OTIMIZAÇÃO EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR EM MASSA: UMA ABORDAGEM ESTRATÉGICA USANDO CONCEITOS DE APS

Luiz Cesar Nanci Izidro Gonçalves
Programa de Doutorado em Engenharia de Produção
Universidade Federal Fluminense

Eduardo Uchoa, DSc
Departamento de Engenharia de Produção
Universidade Federal Fluminense

RESUMO

Nos últimos anos, o setor de ensino superior vem assumindo um papel cada vez mais importante no desenvolvimento do Brasil. A entrada de grandes grupos investidores nacionais e estrangeiros impulsionou o setor para novos patamares de gestão, qualidade e custos. Neste contexto, torna-se fundamental a adoção de métodos sofisticados de planejamento, conhecidos como APS (Advanced Planning System), para otimização das decisões na operação de ensino, reduzindo custos operacionais e satisfazendo as necessidades das diversas partes interessadas. Este trabalho apresenta uma proposta de APS para instituições de ensino superior em massa, baseado em modelos de otimização e apresenta um modelo matemático de programação inteira mista para o Planejamento Estratégico de Alocação de Cursos em unidades. Foram utilizadas instâncias reais adaptadas de uma grande universidade com atuação nacional e ganhos potenciais expressivos foram obtidos com a aplicação do modelo sugerido.

Palavras-chave: APS, Ensino Superior em Massa, Otimização, Planejamento Estratégico.

ABSTRACT

The higher education sector assumes a very important role in Brasil´s development agenda. The investments of major national and international groups has leveled the sector to a new challenge of management, quality and cost control. In this context, the application of sophisticated planning methods, known as APS (Advanced Planning System), is essential for optimize decisions regarding education operations activities, and simultaneously satisfy stakeholders demands. This paper proposes an APS structure for higher education universities based on optimization models and presents a mixed-integer programming model to the Strategic Course Allocation Planning. The instances were adapted from real cases of a Brazilian large university, and the application of the model shows promising profit increase.

Keywords: APS, Higher Education, Optimization, Strategic Planning

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o setor de ensino superior vem assumindo um papel cada vez mais importante no desenvolvimento do Brasil. Considerando o aumento expressivo da demanda no ensino superior, a qual não tem sido completamente atendida pelo setor público, os investimentos privados foram uma alavanca da expansão do ensino superior. No entanto, não faltam desafios para as empresas deste setor, como por exemplo, a questão da qualidade do ensino, que é o grande alvo das críticas às instituições privadas.

Alguns números do setor: de 1991 a 2007, o número de alunos matriculados nas instituições de ensino superior cresceu anualmente à média de 7%, sendo que o total de alunos matriculados em 2007 foi 2,5 vezes maior que em 1997. O número de instituições de ensino superior (IES) privadas chegou a 2.016 em 2008, representando 89,5% das instituições de ensino superior do país, quando uma década atrás eram apenas 764[1]. A grande concentração está na região sul e sudeste do país, com cerca de 68% dos alunos matriculados. Um dos caminho para a expansão das grandes universidades privadas está sendo via aquisição de pequenas IES fora do eixo Sul-Sudeste, o que já vem ocorrendo há pelo menos 4 anos. O mesmo fenômeno ocorreu nos EUA no início da década de 90, com a consolidação de grandes grupos de ensino.

A tendência de formação de grandes conglomerados de ensino já é uma realidade no Brasil, atraindo grandes investidores, fundos e capital internacional. Diversas instituições deixaram a condição de filantropia para ceder às atrativas rentabilidades projetadas em função da abertura de capital em bolsa. Podemos citar, por exemplo, a aquisição de 51% do capital da Anhembi Morumbi pelo grupo Laureate International Universitites, ou ainda a entrada do grupo GP Investimentos como acionista da Estácio Participações.

Um outro aspecto não menos importante do setor de ensino superior é sua capacidade anual de formação de mão-de-obra especializada. Diversos estudos apontam que, para que o Brasil cresça a taxas superiores a 4% ao ano, precisará cada vez mais mão-de-obra especializada, principalmente nas áreas de engenharia e tecnologia da informação. Atualmente, considera-se que haverá um gargalo de mão-de-obra no país, caso estas taxas de crescimento se concretizem. Sendo assim, as instituições privadas assumem um papel ainda mais relevante para o crescimento do país: formar mão-de-obra especializada a um custo adequado, e que atinja uma massa significativa da população.

