CHT é a soma da carga horária de ensino (CHE) e da carga horária complementar (CPL), para cada um dos professores alocados, onde o total de carga horária de ensino semanal é a soma de todas as ofertas de disciplinas a serem atendidas;
2. CPL – Carga Horária Complementar da Alocação: é a carga horária complementar total de acordo com o enquadramento nos regimes de trabalho de cada um dos professores alocados;
3. NP – Número de Professores Alocados: número total de professores participantes da alocação;
4. NTI – Número de Professores em Regime Tempo Integral: número total de professores participantes da alocação em regime de trabalho tempo integral.

Para avaliar uma alocação, define-se o índice IEA (Índice de Eficiência da Alocação). O IEA é definido como a distância percentual que uma alocação está em relação à alocação ótima definida no APRAC, por meio do indicador CHTM (carga horária total mínima), apresentado na seção 3.5.1. A rigor,

$$IEA = \frac{CHT}{CHTM} - 100\%$$

Quanto menor for o índice IEA do quadro final de alocação, mais eficiente é a alocação. Se o IEA for zero, significa que a instituição consegue ter sua alocação exatamente atingindo o valor de CHTM. Apesar de apontar eficiência, o IEA não pode ser considerado simplesmente o objetivo a ser minimizado. Isso porque existem diversos outros aspectos associados ao problema que não podem ser ignorados e que não se relacionam diretamente com o indicador CHTM. No entanto, a função objetivo para os modelos apresentados traz informações sobre a solução ótima do APRAC, o que tenta aproximar a solução do limite inferior definido pelo mesmo.

4.8.1 - Avaliação dos Exemplos

A TAB. 23 apresenta um quadro comparativo dos indicadores do processo de alocação de professores e dos indicadores referenciais obtidos com o modelo APRAC.

TABELA 23
Avaliação dos Exemplos

Indicador	Valor Referência	EXEMPLO				
		EP	E1	E2	E3	E4
CHE	284	284	284	284	284	284
CPL	80	152	160	172	158	117
%CPL/CHT	22,0%	34,9%	36,0%	37,7%	35,7%	29,2%
CHT	364	436	444	456	442	401
IEA	0,0%	19,8%	22,0%	25,3%	21,4%	10,2%
NP	10	19	19	19	19	14
CHE/NP	28,4	14,9	14,9	14,9	14,9	20,3
CHT/NP	36,4	22,9	23,4	24,0	23,3	28,6
NTI	4	4	4	5	5	4
%NTI/NP	20%	21%	21%	26%	26%	29%
NRT	30	30	30	30,53	30,53	30

Legenda: CHE – Carga Horária de Ensino
CPL – Carga Horária Complementar
CHT – Carga Horária Total
IEA – Índice de Eficiência da Alocação
NP – Número de Professores
NTI – Número de Professores em Tempo Integral
NRT – Nota do Indicador Regime de Trabalho [7]

A partir dos dados observados pode ser percebido que quanto maior é a média de carga horária por professor melhor é o índice IEA da solução. No caso, o melhor IEA obtido foi para o exemplo E4, visto que foi possível alocar mais ofertas de disciplinas aos professores de um modo geral. Em um ambiente prático, pode ser que não seja possível atingir a média de 20,3 horas de ensino por professor (CHE/NP) devido a configuração das disponibilidades dos professores, as áreas de conhecimento relacionadas a cada um e em alguns casos, as diretrizes pedagógicas definidas. No entanto, esse valor está fortemente relacionado a um baixo IEA.

Outra observação interessante sobre os resultados é que o número de professores não variou para os primeiros exemplos. Isso porque a disponibilidade dos professores não havia modificado. Sendo assim o modelo realizou a alocação de forma que as alterações ocorridas

se concentraram no enquadramento do regime de trabalho, mantendo a média de carga horária de ensino por professor (CHE/NP) inalterada.

Analisando o indicador NRT e o indicador %NTI/NP, os quais correspondem as restrições do modelo, pode-se observar que as soluções foram limitadas pela restrição correspondente ao indicador Regime de Trabalho, como esperado (GRAF. 9). Para os centros universitários, a exigência legal define um mínimo de 20% de professores em tempo integral. Essa restrição foi em todos os casos atendida com folga. Já para o indicador Regime de Trabalho, observando NRT, pode-se perceber que a restrição foi atendida sem folga na maioria dos casos.

No ambiente prático, a alocação final dos professores dependerá do cenário de cada instituição. As prioridades, metas e objetivos vão alterar as referências para atuação do modelo de alocação proposto. Instituições que tenham como objetivo apenas atender a demanda com baixa qualidade e com custos reduzidos, podem ignorar o desejo por conceitos melhores assim como também não selecionarem professores especialistas, preferindo professores generalistas que tem a possibilidade de atender diversas disciplinas. Nesse caso, o IEA do seu quadro de alocação de professores deveria ser o mínimo. Por outro lado, instituições que pleiteiam altos níveis de qualidade, assumindo custos e investimentos correspondentes, podem se balizar em uma reputação no meio acadêmico que irá garantir, mesmo em longo prazo, uma demanda de alunos capaz de manter sua estrutura.

Portanto, a solução final da alocação dos professores dependerá do contexto de cada instituição, a qual irá definir critérios pedagógicos para a possibilidade de alocação de professores, a definição dos critérios para a formação da função objetivo e as metas de qualidade e custo que se deseja alcançar.

4.9 - Método de Resolução

Existem vários métodos para resolução de modelos de programação linear inteira. Baseados em programação linear, os diversos métodos são aplicáveis a situações específicas, dependendo de como o conjunto de restrições do problema está disposto.

O conjunto de restrições define uma região viável, chamada de poliedro. Os pontos extremos desse poliedro são as soluções para o problema. Cabe ao método encontrar os pontos extremos que correspondem à solução ótima.

O algoritmo *branch-and-bound* consiste em um método exato para a resolução de problemas de programação linear inteira. O método consegue realizar podas na árvore de soluções, evitando explorar nodos desnecessários. Por isso, mesmo para instâncias relativamente grandes o método é capaz de encontrar a solução ótima para o problema. O *branch-and-bound*, assim como o método Simplex, é implementado em diversos pacotes de otimização comerciais. Nesse estudo, foi usado o pacote comercial CPLEX [34], em conjunto com a linguagem de programação matemática AMPL [28]. A partir do ambiente AMPL, é feita uma chamada ao resolvidor CPLEX, o qual resolve o problema e retorna a solução ótima.

Para se gerar instâncias para o problema, foi criado um repositório de dados, utilizando o banco de dados MS Acess. Além disso, foram criados programas desenvolvidos na linguagem de programação Visual Basic que a partir dos dados armazenados no banco, geram instâncias do problema.

4.10 - Testes Realizados

Os testes foram realizados em instâncias de diversos tamanhos. Foram utilizados computadores Pentium IV com 1 Gb de memória RAM. A partir de observações realizadas durante a execução do *branch-and-bound* do CPLEX, pode-se constatar que o problema tende a convergir para o valor mínimo da função objetivo com uma certa rapidez, mas o *gap*, que é a distância da melhor solução obtida para o limite inferior computado pelo algoritmo, converge lentamente a partir de um certo ponto. Para instâncias menores, o algoritmo encontra a solução ótima (*gap* igual a zero) em um tempo baixo, com poucas iterações. O GRAF. 10 demonstra a evolução do *gap* para uma instância com 225 professores e 128 ofertas de disciplina (APU = 3.958 variáveis e 1.289 restrições; APM = 5.074 variáveis e 3.521 restrições). Como o APM é maior, o algoritmo precisa de mais iterações para computar a solução ótima, mas para os dois modelos, o comportamento é muito parecido.

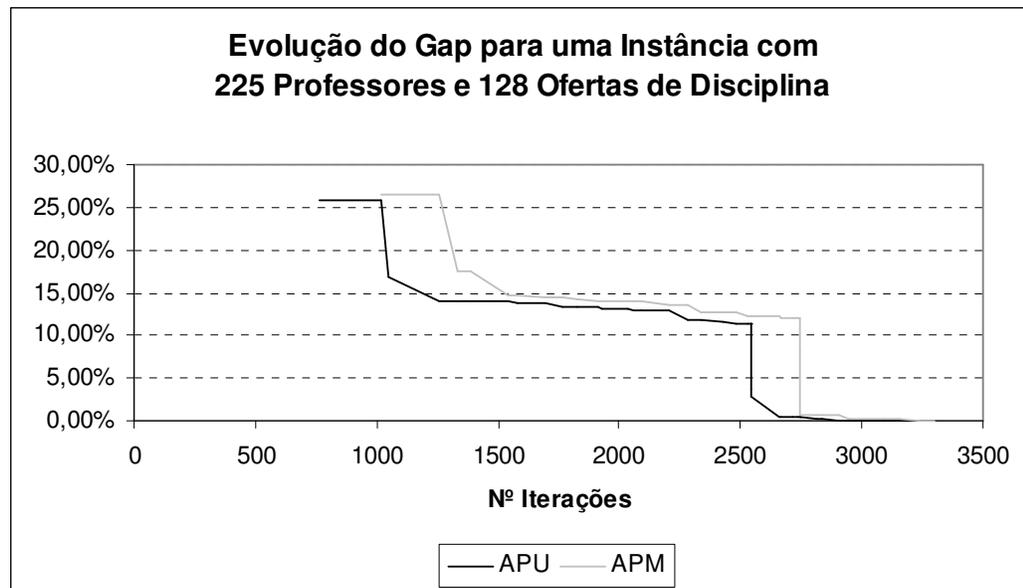


GRÁFICO 10 - Evolução do *gap* para uma instância pequena
Legenda: APU – Modelo de Alocação de Professores Único Campus
APM – Modelo de Alocação de Professores *Multicampi*

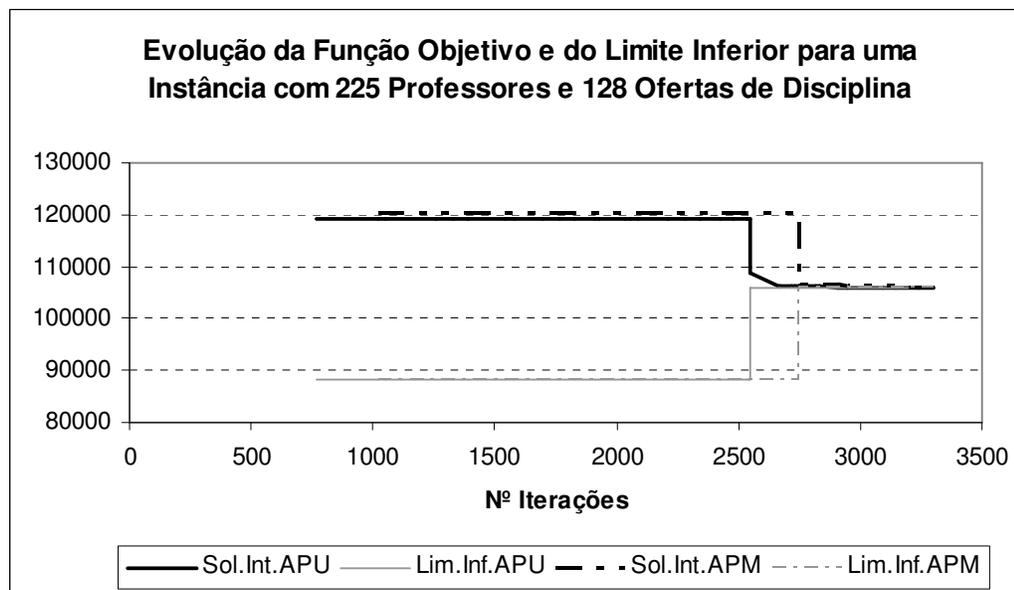


GRÁFICO 11 - Evolução da função objetivo e do limite inferior para uma instância pequena

Legenda: APU – Modelo de Alocação de Professores Único Campus
 APM – Modelo de Alocação de Professores *Multicampi*
 Sol.Int. – Melhor Solução Inteira
 Lim.Inf – Limite Inferior

No entanto, para uma instância maior, o *gap* diminui lentamente, sem melhorias no valor da função objetivo, ou seja, apenas com o aumento do limite inferior. Por essa característica, e por ser um problema combinatório, a execução do modelo com um *gap* positivo não prejudica o método exato, sendo que a solução final tem uma garantia de aproximação da solução ótima, que para essa abordagem, é satisfatório. O GRAF. 12 demonstra a evolução do *gap* para uma instância com 358 professores e 614 ofertas de disciplina (9.754 variáveis e 2.790 restrições) executando o modelo APU. Pode-se observar que a partir de cerca de 10.000.000 iterações, o valor da função objetivo (GRAF. 13) não teve melhora e a diminuição do *gap* se deu a partir do aumento do limite inferior, resultado da exploração exaustiva de nós da árvore *branch-and-bound* no espaço de soluções do problema. Sendo assim, a execução dos modelos utilizando um *gap* positivo, pode ser útil pois permite diminuir o esforço computacional e conseqüentemente o tempo de resolução do problema. Dessa forma, é possível resolver o modelo em tempos aceitáveis (limitado a um dia) sem prejuízos na qualidade da solução, tornando essa tarefa viável no ambiente prático.

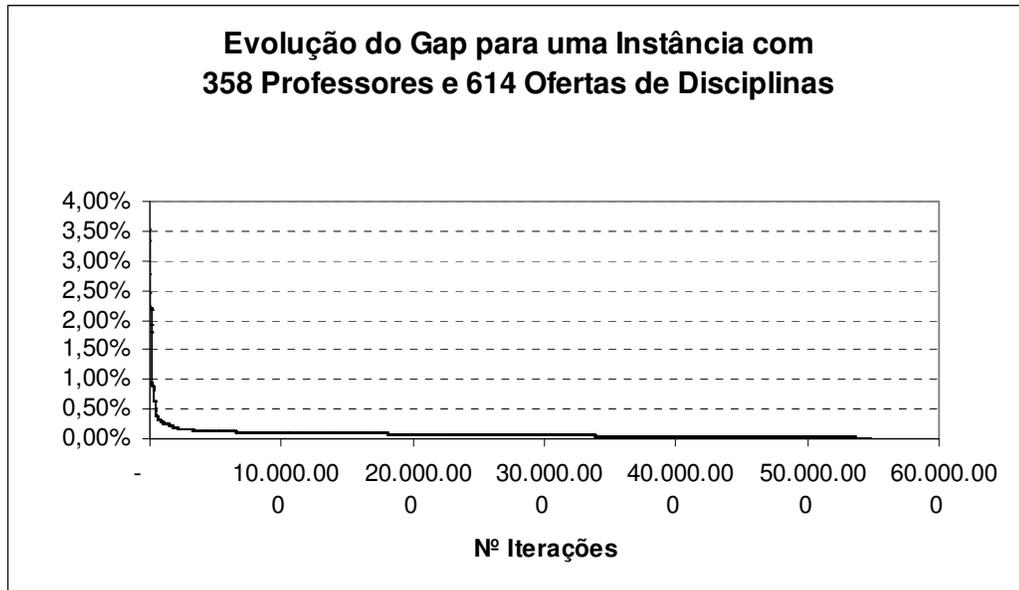


GRÁFICO 12 - Evolução do *gap* para uma instância maior

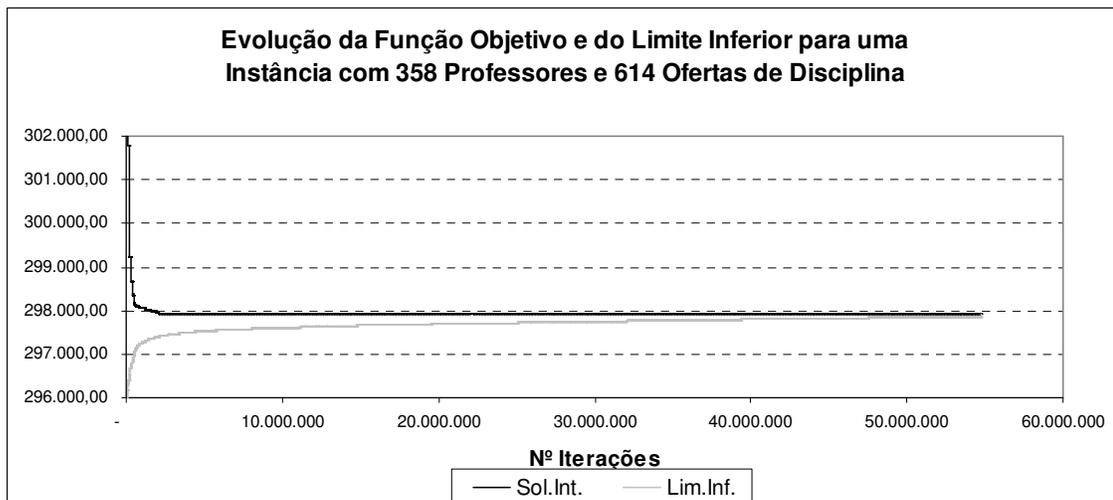


GRÁFICO 13 - Evolução da função objetivo e do limite inferior para uma instância maior

Legenda: Sol.Int. – Melhor Solução Inteira
 Lim.Inf – Limite Inferior

Para os testes realizados foi considerado um *gap* de 0,01% para todas as simulações. Os testes foram divididos em três baterias. A primeira bateria foi realizada afim de comparar os resultados dos modelos APM e APU em instâncias iguais, de uma instituição do tipo centro universitário, atuando com o conceito 5. A TAB. 24 exhibe as instâncias utilizadas na primeira bateria de testes e a TAB. 25 exhibe os resultados computacionais.

TABELA 24
Instâncias da primeira bateria de testes

Instância	C	P	O	NV	NR	NVP	NRP
1.01	1	68	20	2.591	2.402	537	303
1.02	2	225	128	9.189	8.005	3.958	1.289
1.03	3	291	188	11.957	10.375	5.156	1.640
1.04	4	330	457	14.142	12.009	7.603	2.133
1.05	5	358	614	16.192	13.146	9.754	2.790
1.06	6	404	697	18.478	14.839	11.398	3.173
1.07	7	421	830	19.544	15.567	12.695	3.499
1.08	8	456	912	21.068	16.874	13.630	3.731
1.09	9	463	981	21.905	17.188	14.557	4.072
1.10	10	473	1.010	22.341	17.567	14.682	4.116
1.11	11	507	1.082	23.969	18.829	16.299	4.504

Legenda: C – Número de cursos abrangidos (referência)
P – Número de professores disponíveis para a alocação
O – Número de ofertas de disciplinas a serem alocadas
NV – Número de variáveis da instância
NR – Número de restrições da instância
NVP – Número de variáveis após pré-processamento
NRP – Número de restrições após pré-processamento

TABELA 25
Resultados computacionais da primeira bateria de testes

Instância	Solução		# Iterações MIP Simplex		# Nós B&B	
	APU	APM	APU	APM	APU	APM
1.01	G	G	70	89	-	-
1.02	G	G	2.486	2.956	10	-
1.03	G	G	1.319.957	5.265	142.375	180
1.04	G	G	9.553.020	7.332	490.218	160
1.05	G	G	254.136	966.872	16.960	36.000
1.06	T	G	25.194.943	27.377	692.070	960
1.07	T	G	25.833.540	12.831.563	756.171	592.941
1.08	G	G	11.686.462	70.770	661.875	4.000
1.09	G	T	412.895	22.055.477	21.000	295.427
1.10	G	T	316.156	14.232.067	9.000	212.952
1.11	G	T	703.010	22.718.477	38.000	316.168