A jornada rumo a uma maior eficiência operacional traz desafios jamais antes vistos por muitas destas IES, como por exemplo, o respeito à risca das questões regulatórias impostas pelo Ministério da Educação (MEC), sem implicar em aumentos de custo docente nos quadros da instituição, e respeitando os acordos sindicais estabelecidos. Sendo assim, diversas técnicas empíricas para redução de custo docente vêm sendo aplicado nas IES privadas, muitas vezes com sacrifícios pedagógicos graves para os alunos.

Neste trabalho, será proposto um conjunto de técnicas de planejamento baseadas em pesquisa operacional para grandes instituições de ensino em massa. Estas técnicas, quando aplicadas em conjunto, são conhecidas na literatura como APS (*Advanced Planning System*) ou ainda Sistemas de Planejamento Avançado. O objetivo da aplicação destas ferramentas é a otimizar algum objetivo, permitindo uma melhoria na qualidade das decisões típicas de uma IES e também equilibrando os interesses de diversas partes interessadas, como docentes, alunos, regulação e a alta administração.

Neste artigo será tratado exclusivamente o Modelo Estratégico de Alocação de Cursos, enquanto que, em outro artigo, será explorado o modelo tático.

2. ADVANCED PLANNING SYSTEMS (APS) E OTIMIZAÇÃO EM ENSINO

[1] Fonte: INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio de Teixeira (www.inep.gov.br)

A sigla APS pode ser traduzida como Sistemas de Planejamento Avançado. Na literatura, a sigla APS também aparece como um acrônimo para *Advanced Planning & Schedule*. (Planejamento e Programação Avançada). FLEISCHMANN et al (2002) sugerem que o termo APS é usado para definir um sistema com maior poder de planejamento e programação do que os tradicionais MRP (*Material Requirement Planning*) e MRPII (*Manufacturing Resource Planning*), e que os maiores diferenciais destes sistemas são o uso de planejamento e otimização simultaneamente, considerando todas as restrições com capacidades finitas ou infinitas. Como restrições, podem ser considerados materiais, máquinas, espaço de armazenagem, redes de transporte, veículos, dentre outros. A grande maioria dos APS utilizam princípios de Teoria das Restrições, Simulação e Otimização, simultaneamente ou não, e funcionam de forma integrada aos ERPs (*Enterprise Resource Planning*). Dentre as principais técnicas utilizadas por APS, podemos citar: programação inteira mista (WOLSEY, 1998), resolvidas por *branch-and-bound* e *branch-and-cut*, assim como heurísticas (REEVES, 1993), utilizando técnicas de busca local, *local branching*, metaheurísticas, dentre outras.

As aplicações de otimização na indústria de ensino estão concentradas no problema operacional de alocação de professores em disciplinas, salas de aula e horários, também conhecido como Problema de Programação de Horários (PPH) ou simplesmente "*Timetabling*".

Os Problemas de Programação de Horários em instituições de ensino vem sendo estudados há algumas décadas pela comunidade acadêmica, e até hoje são considerados como problemas difíceis de serem resolvidos na prática. Algumas razões para o interesse contínuo neste problema (SCHAERF, 1999 e SANTOS, 2007) são:

1. *Dificuldade de resolução*: satisfazer todos os interesses dos envolvidos na construção de um quadro de horários é uma tarefa árdua. Até mesmo a simples construção de um quadro de horários viável, em alguns casos, já é uma tarefa difícil.
2. *Importância prática*: a construção de bons quadros de horários pode melhorar a imagem de uma instituição de ensino perante seus alunos e professores, além de reduzir custos desnecessários.
3. *Importância teórica*: problemas deste tipo são considerados "fáceis de serem explicados, porém difíceis de serem resolvidos", pois fazem parte do conjunto de problemas conhecidos como NP-Completos ou NP-Difíceis, e as técnicas usadas para resolução destes tipos de problema são de interesse amplo das áreas de computação, pesquisa operacional e matemática.