Legenda: G – Processamento com solução ótima com *gap* de 0,01%
T – Processamento com solução inteira após tempo limite de 36.000 segundos
B&B – Branch-and-bound

TABELA 26

Resultados dos indicadores do processo de alocação de professores da primeira bateria de testes

Instância	CHE	CHT		%CPL/CHT		CHTM	IEA		NP		NPM	CHE/NP		CHT/NP		NTI		NTIM	%NTI/NP		NRT	
		APU	APM	APU	APM		APU	APM	APU	APM		APU	APM	APU	APM	APU	APM		APU	APM	APU	APM
1.01	78	194	194	59,8%	59,8%	107	81,3%	81,3%	12	12	3	6,5	6,5	16,17	16,17	3	3	1	25,0%	25,0%	30,8	30,8
1.02	492	786	790	37,4%	37,7%	627	25,4%	26,0%	39	39	16	12,62	12,62	20,15	20,26	9	9	6	23,0%	23,0%	30,3	30,3
1.03	668	1.069	1.047	37,5%	36,2%	854	25,2%	22,6%	55	55	22	12,15	12,15	19,44	19,04	12	11	8	22,0%	20,0%	30,0	30,2
1.04	1.380	2.055	2.054	32,9%	32,8%	1.734	18,5%	18,5%	99	99	44	13,94	13,94	20,76	20,75	20	20	17	20,0%	20,0%	30,0	30,0
1.05	1.796	2.641	2.640	32,0%	32,0%	2.254	17,2%	17,1%	121	121	57	14,84	14,84	21,83	21,82	25	25	22	21,0%	21,0%	30,1	30,1
1.06	1.980	3.022	3.005	34,5%	34,1%	2.480	21,9%	21,2%	144	144	62	13,75	13,75	20,99	20,87	32	31	25	22,0%	22,0%	30,0	30,1
1.07	2.370	3.519	3.515	32,7%	32,6%	2.980	18,1%	18,0%	167	167	75	14,19	14,19	21,07	21,05	34	34	30	20,0%	20,0%	30,0	30,0
1.08	2.690	4.007	4.013	32,9%	33,0%	3.380	18,6%	18,7%	188	189	85	14,31	14,23	21,31	21,23	40	40	34	21,0%	21,0%	30,0	30,0
1.09	2.958	4.371	4.410	32,3%	32,9%	3.707	17,9%	19,0%	200	203	93	14,79	14,57	21,86	21,72	44	44	37	22,0%	22,0%	30,0	30,0
1.10	3.058	4.575	4.593	33,2%	33,4%	3.827	19,5%	20,0%	213	217	96	14,36	14,09	21,48	21,17	46	48	38	22,0%	22,0%	30,0	30,0
1.11	3.342	4.999	5.006	33,2%	33,2%	4.200	19,0%	19,2%	236	236	105	14,16	14,16	21,18	21,21	50	52	42	21,0%	22,0%	30,0	30,0

Legenda: APU – Modelo de Alocação de Professores Único Campus
 APM – Modelo de Alocação de Professores *Multicampi*
 CHE – Carga Horária de Ensino
 CPL – Carga Horária Complementar
 CHT – Carga Horária Total
 IEA – Índice de Eficiência da Alocação
 NP – Número de Professores
 NTI – Número de Professores em Tempo Integral
 NRT – Nota do Indicador Regime de Trabalho [7]

A TAB. 26 traz comparações dos resultados com alguns indicadores do processo de alocação de professores. Analisando os dados apresentados pode-se observar que o IEA decresce à medida que a dimensão da instância cresce. Isso se deve ao fato de existirem mais professores aptos a assumir as ofertas de disciplinas a serem alocadas, propiciando uma melhor alocação de professores. No entanto, a carga horária de ensino por professor (CHE/NP) não passou de 15, o que significa que o corpo docente tem pouca disponibilidade para atendimento de ofertas de disciplinas. Um possível aumento da carga horária de ensino média por professor, bem como a carga horária total média por professor, implicaria em um melhor IEA para a alocação. Outra observação é que quando o problema foi tratado como *multicampi*, pouco se alterou o número de professores utilizados na solução, ou seja, o resultado da alocação praticamente não foi alterado.

A segunda bateria de testes foi realizada com objetivo de analisar as variações na solução para tipos diferentes de instituição. Então foi utilizado o modelo APU para as modalidades universidade, centro universitário e faculdade. Foi considerado que o conceito deveria ser máximo, ou seja, conceito 5. A TAB. 27 exhibe as instâncias utilizadas na segunda bateria de testes e a TAB. 28 exhibe os resultados computacionais.

TABELA 27
Instâncias da segunda bateria de testes

Instância	C	P	O	NV	NR	NVP	NRP
2.01	1	198	108	8.074	7.040	3.471	1.158
2.02	2	214	104	8.715	7.596	4.141	1.205
2.03	3	260	212	11.317	9.314	7.633	1.935
2.04	4	288	223	12.430	10.305	7.864	2.058
2.05	5	298	258	13.208	10.690	9.104	2.419
2.06	6	422	605	19.613	15.377	14.402	4.156
2.07	7	441	722	24.241	16.159	18.650	5.101
2.08	8	478	782	25.965	17.514	19.800	5.375
2.09	9	568	1.051	30.688	20.933	23.506	6.388
2.10	10	609	1.208	33.461	22.525	25.739	7.161
2.11	11	632	1.322	35.151	23.444	27.101	7.556
2.12	12	687	1.405	37.890	25.452	28.782	8.041
2.13	13	713	1.538	39.490	26.495	30.198	8.498
2.14	14	767	1.620	41.826	28.467	31.249	8.916
2.15	15	799	1.757	43.731	29.724	32.934	9.463
2.16	17	834	1.855	45.816	31.047	34.114	9.954
2.17	18	864	2.015	47.993	32.257	35.923	10.490
2.18	19	890	2.110	49.393	33.262	36.883	10.757
2.19	20	904	2.150	50.231	33.792	37.279	10.912
2.20	21	929	2.222	51.649	34.739	38.142	11.197

Legenda: C – Número de cursos abrangidos (referência)
P – Número de professores disponíveis para a alocação
O – Número de ofertas de disciplinas a serem alocadas
NV – Número de variáveis da instância
NR – Número de restrições da instância
NVP – Número de variáveis após pré-processamento
NRP – Número de restrições após pré-processamento

TABELA 28
Resultados computacionais da segunda bateria de testes

Instância	Solução			# Iterações MIP Simplex			# Nós B&B		
	U5	C5	F5	U5	C5	F5	U5	C5	F5
2.01	G	G	G	2.104	2.009	166.429	-	10	19.007
2.02	G	G	G	6.227.449	24.201.004	1.078.114	525.162	2.211.023	120.929
2.03	G	G	G	29.123.131	11.286.603	7.134.331	1.206.408	509.978	1.266.110
2.04	T	G	G	18.575.873	14.746.250	10.231.490	1.033.294	1.199.918	1.264.382
2.05	G	G	G	7.742.229	18.482.775	7.722.237	1.171.536	1.092.955	1.142.196
2.06	G	G	G	1.738.545	2.998.524	10.852.889	158.000	169.000	772.917
2.07	G	G	G	496.162	15.441.441	49.601	25.000	293.000	640
2.08	G	G	G	52.794	1.761.650	99.357	2.000	41.150	2.160
2.09	G	E	G	1.365.142	-	59.678	59.000	-	880
2.10	G	G	G	4.048.603	1.455.612	244.744	142.400	47.910	6.440
2.11	G	E	G	498.653	-	775.386	24.400	-	27.200
2.12	G	E	G	166.122	-	351.891	6.080	-	15.680
2.13	G	G	G	2.890.951	4.075.383	655.709	199.000	99.450	25.333
2.14	E	G	G	-	12.554.331	4.640.976	-	320.000	164.610
2.15	G	G	E	2.073.579	6.924.915	-	137.000	177.990	-
2.16	G	E	G	9.557.324	-	442.838	300.531	-	13.520
2.17	G	E	G	4.044.434	-	2.561.705	157.530	-	61.030
2.18	G	G	G	1.682.610	7.373.308	3.086.945	80.030	176.882	69.000
2.19	E	E	G	-	-	1.805.745	-	-	73.152
2.20	G	E	G	4.834.821	-	5.061.204	239.940	-	162.000

Legenda: G – Processamento com solução ótima com *gap* de 0,01%
T – Processamento com solução inteira após tempo limite de 36.000 segundos
E – Processamento interrompido com erro do resolvidor
B&B – Branch-and-bound
U5 – Universidade (Conceito 5)
C5 – Centro Universitário (Conceito 5)
F5 – Faculdade (Conceito 5)

TABELA 29
Resultados dos indicadores do processo de alocação de professores da segunda bateria de testes

(Continua)

Instância	CHE	CHT			%CPL/CHT			CHTM			IEA			NP			NPM		
		U5	C5	F5	U5	C5	F5	U5	C5	F5	U5	C5	F5	U5	C5	F5	U5	C5	F5
2.01	414	760	618	625	45,5%	33,0%	33,8%	600	534	468	26,7%	15,7%	33,5%	29	28	28	15	14	19
2.02	398	806	638	588	50,6%	37,6%	32,3%	580	507	448	39,0%	25,8%	31,3%	35	34	35	15	13	19
2.03	812	1.497	1.217	1.202	45,8%	33,3%	32,5%	1.180	1.027	920	26,9%	18,5%	30,7%	60	60	60	30	26	32
2.04	834	1.563	1.280	1.222	46,6%	34,8%	31,8%	1.200	1.054	940	30,3%	21,4%	30,0%	64	64	63	30	27	36
2.05	972	1.891	1.540	1.436	48,6%	36,9%	32,3%	1.400	1.227	1.100	35,1%	25,5%	30,5%	77	76	75	35	31	40
2.06	2.472	4.351	3.673	3.408	43,2%	32,7%	27,5%	3.547	3.107	2.760	22,7%	18,2%	23,5%	163	164	162	89	78	108
2.07	2.864	5.061	4.192	3.961	43,4%	31,7%	27,7%	4.094	3.580	3.180	23,6%	17,1%	24,6%	190	184	179	103	90	128
2.08	3.040	5.405	4.514	4.259	43,8%	32,7%	28,6%	4.347	3.800	3.380	24,3%	18,8%	26,0%	203	201	197	109	95	136
2.09	3.752	6.679	-	5.347	43,8%	-	29,8%	5.380	-	4.180	24,1%	-	27,9%	249	-	242	135	-	168
2.10	4.168	7.470	6.072	6.012	44,2%	31,4%	30,7%	5.947	5.200	4.628	25,6%	16,8%	29,9%	281	267	264	149	130	183
2.11	4.552	8.238	-	6.524	44,7%	-	30,2%	6.520	-	5.068	26,3%	-	28,7%	306	-	286	163	-	203
2.12	4.736	8.574	-	6.746	44,8%	-	29,8%	6.780	-	5.268	26,5%	-	28,1%	320	-	304	170	-	211
2.13	5.126	9.177	7.570	7.460	44,1%	32,3%	31,3%	7.320	6.400	5.700	25,4%	18,3%	30,9%	341	339	329	183	160	224
2.14	5.446	-	8.013	7.967	-	32,0%	31,6%	-	6.800	6.048	-	17,8%	31,7%	-	354	350	-	170	243
2.15	5.876	10.501	8.575	-	44,0%	31,5%	-	8.400	7.360	-	25,0%	16,5%	-	390	381	-	210	184	-
2.16	6.244	11.050	-	8.967	43,5%	-	30,4%	8.920	-	6.940	23,9%	-	29,2%	410	-	395	223	-	276
2.17	6.598	11.780	-	9.351	44,0%	-	29,4%	9.440	-	7.340	24,8%	-	27,4%	431	-	415	236	-	292
2.18	6.970	12.372	10.112	9.943	43,7%	31,1%	29,9%	9.947	8.707	7.740	24,4%	16,1%	28,5%	451	442	435	249	218	308
2.19	7.114	-	-	10.041	-	-	29,2%	-	-	7.920	-	-	26,8%	-	-	445	-	-	312
2.20	7.398	13.058	-	10.652	43,4%	-	30,6%	10.580	-	8.228	23,4%	-	29,5%	477	-	461	265	-	327

TABELA 29

Resultados dos indicadores do processo de alocação de professores da segunda bateria de testes

(Conclusão)

Instância	CHE/NP			CHT/NP			NTI			NTIM			%NTI/NP			NRT		
	U5	C5	F5	U5	C5	F5	U5	C5	F5	U5	C5	F5	U5	C5	F5	U5	C5	F5
2.01	14,3	14,8	14,8	26,2	22,1	22,3	13	6	7	9	5	0	44,8%	21,4%	25,0%	40,0	30,0	28,2
2.02	11,4	11,7	11,4	23,0	18,8	16,8	15	8	6	9	5	0	42,9%	23,5%	17,1%	40,0	30,0	26,0
2.03	13,5	13,5	13,5	25,0	20,3	20,0	26	12	16	18	10	2	43,3%	20,0%	26,7%	40,0	30,0	26,3
2.04	13,0	13,0	13,2	24,4	20,0	19,4	28	14	15	18	10	1	43,8%	21,9%	23,8%	40,0	30,0	26,0
2.05	12,6	12,8	13,0	24,6	20,3	19,2	35	18	18	21	12	2	45,5%	23,7%	24,0%	40,0	30,0	26,5
2.06	15,2	15,1	15,3	26,7	22,4	21,0	75	40	33	53	31	1	46,0%	24,4%	20,4%	40,0	30,0	26,5
2.07	15,1	15,6	16,0	26,6	22,8	22,1	88	46	41	61	36	0	46,3%	25,0%	22,9%	40,0	30,0	27,2
2.08	15,0	15,1	15,4	26,6	22,5	21,6	92	47	45	65	38	0	45,3%	23,4%	22,8%	40,1	30,1	27,0
2.09	15,1	-	15,5	26,8	-	22,1	113	-	60	81	-	0	45,4%	-	24,8%	40,0	-	28,2
2.10	14,8	15,6	15,8	26,6	22,7	22,8	126	63	71	89	52	1	44,8%	23,6%	26,9%	40,0	30,0	29,4
2.11	14,9	-	15,9	26,9	-	22,8	142	-	76	98	-	0	46,4%	-	26,6%	40,0	-	28,8
2.12	14,8	-	15,6	26,8	-	22,2	150	-	75	102	-	0	46,9%	-	24,7%	40,0	-	28,1
2.13	15,0	15,1	15,6	26,9	22,3	22,7	156	78	90	110	64	2	45,7%	23,0%	27,4%	40,0	30,0	29,4
2.14	-	15,4	15,6	-	22,6	22,8	-	84	97	-	68	0	-	23,7%	27,7%	-	30,0	29,5
2.15	15,1	15,4	-	26,9	22,5	-	180	83	-	126	74	-	46,2%	21,8%	-	40,0	30,0	-
2.16	15,2	-	15,8	27,0	-	22,7	186	-	106	134	-	1	45,4%	-	26,8%	40,0	-	28,8
2.17	15,3	-	15,9	27,3	-	22,5	199	-	102	142	-	1	46,2%	-	24,6%	40,0	-	28,4
2.18	15,5	15,8	16,0	27,4	22,9	22,9	206	98	115	149	87	1	45,7%	22,2%	26,4%	40,0	30,0	28,6
2.19	-	-	16,0	-	-	22,6	-	-	110	-	-	2	-	-	24,7%	-	-	28,0
2.20	15,5	-	16,1	27,4	-	23,1	211	-	128	159	-	1	44,2%	-	27,8%	40,0	-	29,1

Legenda: APU – Modelo de Alocação de Professores Único Campus

APM – Modelo de Alocação de Professores *Multicampi*

CHE – Carga Horária de Ensino

CPL – Carga Horária Complementar

CHT – Carga Horária Total

IEA – Índice de Eficiência da Alocação

NP – Número de Professores

NTI – Número de Professores em Tempo Integral

NRT – Nota do Indicador Regime de Trabalho [7]

A TAB. 29 exibe as informações sobre alguns indicadores do processo de alocação de professores da segunda bateria de testes. Pode-se observar houve pouca variação na carga horária de ensino média por professor. Para a carga horária total média por professor, como era de se esperar, o valor para as universidades foi maior que os centros universitários que possuía vez foram maiores que os das faculdades. No entanto, analisando apenas centros universitários e faculdades, pode-se observar que os valores ficaram próximos devido a disponibilidade dos professores não ter variado de uma instância para outra. Como as metas para o conceito do indicador Regime de Trabalho da Avaliação Institucional são menores para as faculdades, o índice IEA se apresentou com um resultado pior que os demais.

Por fim, a terceira bateria de testes foi realizada com o intuito de avaliar as variações dos conceitos da Avaliação Institucional dentro de um mesmo tipo de instituição. A TAB. 30 exibe as instâncias utilizadas e a TAB. 31 exibe os resultados computacionais.

TABELA 30
Instâncias da terceira bateria de testes

Instância	C	P	O	NV	NR	NVP	NRP
3.01	5	298	258	13.208	10.690	9.104	2.419
3.02	10	609	1.208	33.461	22.525	25.739	7.161
3.03	15	799	1.757	43.731	29.724	32.934	9.463
3.04	20	904	2.150	50.231	33.792	37.279	10.912

Legenda: C – Número de cursos abrangidos (referência)
P – Número de professores disponíveis para a alocação
O – Número de ofertas de disciplinas a serem alocadas
NV – Número de variáveis da instância
NR – Número de restrições da instância
NVP – Número de variáveis após pré-processamento
NRP – Número de restrições após pré-processamento

TABELA 31
Resultados computacionais da terceira bateria de testes

	Tipo IES	Instância			
		3.01	3.02	3.03	3.04
Solução	U5	G	G	G	E
	U4	G	E	G	E
	U3	G	G	G	G
	C5	G	G	G	E
	C4	G	G	G	G
	C3	G	G	G	G
	F5	G	G	E	G
	F4	G	G	G	G
	F3	G	G	G	G
# Iterações MIP Simplex	U5	7.742.229	4.048.603	2.073.579	-
	U4	12.663.575	-	5.957.915	-
	U3	6.643.756	287.674	363.547	1.166.930
	C5	18.482.775	1.455.612	6.924.915	-
	C4	6.546.955	243.897	397.340	583.058
	C3	46.048.960	97.900	526.774	635.312
	F5	7.722.237	244.744	-	1.805.745
	F4	8.464.981	424.057	80.430	386.545
	F3	5.866.498	66.632	52.816	92.059
# Nós B&B	U5	1.171.536	142.400	137.000	-
	U4	1.147.006	-	182.520	-
	U3	1.096.257	9.320	15.970	54.080
	C5	1.092.955	47.910	177.990	-
	C4	1.150.963	21.120	14.710	23.000
	C3	1.095.686	3.830	18.000	26.000
	F5	1.142.196	6.440	-	73.152
	F4	1.174.200	21.930	2.400	14.404
	F3	1.129.118	3.580	1.669	4.060

Legenda: G – Processamento com solução ótima com *gap* de 0,01%

T – Processamento com solução inteira após tempo limite de 36.000 segundos

E – Processamento interrompido com erro do resolvidor

B&B – Branch-and-bound

U5 – Universidade (Conceito 5)

U4 – Universidade (Conceito 4)

U3 – Universidade (Conceito 3)

C5 – Centro Universitário (Conceito 5)

C4 – Centro Universitário (Conceito 4)

C3 – Centro Universitário (Conceito 3)

F5 – Faculdade (Conceito 5)

F4 – Faculdade (Conceito 4)