3.GESTÃO, CUSTOS E QUALIDADE NAS IES PRIVADAS

Atualmente, a maioria das IES privadas brasileiras ainda está sob controle familiar, com práticas ineficazes de gestão. Sendo assim, o mais provável cenário futuro, a exemplo do que ocorreu nos EUA na década de 90, é a consolidação das IES privadas em grandes grupos, que se tornarão as grandes universidades de ensino em massa do país. Isto já vem acontecendo e pode ser observado pelos números apresentados anteriormente, com uma pequena queda no total de instituições privadas em 2008. Somente em 2009, foram registrados 72 processos de compra e venda de faculdades.

Com as aquisições e entrada de grandes grupos de investidores, a profissionalização da gestão é um passo natural. Algumas universidades adotaram sistemas de remuneração variável para seus professores, prática muito comum em diversas empresas de outros setores, mas raramente observada no setor de ensino. A revisão de processos internos, com adoção de novas tecnologias gerenciais e organizacionais aceleraram o amadurecimento em gestão das grandes universidades, impactando em redução de custo da mensalidade do aluno. Com a ampliação da concorrência, e o atingimento de patamares equilibrados de preço, a qualidade do ensino se tornará o diferencial na escolha da instituição.

Para garantir a qualidade, as universidades estão criando seus próprios sistemas de ensino, com metodologia e material didático próprios. Esta estratégia já é prática na área de ensino há muitos nas grandes redes de ensino médio e cursos de preparação para vestibular. No

entanto, desenhar e implementar um sistema de ensino nacional para cursos de áreas de conhecimento distintas, para atingir milhares de alunos de culturas distintas é um desafio enorme, que exige grande capacidade de gestão e aportes vultosos de investimentos.

O principal componente de custo de uma universidade é o custo docente. Em algumas instituições, a proporção de gastos com docentes pode chegar a 50% do custo total. Portanto, este é o custo mais relevante de uma instituição de ensino, sendo um norteador da grande maioria das decisões corporativas. Existem diversas formas de se medir o custo docente, sendo a mais comum (e simples) através da carga paga semanal, ou seja, o total de créditos semanais pagos aos docentes da instituição. Para medir a carga paga semana, basta multiplicar, para cada disciplina, o número de turmas vezes o total de créditos da disciplina. Por exemplo, se uma disciplina de 3 créditos tiver 10 turmas abertas, a carga paga semanal será de 30 créditos. Ao longo do texto, trataremos carga paga como sinônimo de custo docente.

4. PROPOSTA DE APS PARA INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR EM MASSA

4.1 Visão geral do APS

A proposta de APS para Instituições de Ensino Superior em Massa envolve o planejamento nos níveis estratégico, tático e operacional, e é inspirada no clássico planejamento hierárquico da produção (MEYR, et al, 2002; LUSTOSA et al, 2008). A figura abaixo ilustra o esquema geral do APS e as principais relações entre o APS e algumas funções críticas de uma instituição de ensino.