F3 – Faculdade (Conceito 3)

TABELA 32

Resultados dos indicadores do processo de alocação de professores da terceira bateria de testes

	Tipo IES	Instância					Tipo IES	Instância					Tipo IES	Instância									
		3.01	3.02	3.03	3.04			3.01	3.02	3.03	3.04			3.01	3.02	3.03	3.04						
CHE		972	4168	5876	7114	CHE	972	4168	5876	7114	CHE	972	4168	5876	7114	CHE	972	4168	5876	7114			
CHT	U5	1891	7470	10501	-	IEA	U5	35,1%	25,6%	25,0%	-	CHE/ NP	U5	12,62	14,83	15,07	-	NTIM	U5	21	89	126	-
	U4	1707	-	9642	-		U4	29,3%	-	23,0%	-		U4	12,96	-	15,07	-		U4	17	-	98	-
	U3	1628	6281	8977	10875		U3	38,0%	25,6%	27,2%	27,3%		U3	12,62	15,49	15,3	15,57		U3	10	42	59	71
	C5	1540	6072	8575	-		C5	25,5%	16,8%	16,5%	-		C5	12,79	15,61	15,42	-		C5	12	52	74	-
	C4	1414	5674	8039	9697		C4	22,7%	15,9%	16,2%	15,8%		C4	12,96	15,79	15,71	16,02		C4	7	36	52	62
	C3	1374	5485	7762	9442		C3	24,9%	18,2%	18,7%	19,2%		C3	12,96	16,03	15,88	15,99		C3	6	24	33	40
	F5	1436	6012	-	10041		F5	30,5%	29,9%	-	26,8%		F5	12,96	15,79	-	15,99		F5	2	1	0	2
	F4	1258	4899	6972	8376		F4	21,9%	12,0%	12,8%	11,9%		F4	13,14	16,03	15,92	16,32		F4	0	0	0	0
	F3	1234	4719	6735	8203		F3	21,9%	10,1%	11,1%	11,8%		F3	13,14	16,09	15,97	16,28		F3	0	0	0	0
%CPL/ CHT	U5	48,6	44,2	44,04	-	NP	U5	77	281	390	-	CHT/ NP	U5	24,56	26,58	26,93	-	%NTI/ NP	U5	45,5%	44,8%	46,2%	-
	U4	43,06	-	39,06	-		U4	75	-	390	-		U4	22,76	-	24,72	-		U4	34,7%	-	34,6%	-
	U3	40,29	33,64	34,54	34,58		U3	77	269	384	457		U3	21,14	23,35	23,38	23,8		U3	33,8%	33,1%	33,1%	33,0%
	C5	36,88	31,36	31,48	-		C5	76	267	381	-		C5	20,26	22,74	22,51	-		C5	23,7%	23,6%	21,8%	-
	C4	31,26	26,54	26,91	26,64		C4	75	264	374	444		C4	18,85	21,49	21,49	21,84		C4	20,0%	20,1%	20,1%	20,0%
	C3	29,26	24,01	24,3	24,66		C3	75	260	370	445		C3	18,32	21,1	20,98	21,22		C3	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%
	F5	32,31	30,67	-	29,15		F5	75	264	-	445		F5	19,15	22,77	-	22,56		F5	24,0%	26,9%	-	24,7%
	F4	22,73	14,92	15,72	15,07		F4	74	260	369	436		F4	17	18,84	18,89	19,21		F4	12,2%	5,4%	5,7%	6,0%
	F3	21,23	11,68	12,75	13,28		F3	74	259	368	437		F3	16,68	18,22	18,3	18,77		F3	10,8%	4,2%	5,4%	5,7%
CHTM	U5	1400	5947	8400	-	NPM	U5	35	149	210	-	NTI	U5	35	126	180	-	NRT	U5	40,0	40,0	40,0	0,0
	U4	1320	-	7840	-		U4	33	-	196	-		U4	26	-	135	-		U4	35,1	0,0	35,0	0,0
	U3	1180	5000	7060	8540		U3	30	125	177	214		U3	26	89	127	151		U3	28,2	27,8	28,3	28,8
	C5	1227	5200	7360	-		C5	31	130	184	-		C5	18	63	83	-		C5	30,0	30,0	30,0	0,0
	C4	1152	4894	6920	8376		C4	34	124	173	212		C4	15	53	75	89		C4	25,9	25,2	25,3	25,8
	C3	1100	4640	6540	7920		C3	28	116	165	198		C3	15	52	74	89		C3	23,7	22,0	22,2	22,5
	F5	1100	4628	-	7920		F5	40	183	-	312		F5	18	71	-	110		F5	26,5	29,4	0,0	28,0
	F4	1032	4374	6180	7484		F4	34	141	200	242		F4	9	14	21	26		F4	20,1	18,3	18,7	18,8
	F3	1012	4288	6060	7336		F3	32	128	180	216		F3	8	11	20	25		F3	19,2	15,8	16,1	17,0

Legenda: Vide legenda da TABELA 29.

A TAB. 32 exibe as informações sobre alguns indicadores do processo de alocação de professores para a terceira bateria de testes. Pode-se observar que assim como nos outros testes, houve pouca variação na carga horária de ensino média por professor. Devido à disponibilidade dos professores não ter variado, quando o conceito foi sendo diminuído, a carga horária total média por professor reduziu mas o índice IEA não. Em vários casos, o índice aumentou quando a carga horária total estava diminuindo. Isso porque as metas dos conceitos diminuíram relativamente mais que a carga horária alocada para cada docente.

Portanto, a partir da observação de todas as instâncias, pode-se afirmar que quanto maior for a disponibilidade docente para o atendimento das demandas de disciplina, melhor tende a ser o índice IEA da alocação de professores. Pois, a partir de um determinado ponto, as restrições de disponibilidade não permitem uma melhora no objetivo, alocando os professores de modo a cumprir todas as exigências e restrições, mas afastando cada vez mais dos referenciais limite apontados pelo modelo APRAC.

4.11 - Formulação Alternativa – Fluxo de Custo Mínimo Multiproduto

O objetivo de se propor uma formulação alternativa é exibir o problema de alocação de professores por outro ângulo, por meio da formulação de fluxos em redes. Esse tipo de formulação pode ser mais intuitivo para o entendimento.

O problema de alocação de professores pode ser modelado como uma rede multifluxo de custo mínimo com restrições adicionais de controle. O fluxo de produtos na rede é simbolizado por carga horária docente, sendo que cada oferta de disciplina denota um produto. No nodo inicial, tem-se a disponibilidade de carga horária total que deverá ser alocada para os diversos professores. Nos nodos terminais, têm-se a demanda por carga horária para cada uma das disciplinas. Deseja-se obter o fluxo de menor custo que atenda toda a demanda de carga horária a partir da origem sujeito às restrições de limites nos arcos que ligam cada um dos nodos.

A rede pode ser modelada como um grafo $G=(V,E)$, k -partido, onde:

- V é o conjunto de vértices, sendo $V = O \cup J \cup I \cup T \cup C$ e O, J, I, T e C são conjuntos disjuntos.
- E é o conjunto de arestas, sendo $E = OJ \cup JI \cup IT \cup CJ \cup IC$ e OJ, JI, IT, CJ e IC são conjuntos disjuntos.

A definição dos conjuntos O, J, I, T e C será apresentada adiante nas próximas páginas. Em cada aresta de OJ, JI e IT podem ser passadas k ofertas de disciplinas sendo $k \in K$. Deseja-se atender todas as demandas pela oferta de disciplina k em cada um dos horários (i.e. *timeslots*).

O nodo origem o , $O = \{o\}$, é o nodo que possui a disponibilidade de carga horária para cada uma das k ofertas de disciplinas. O conjunto J é conjunto de tipos de regime de trabalho nos quais um professor pode estar enquadrado. Tipicamente, $J = \{RI, RP, RH\}$, de acordo com o disposto na legislação educacional citada anteriormente (QUADRO 1). O conjunto de arcos $OJ = O \times J$ realiza a distribuição do fluxo para os diversos tipos de regime de trabalho que um professor poderá estar alocado. Já o conjunto de arcos JI indica a alocação do professor i , $i \in I$, ao regime de trabalho j , $j \in J$. Então, $JI = J \times I$. O fluxo de carga horária que passa por um nodo i poderá se originar apenas em um único nodo j , pois um professor pode estar associado a apenas um regime de trabalho.

Já o conjunto de arcos IT , determina a disponibilidade de um professor i ser alocado ao horário t , sendo $t \in T$. O conjunto T pode variar de uma instituição para outra. Tipicamente é formado pelos horários disponíveis em cada turno e em cada dia da semana. Como exemplo, o 1º horário do turno da noite na terça-feira é um elemento do conjunto T . Haverá arco de um professor i para um horário t , caso o professor tenha disponibilidade para atender a alguma oferta de disciplina naquela hora. Cada nodo t tem a informação de quais são as ofertas de disciplinas que deverão se realizar naquele horário (*timeslot*), assim como a carga horária demandada naquele horário. De acordo com o enunciado, na definição do problema, a especificação de quais horários cada oferta de disciplina irá ocorrer é obtido na fase 2 do processo. Portanto, para o modelo proposto, essa informação é parâmetro de entrada. A FIG. 5 exibe um grafo exemplo para o problema de alocação de professores.

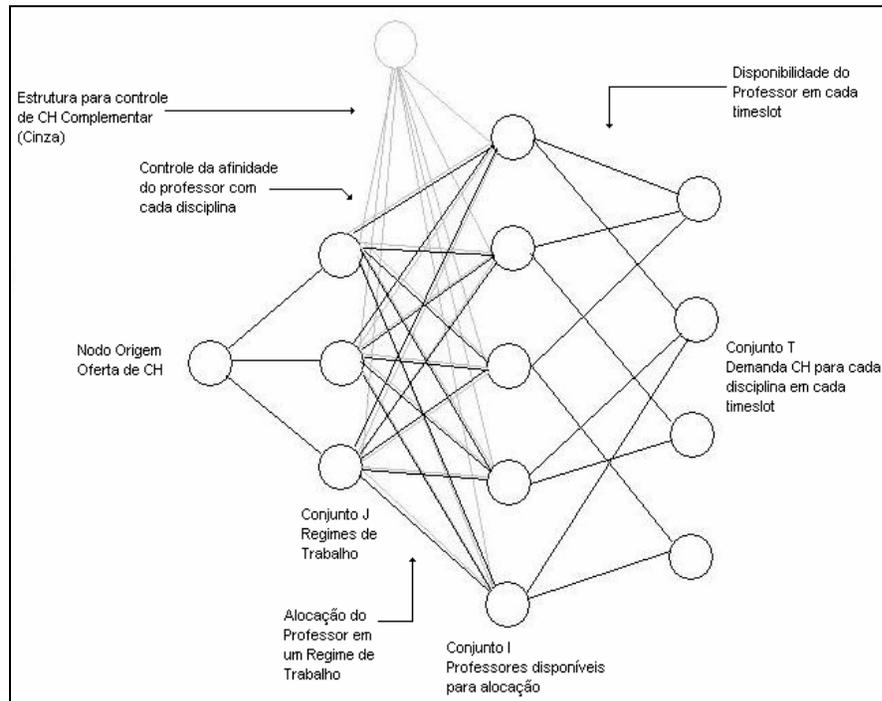


FIGURA 5 - Modelo da rede multifluxo

Uma característica importante do modelo é que nos arcos CJ , IC e JI , existe a possibilidade de um fluxo específico denominado carga horária complementar. Logo, o subgrafo $G' = (V', E')$ implementa um modelo de circulação de fluxo a partir da definição de limites superiores e inferiores para o fluxo nos arcos do conjunto JI em função do fluxo das k ofertas de disciplinas na rede do grafo G , onde V' é o conjunto de vértices, sendo $V' = C \cup J \cup I$ e $E' = CJ \cup JI \cup IC$. Define-se $CJ = C \times J$

e $IC = I \times C$. O nodo auxiliar c , $C = \{c\}$, é o nodo que denota a carga horária complementar alocada para um docente de acordo com seu fluxo de carga horária e o regime de trabalho no qual um professor estará enquadrado.

Portanto, seja:

- O = conjunto origem para a disponibilidade de carga horária de oferta de disciplinas.
- C = conjunto auxiliar para carga horária complementar.
- J = conjunto de regimes de trabalho.
- I = conjunto de professores.
- T = conjunto de horários (*timeslots*).
- K = conjunto de oferta de disciplinas.
- OJ = conjunto de arcos de O para J .
- JI = conjunto de arcos de J para I .
- IT = conjunto de arcos de I para T .
- CJ = conjunto de arcos que ligam o nodo de CH complementar aos regimes de trabalho.
- IC = conjunto de arcos que ligam os professores ao nodo de CH complementar.
- OCH_{ok} = oferta de carga horária para cada oferta de disciplina k que deverá ser transportada na rede.
- DCH_{tk} = demanda de carga horária para cada oferta de disciplina k que deverá ser atendida.
- CHE_j = carga horária máxima para atividades de ensino no regime de trabalho j .
- CHT_j = carga horária total máxima de um regime de trabalho j .
- CHM_j = carga horária total mínima de um regime de trabalho j .
- EC = percentual mínimo de atividade extra-classe, que um tipo de atividade complementar, de acordo com convenções ou acordos coletivos de classe.
- v = valor hora da atividade docente.
- F_{ij} = custo de ativação do docente i no regime de trabalho j .
- $Disp_i$ = disponibilidade de carga horária de um professor i para alocação.
- $CHMax_{ik}$ = carga horária máxima que o professor i pode ser alocado para a oferta de disciplina k .
- Tam_t = tamanho em horas de um *timeslot*.

- e_{it} = penalidade associada a um docente i a lecionar no *timeslot* t , sendo 0 quando o professor preferir o horário t .
- C_{ik} = custo de alocação de um professor i a uma disciplina k .
- $CHCompI_i$ = carga horária pré-alocada para o professor i em atividades complementares.
- RTI_j = regimes de trabalho do tipo Integral.
- PRT_j = peso de cada um dos regimes de trabalho j de acordo com [7].
- $PTIT_i$ = Peso da titulação do professor i de acordo com [7].
- $PPUB_i$ = Peso da publicação professor i de acordo com [7].
- MRT = Meta para o indicador Regime de Trabalho de acordo com o tipo de IES, estabelecido em [7].
- MTI = Meta para professores em Tempo Integral de acordo com [6][11].
- $MTIT$ = Meta para o indicador Titulação de acordo com o tipo de IES, estabelecido em [7].
- $MPUB$ = Meta para o indicador Publicação de acordo com o tipo de IES, estabelecido em [7].

Os fluxos nos arcos são representados pelas seguintes variáveis:

- d_{ojk} que representa o fluxo de carga horária do nodo o para o nodo de regime de trabalho j para a oferta de disciplina k .
- r_{jik} que representa o fluxo de carga horária do nodo de regime de trabalho j para o nodo de professor i para a oferta de disciplina k .
- p_{itk} que representa o fluxo de carga horária do nodo de professor i para o nodo de *timeslot* t para a oferta de disciplina k .
- g_{cj} que representa o fluxo de carga horária complementar do nodo c para o nodo de regime de trabalho j .
- a_{ji} que representa o fluxo de carga horária complementar do nodo de regime de trabalho j para o nodo de professor i .
- h_{cj} que representa o fluxo de carga horária complementar do nodo c para o nodo de regime de trabalho j , sendo $h_{cj} \in \mathbb{Z}^+$.
- Y_{ji} que representa se o professor i está alocado no regime de trabalho j , sendo $Y_{ji} \in \{0,1\}$.

- X_{ik} que representa se o professor i está alocado para lecionar a oferta de disciplina k , sendo $X_{ik} \in \{0,1\}$.

A partir do enunciado, define-se o seguinte modelo matemático:

$$\min z = 4,5v \left(\sum_{\substack{(o,j) \in OJ \\ k \in K}} d_{ojk} + \sum_{(i,c) \in IC} h_{ic} \right) + \sum_{\substack{(j,i) \in JI \\ k \in K}} r_{jik} F_{ij} + \sum_{\substack{(i,t) \in IT \\ k \in K}} p_{itk} (e_{it} + C_{ik}) \quad (1)$$

sujeito a:

$$\sum_{(o,j) \in OJ} d_{ojk} = OCH_{ok} \quad \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{(o,j) \in OJ} d_{ojk} - \sum_{(j,i) \in JI} r_{jik} = 0 \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{(j,i) \in JI} r_{jik} - \sum_{(i,t) \in IT} p_{itk} = 0 \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{(i,t) \in IT} p_{itk} = DCH_{tk} \quad \forall t \in T, k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{(i,c) \in IC} h_{ic} - \sum_{(c,j) \in CJ} g_{cj} = 0 \quad \forall c \in C \quad (6)$$

$$\sum_{(c,j) \in CJ} g_{cj} - \sum_{(j,i) \in JI} a_{ji} = 0 \quad \forall j \in J \quad (7)$$

$$\sum_{(j,i) \in JI} a_{ji} - \sum_{(i,c) \in IC} h_{ic} = 0 \quad \forall i \in I \quad (8)$$

$$\sum_{k \in K} r_{jik} + a_{ji} \leq CHT_j Y_{ji} \quad \forall (j,i) \in JI \quad (9)$$

$$\sum_{k \in K} r_{jik} + a_{ji} \geq CHM_j Y_{ji} \quad \forall (j,i) \in JI \quad (10)$$

$$\sum_{k \in K} r_{jik} \leq CHE_j Y_{ji} \quad \forall (j,i) \in JI \quad (11)$$

$$a_{ji} \geq \left(\sum_{k \in K} r_{jik} + a_{ji} \right) \times \left(1 - \frac{CHE_j}{CHT_j} \right) \quad \forall (j,i) \in JI \quad (12)$$

$$a_{ji} \geq EC \sum_{k \in K} r_{jik} \quad \forall (j,i) \in JI \quad (13)$$

$$\sum_{k \in K} r_{jik} + a_{ji} \leq Disp_i \quad \forall (j,i) \in JI \quad (14)$$

$$r_{jik} \leq CHMax_{ik} Y_{ji} \quad \forall (j,i) \in JI, k \in K \quad (15)$$

$$h_{ic} \geq CHCompl_i \quad \forall (i,c) \in IC \quad (16)$$

$$\sum_{k \in K} p_{itk} \leq Tam_t \quad \forall (i,t) \in IT \quad (17)$$

$$p_{itk} \leq X_{ik} Tam_t \quad \forall (i,t) \in IT, k \in K \quad (18)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Y_{ij} PRT_j \geq MRT \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Y_{ij} \quad (19)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Y_{ij} RTI_j \geq MTI \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Y_{ij} \quad (20)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Y_{ij} PTIT_i \geq MTIT \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Y_{ij} \quad (21)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Y_{ij} PPUB_i \geq MPUB \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Y_{ij} \quad (22)$$

$$\sum_{j \in J} Y_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (23)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ik} = 1 \quad \forall k \in K \quad (24)$$

$$X_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, k \in K \quad (25)$$

$$Y_{ji} \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, i \in I \quad (26)$$

O objetivo do modelo é atender a demanda de carga horária alocando os professores com o um custo mínimo. A função objetivo (1) demonstra as três fases da rede. A primeira parcela da função trás o custo operacional da alocação, abordando a carga horária total alocada ao professor e o custo hora da alocação. Já a segunda fase, representada pela segunda parcela, corresponde aos custos de realocação dos docentes e seu peso institucional, representados por exemplo por um plano de carreira. Já a terceira parcela demonstra uma suposta preferência por determinados horários de trabalho além da afinidade com a disciplina a ser alocada. Pode-se atribuir pesos a cada uma das parcelas caso deseje-se enfatizar mais um ou outro critério.