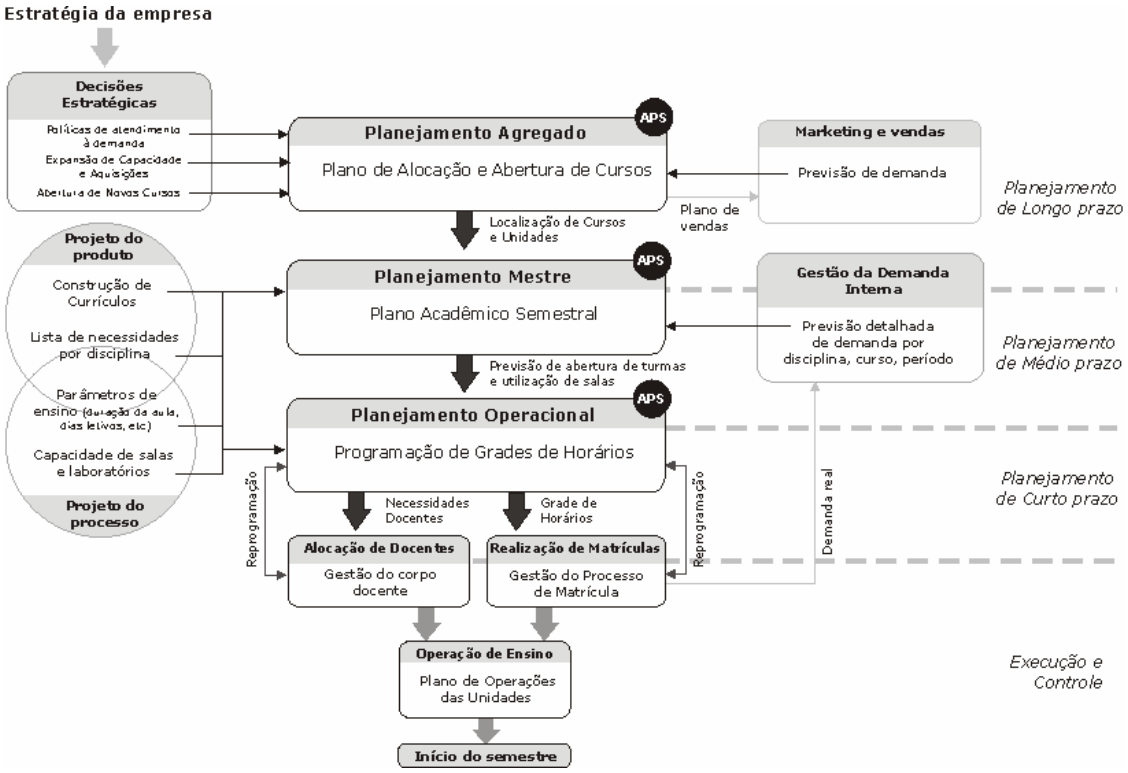

Figura 1: Proposta de APS para a Indústria de Ensino Superior

No nível estratégico, cujo planejamento é de longo prazo, será elaborado o Plano de Alocação e Abertura de Cursos. Com base nas principais decisões estratégias da instituição, como políticas de atendimento à demanda, aquisições de novas unidades, investimentos em expansão de unidades atuais e abertura de novos cursos, e também com base dos estudos de

previsão de demanda realizados pela área de Marketing e Vendas, o objetivo do Plano de Alocação e Abertura de Cursos é determinar em que unidades serão oferecidos cada curso da instituição, constituindo assim o mix de oferta.

No nível tático, com horizonte de planejamento de médio prazo, será elaborado o Plano Acadêmico Semestral, cujo principal produto é a previsão de abertura de turmas e utilização da capacidade instalada. Como isso, pode-se prever custos docentes e também investimentos menores de expansão de salas e reformas. Os principais dados de entrada para elaboração do plano são: previsão detalhada da demanda por disciplina, currículos de cada curso, lista de necessidade específicas (pedagógicas e operacionais) de cada disciplina, bem como parâmetros básicos da operação de ensino como duração das aulas, duração do semestre, número de tempos de aula, dentre outros. Também é necessária a informação detalhada de capacidade e disponibilidade de salas e laboratórios de cada unidade, e disponibilidade de dias dos docentes.

O planejamento de nível operacional, de curto prazo, consiste na Programação de Grades de Horários. Neste modelo, as turmas de cada disciplina são associadas aos docentes, salas, dias, horários e equipamentos, constituindo o plano operacional. Este é um modelo pré-matrícula, onde a programação de horários é realizada antes da inscrição em disciplinas. Ainda assim, ajustes são necessários para acomodar flutuações na demanda e disponibilidade de docentes.

Com o objetivo de tornar a aplicação do APS o mais próximo possível da realidade das instituições de ensino superior, e quantificar seus potenciais ganhos, as instâncias e dados utilizados foram coletados junto a uma grande universidade privada, com atuação em todo o país, e levemente adaptados para este trabalho, sendo uma boa representação de instâncias reais, e portanto, tornando os resultados significativos do ponto de vista prático e de implementação do modelo proposto.

4.2 Modelo Estratégico (Planejamento Agregado)

4.2.1 Modelos propostos

Conforme mencionado anteriormente, o principal mecanismo de expansão das grandes universidades brasileiras têm sido as aquisições de universidades menores. Com as aquisições, muitas vezes duas ou mais unidades de ensino estão localizadas em uma mesma região (*cluster*), e evidencia um novo problema de decisão estratégica: definir que cursos devem ser oferecidos em cada unidade, e consequentemente, quais são os impactos destas decisões de alocação de cursos sobre a receita bruta, custos fixos, custos variáveis e finalmente, sobre a lucratividade da operação de ensino de determinada região. Para responder a estas perguntas, foi proposto um Modelo Estratégico de Alocação de Cursos (MEAC). O objetivo deste modelo é maximizar a margem de contribuição da operação de ensino de um determinado *cluster* de unidades. São considerados os custos variáveis e custos fixos de mudança, além das receitas da operação. Neste modelo, a demanda de cada curso é considerada variável, de acordo com a alocação dos cursos nas unidades.