Observando o modelo, pode-se perceber que as restrições (2) a (5) implementam as restrições de conservação de fluxo e atendimento da demanda pela oferta de carga horária. Já as restrições (6) a (8) implementam o modelo de circulação de fluxo para o controle da carga horária complementar (representado em cinza na FIG. 5). As restrições (9) determinam que a carga horária total alocada a um professor não pode extrapolar a carga horária máxima para um regime de trabalho. Já as restrições (10) determinam o contrário: que a carga horária total alocada a um professor deve ser maior ou igual a carga horária mínima para um regime de

trabalho. As restrições (11) determinam que a carga horária alocada para atividades de ensino de um professor não extrapola o limite de carga horária de ensino de um regime de trabalho. As restrições (12) e (13) definem um limite inferior para a carga horária complementar do professor, sendo a primeira de acordo com o regime de trabalho e a segunda de acordo com as exigências dos sindicatos de classe que definem um limite mínimo de carga horária complementar para a realização de atividades extra-classe. As restrições (14) definem um limite para a quantidade de horas podem ser alocadas para um professor devido a sua disponibilidade. As restrições (15) definem que um professor poderá conduzir o fluxo se e somente se ele estiver alocado em um determinado regime de trabalho, por meio da variável Y_{ji} , e do limite de carga horária do professor para assumir atividades. As restrições (16) exigem que a carga horária complementar pré-alocada seja atendida. As restrições (17) garantem que o fluxo total de um professor para um determinado horário (*timeslot*) seja sempre restrito ao tamanho do mesmo. As restrições (18) definem que um professor poderá conduzir o fluxo de uma determinada oferta de disciplina se e somente se ele estiver designado a ela, por meio da variável X_{ik} , e do limite de carga horária do horário (*timeslot*). As restrições (19) a (22) implementam as validações das metas de qualidade propostas na Avaliação Institucional. As restrições (23) e (24) definem que um professor pode estar associado a apenas um regime de trabalho e que uma oferta de disciplina pode ser associada a apenas um professor. Por fim, as restrições (25) e (26) definem os domínios das variáveis X e Y , respectivamente.

Capítulo 5 - Conclusões

A construção de um quadro de horários eficiente permite a alocação racionalizada dos recursos docentes de uma instituição de ensino superior. Por ser considerado estrutural, as características de um quadro de horários vão interferir diretamente na gestão administrativa e acadêmica, o que justifica a utilização da metodologia proposta.

A abordagem do problema apresentada cria uma nova visão a respeito dos problemas de quadros de horários. Os aspectos considerados, presentes no cenário brasileiro, tornam-se uma extensão aos problemas clássicos de *timetabling*. Logo, novos estudos podem ser conduzidos nessa área, conjugando a multidimensionalidade do problema com as necessidades específicas de gestão e qualidade acadêmica.

A utilização de métodos exatos de resolução para o problema de alocação de professores foi facilitada pela definição da função objetivo. Com um objetivo mais específico, torna-se mais fácil entender o problema como um problema de otimização em si, e não como um simples problema de busca, que se limita a obtenção de uma solução viável.

Por outro lado, a utilização de pacotes comerciais de otimização se apresenta como um limitador para a execução de instâncias maiores, pois esses programas são desenvolvidos para uso genérico. Então, a fim de aumentar o desempenho dos procedimentos de alocação de professores e a construção do quadro de horários como um todo, como trabalhos futuros, podem ser desenvolvidos algoritmos especialistas que sejam capazes de aproveitar a estrutura do problema para se tornarem mais eficientes na prática. Essa eficiência pode estar relacionada à escalabilidade (capacidade de processar maiores instâncias) e desempenho (tempo e recursos utilizados). No entanto, mesmo em grandes instituições, com grandes instâncias, dependendo dos recursos e investimentos empregados, o uso de pacotes comerciais de otimização pode se apresentar satisfatório.

A apresentação de uma formulação alternativa também pode ser útil para o desenvolvimento de trabalhos futuros, pois como seu entendimento é mais intuitivo (fluxos em redes), novos procedimentos podem ser formulados a partir de tal estrutura.

Por fim, a metodologia proposta pode ser acoplada a um sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*), a fim de promover um ambiente de gestão administrativo-acadêmico integrado que permita ao gestor implantar efetivamente o processo, definindo parâmetros e

metas, e dessa forma, controlar de forma efetiva todas as atividades e recursos envolvidos na vida de uma instituição de ensino superior.

Capítulo 6 - Bibliografia

- [1] ABRAMSON, D., Constructing School Timetables using Simulated Annealing: Sequential and Parallel Algorithms. *Management Science*, v. 37, n. 1, p. 98-113, 1991.
- [2] ABRAMSON, D.; ABELA, J.; A Parallel Genetic Algorithm for Solving the School Timetabling Problem. Technical report, Division of Information Technology, C.S.I.R.O, 1991. Disponível em: www.citeseer.ist.psu.edu. Acesso em: 26 jun. 2006.
- [3] AKKOYUNLU, E. A., A linear algorithm for computing the optimum university timetable. *Computer Journal*, v. 16, n. 4, p. 347-350, 1973.
- [4] BARRACLOUGH, Elizabeth D., The application of a digital computer to the construction of timetables. *The Computer Journal*, v. 8, n. 2, p. 136-146, 1965.
- [5] BLOOMFIELD, S. D.; MCSHARRY, M. M., Preferential Course Scheduling System. *Interfaces*, v. 9, n. 4, p. 24-31, 1979.
- [6] BRASIL. Congresso Nacional. Lei n. 9.394 de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 23 dez. 1996. Seção 1. p. 27833. Disponível em: <http://www.camara.gov.br>. Acesso em: 25 mai. 2006.
- [7] BRASIL. Ministério da Educação. Manual de Avaliação Externa de Instituições de Educação Superior: Diretrizes e Instrumento. Brasília, fev. 2006. Disponível em <http://www.inep.gov.br>. Acesso em: 25 mai. 2006.
- [8] BRASIL. Ministério da Educação. Portaria n. 300 de 30 de janeiro de 2006. Aprova, em extrato, o Instrumento de Avaliação Externa de Instituições de Educação Superior do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior – SINAES. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 31 jan. 2006. Seção 1. p. 5. Disponível em: www.inep.gov.br. Acesso em: 25 mai. 2006.
- [9] BRASIL. Ministério da Educação. Portaria n. 563 de 21 de fevereiro de 2006. Aprova, em extrato, o Instrumento de Avaliação de Cursos de Graduação do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior – SINAES. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 fev. 2006. Seção 1. p. 6. Disponível em: www.inep.gov.br. Acesso em: 25 mai. 2006.
- [10] BRASIL. Presidência da República. Decreto n. 5.773 de 9 de maio de 2006. Dispõe sobre o exercício das funções de regulação, supervisão e avaliação de instituições de educação superior e cursos superiores de graduação e seqüenciais no sistema federal de ensino. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 10 mai. 2006. Seção 1. p. 6. Disponível em: <http://www.camara.gov.br>. Acesso em: 25 mai. 2006.
- [11] BRASIL. Presidência da República. Decreto n. 5.786 de 24 de maio de 2006. Dispõe sobre os centros universitários e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 mai. 2006. Seção 1. p. 9. Disponível em: <http://www.camara.gov.br>. Acesso em: 25 mai. 2006.
- [12] BRAZ JÚNIOR, Osmar de Oliveira, *Otimização de Horários em Instituições de Ensino Superior Através de Algoritmos Genéticos*. 2000. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

- [13] BURKE, E. K., ELLIMAN, D. G., WEARE, R., A University Timetabling System based on Graph Colouring and Constraint Manipulation. *Journal of Research on Computing in Education*, v. 27, n. 1, p. 1-18, 1994. Disponível em: www.citeseer.ist.psu.edu. Acesso em: 26 jun. 2006.
- [14] BURKE, E. K.; KINGSTON, J. H.; JACKSON, K.; WEARE, R., Automated University Timetabling: the state of the art. *The Computer Journal*, v. 40, n. 9, p. 565-571, 1997.
- [15] BURKE, E. K.; PETROVIC, S., Recent research directions in automated timetabling. *European Journal of Operational Research*, v. 140, n. 2, p. 266-280, 2002.
- [16] CARTER, M. W.; TOVEY, C. A.; When is the classroom assignment problem hard? *Operations Research*, v. 40, n. 1, p. 28-39, 1989 apud [50].
- [17] CARTER, Michael W., LAPORTE, Gilbert, Recent developments in practical course timetabling. *Lecture Notes in Computer Science*, v. 1408, p. 3-19, 1997.
- [18] CARVALHO, Mário T. P., *Confecção de Horários de Aulas em Instituições de Ensino Privadas de 3º Grau no Brasil*, 2002. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.
- [19] CHAVES, Thiago F., *Um Sistema de Apoio à Construção de Quadros de Horários*, 2005. 77 f. Dissertação. Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. No prelo.
- [20] CHIARANDINI, Marco; STÜTZLE, Thomas; An Application of Iterated Local Search to Graph Coloring. In: COMPUTATIONAL SYMPOSIUM ON GRAPH COLORING AND ITS GENERALIZATIONS, 2002, New York [*Proceedings...*], Ithaca, New York, 2002. p. 112-125. Disponível em: www.citeseer.ist.psu.edu. Acesso em: 26 jun. 2006.
- [21] CISCON, Leonardo A. *et al.* O Problema da Geração de Horários: um foco na eliminação de janelas e aulas isoladas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 37, 2005, Gramado. [*Anais eletrônicos...*] Gramado: UFRGS, 2005. 1 CD-ROM. p. 1724-1732.
- [22] COLORNI, Alberto; DORIGO, Marco; MANIEZZO, Vittorio; A Genetic Algorithm to Solve the Timetable Problem. Technical Report, v. 90, n. 60, Politecnico di Milano, Italy, 1992. Disponível em: www.citeseer.ist.psu.edu. Acesso em: 26 jun. 2006.
- [23] COOPER, Tim B.; KINGSTON, Jeffrey H., The Complexity of Timetable Construction Problems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE PRACTICE AND THEORY OF AUTOMATED TIMETABLING, 1., 1995, Edingburgh. [*Proceedings...*] Edingburgh: ICPTAT, 1995. p. 511-522. Disponível em: www.citeseer.ist.psu.edu. Acesso em: 2 out. 2005.
- [24] DASKALAKI, S.; BIRBAS, T.; HOUSOS, E.; An integer programming formulation for a case study in university timetabling. *European Journal of Operational Research*, v.153, p. 117-135. 2004.
- [25] EIKELDER, H.; WILLEMEN, R. J.; Some complexity aspects of secondary school timetables problems. *Lecture Notes in Computer Science*, v. 2079, p. 18-27, 2001.

- [26] EVEN, S.; ITAI, A.; SHAMIR, A.; On the complexity of timetable and multicommodity flow problems. *SIAM Journal on Computing*, v. 5, n. 4, p. 691-703, 1976.
- [27] FERLAND, Jacques A.; ROY, Serge; Timetabling Problem for University as Assignment of Activities to Resources. *Computers and Operation Research*, v. 12, n. 2, p. 207-218, 1985.
- [28] FOURER, R.; GAY, D.; KERNIGHAN, B., *AMPL: a modeling language for mathematical programming*, 2 ed. Toronto: Thomson, 2003.
- [29] GAREY, M.; JOHNSON, D., *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. San Francisco: Freeman, 1979. 340 p.
- [30] GOLTZ, Hans-Joachim, MATZKE, Dirk, University Timetabling Using Constraint Logic Programming. *Lecture Notes in Computer Science*, v. 1551, p. 320-334, 1999.
- [31] GOSSELIN, Karl; TRUCHON, Michel; Allocation of classrooms by linear programming. *Journal of Operational Research Society*, v. 37, n. 6, p. 561-569, 1986.
- [32] GUÉRET, Christelle; JUSSIEN, Narendra; BOIZUMAULT, Patrice, PRINS, Christian; Building University Timetables using constraint logic programming. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE PRACTICE AND THEORY OF AUTOMATED TIMETABLING, 1., 1995, Edingburgh. [*Proceedings...*] Edingburgh: ICPTAT, 1995. p. 393-408. Disponível em: www.citeseer.ist.psu.edu. Acesso em: 26 jun. 2006.
- [33] HULTBERG, Tim H.; CARDOSO, Domingos M.; The teacher assignment problem: a especial case of the fixed charge transportation problem. *European Journal of Operational Research*, v. 101, n. 3, p. 463-473, 1997.
- [34] ILOG, *ILOG AMPL CPLEX System User's Guide*, V. 9.0, Gentilly: ILOG, 2003. Disponível em: www.ampl.com. Acesso em: 2 fev. 2006.
- [35] INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. *SINAES – Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior: da concepção à regulamentação*. 2º ed. Brasília: INEP, 2004.
- [36] INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. *Censo da Educação Superior 2004: Resumo Técnico*. Brasília: INEP, 2005. Disponível em www.inep.gov.br. Acesso em: 25 mai. 2006.
- [37] LARA, Braulio A. S., Um Modelo de Programação Linear para Solução do Problema da Aplicação de Recursos em Atividades Complementares em Instituições de Ensino Superior. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 36., 2004, São João Del Rei. [*Anais eletrônicos...*] São João Del Rei: UFSJ, 2004. 1 CD-ROM. p. 381-387.
- [38] MCCLURE, Richard H.; WELLS, Charles E.; A Mathematical Programming Model for Faculty Course Assignments. *Decision Sciences*, v. 15, n. 3, p. 409-420, 1984.
- [39] MEISELS, Amnon, ELL-SANA, Jihad, GUEDES, Ehud, Decomposing and Solving Timetabling Constraint Networks. *Computational Intelligence*, v. 13, n. 4, p. 486-505, 1997. Disponível em: www.citeseer.ist.psu.edu. Acesso em: 26 jun. 2006.
- [40] MICROSOFT CORP. *Visual Basic: guia do programador*. v. 5.0, [New York]: Microsoft Press, 1997.

- [41] MINER, Sara K.; ELMOHAMED, Saleh; YAU, Hon W.; *Optimizing Timetabling Solutions Using Graph Coloring*. NPAC REU program, NPAC, Syracuse University, Syracuse, NY, 1995. Disponível em: www.citeseer.ist.psu.edu. Acesso em: 26 jun. 2006.
- [42] MUSHI, A. R. Mathematical Programming Formulations for the Examinations Timetabling Problem: The Case of the University of Dar Es Salaam. *African Journal of Science and Technology: Science and Engineering Series*, v. 5, n. 2, p. 34-40, 2004.
- [43] REIS, Luís Paulo, OLIVEIRA, Eugênio. A Language for Specifying Complete Timetabling Problems. *Lecture Notes in Computer Science*, v. 2079, p. 322-337, 2001. Disponível em: www.citeseer.ist.psu.edu. Acesso em: 2 jun. 2006.
- [44] RIBEIRO FILHO, Geraldo; LORENA, Luiz A. N.; A Constructive Evolutionary Approach to School Timetabling. *Lecture Notes in Computer Science*, v. 2037, p. 130-139, 2001. Disponível em: www.citeseer.ist.psu.edu. Acesso em: 26 jun. 2006.
- [45] ROSS, Peter, CORNE, Dave, FANG, Hsiao-Lan, Successful Lecture Timetabling with Evolutionary Algorithms. In: EUROPEAN CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 11., 1994, Amsterdam. [*Proceedings...*] Amsterdam: ECAI, 1994. Disponível em: www.citeseer.ist.psu.edu. Acesso em: 26 jun. 2006.
- [46] RUDOVA, Hana, MURRAY, Keith. University Course Timetabling with Soft Constraints. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE PRACTICE AND THEORY OF AUTOMATED TIMETABLING, 4., 2002, Gent. [*Proceedings...*] Gent: ICPTAT, 2002. p. 73-89. Disponível em: www.citeseer.ist.psu.edu. Acesso em: 26 jun. 2006.
- [47] SANDHU, Kuldeep Singh., *Automating Class Schedule Generation in the Context of a University Timetabling Information System*, 2001. 200 f. These. (Doctor of Philosophy in Management) School of Management, Griffith University, Nathan, Australia, 2003. Disponível em: <http://www4.gu.edu.au:8080/adt-root/public/adt-QGU20030825.121338/> . Acesso em: 22 jun. 2006.
- [48] SANTOS, Haroldo G.; OCHI, Luiz S.; SOUZA, Marcone J. F.; A Tabu Search Heuristic with Efficient Diversification Strategies for the Class/Teacher Timetabling Problem. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE PRACTICE AND THEORY OF AUTOMATED TIMETABLING, 5., 2004, Pittsburgh. [*Proceedings...*] Pittsburgh: ICPTAT, 2004. p. 343-359. Disponível em: www.asap.cs.nott.ac.uk. Acesso em: 26 jun. 2006.
- [49] SANTOS, Haroldo G.; OCHI, Luiz S.; SOUZA, Marcone J. F.; An Efficient Tabu Search Heuristic for the School Timetabling Problem. *Lecture Notes in Computer Science*, v. 3059, p. 468-481, 2004.
- [50] SCHAERF, A., A Survey of Automated Timetabling. *Artificial Intelligence Review*, v.13, n. 2, apr. 1999, p. 87-127.
- [51] SCHAERF, Andrea; DI GASPERO, Luca; Local Search Techniques for Educational Timetabling Problems. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON OPERATIONS RESEARCH, 6., 2001, Slovenia. [*Proceedings...*] Slovenia: SOR, 2001. p. 13-23. Disponível em: www.citeseer.ist.psu.edu. Acesso em: 26 jun. 2006.

- [52] SMITH, Kate A.; ABRAMSON, David; DUKE, David; Hopfield neural networks for timetabling: formulations, methods and comparative results. *Computers and Industrial Engineering*, v. 44, p. 283-305, 2003.
- [53] SOCHA, Krzysztof; KNOWLES, Joshua; SAMPELS, Michael; A Max-Min Ant System for the University Course Timetabling Problem. *Lecture Notes in Computer Science*, v. 2463, p. 1-13, 2002. Disponível em: www.citeseer.ist.psu.edu. Acesso em: 26 jun. 2006.
- [54] SOUZA, Marcone J. F., *Programação de horários em escolas: uma aproximação por metaheurísticas*. 2000. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas e Computação) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
- [55] TEIXEIRA, P. J. M., MELO, Valdir A., BOAVENTURA NETTO, P. O., Alocação de Docentes a Disciplinas em um Departamento: Uma Aplicação do Problema do B-acoplamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 36., 2004, São João Del Rei. [Anais eletrônicos...] São João Del Rei: UFSJ, 2004. 1 CD-ROM. p. 2239-2250.
- [56] TERRA, Ivone P., *Uma Solução para a Confecção do Horário Acadêmico*, 2001. 59 f. Dissertação. (Mestrado em Ciência da Computação) Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.
- [57] TRIPATHY, Arabinda. School Timetabling: a case in large binary integer linear programming. *Management Science*, v. 30, n. 12, p.1473-1489, 1984.
- [58] WERRA, D., An Introduction to Timetabling, *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, v. 19, n. 2, p. 151-162, feb. 1985.
- [59] WERRA, D., The combinatorics of timetabling. *European Journal of Operational Research*, v. 96, p. 504-513, 1997.
- [60] WHITE, George M.; WONG, Simon K. S., Interactive Timetabling in Universities. *Computers in Education*, v.12, n. 4, p. 521-529, 1988.