4.2.2 Modelagem por *clusters*

Um *cluster* pode conter duas ou mais unidades, e a medida de agrupamento utilizada foi a maior distância rodoviária entre as unidades que o compõem. Nas 12 instâncias reais testadas, a maior distância entre duas unidades de um *cluster* não ultrapassou 17 km, e a média ficou em 10,3 km. Nos casos de diâmetros acima de 10 km, avaliou-se a rede de transporte disponível sob o aspecto de facilidade de deslocamento, de forma que a alteração de localização de um curso possa ser efetivamente implementada.

4.2.3 Premissas do modelo

Os modelos propostos poderiam contemplar projeções de captação de demanda semestre a semestre. Entretanto, nas instâncias criadas assumiu-se que a previsão de demanda para os próximos 5 anos é estável. O modelo representa o estado de maturidade dos cursos, ou seja, todos os períodos possuem alunos, e a demanda de cada período depende apenas da captação (demanda

do primeiro período) e das taxas de evasão período a período. Por simplificação, todas as disciplinas de um mesmo curso-período recebem a mesma demanda. Exemplo: O curso de Administração possui uma demanda de 100 alunos entrantes no primeiro período; então todas as disciplinas que compõem o primeiro período de Administração receberão a demanda de 100 alunos. Se a taxa de evasão do primeiro para o segundo período é de 5%, então todas as disciplinas do segundo período deste curso terão uma demanda de 100 x 0,95 = 95 alunos. Esta simplificação se mostrou válida na prática através de comparações sistemáticas dos modelos gerados com as distribuições reais de demanda pelas disciplinas, com erros da ordem de ± 1% do custo docente, praticamente desprezível ao se tratar de um modelo de nível estratégico.

Para constituir o custo variável (custo docente), o modelo considera todas as disciplinas de cada curso, distribuídas em seus respectivos períodos, podendo haver compartilhamento de alunos de cursos distintos na mesma turma, independente do período em que a disciplina é oferecida em seu respectivo curso, desde que os cursos sejam oferecidos na mesma unidade. Exemplo: 20 alunos de Administração e 30 alunos de Ciências Contábeis formarão uma única turma de 50 alunos da disciplina de Teoria Geral da Administração, sendo que esta disciplina é oferecida no primeiro período de Administração no segundo período de Ciências Contábeis.

Para estimar o número de turmas de cada disciplina, a demanda total de alunos da disciplina é dividida pela capacidade média das salas de aula de cada unidade, e o resultado é aproximado para um valor inteiro maior que o quociente. Este valor inteiro é então multiplicado pelo número de créditos da disciplina, obtendo assim o custo docente (ou carga paga) da disciplina. Exemplo: Suponha uma demanda total de 235 alunos para a disciplina Métodos Quantitativos, presente em diversos cursos, numa mesma unidade. Sendo 50 a capacidade média das salas desta unidade, o total de turmas abertas será 235/50 = 4,7, e será aproximado para 5 turmas através de uma variável inteira. Se o número de créditos da disciplina for 4, então o custo docente desta disciplina será 5 x 4 = 20 créditos semanais.

Cada unidade possui um limite de capacidade, expresso pelo número de turmas abertas atualmente. Ao realocar os cursos, a soma de todas as turmas abertas em determinada unidade deverá ser inferior à sua capacidade atual, sob a premissa de que não haverão obras de expansão nas unidades para acomodar novos cursos.

As decisões de mudança de alocação de cursos são acompanhadas de investimentos (custos fixos) de desmobilização dos ativos do curso (reformas e mudança) e também investimentos de instalação (custos fixos) do curso na nova unidade (reformas, laboratórios, etc). Todos estes custos foram considerados no modelo.

4.2.4 Estrutura financeira do problema

O horizonte de tempo considerado para recuperação do investimento foi de 5 anos, que corresponde ao tempo de maturidade da grande maioria dos cursos (8 a 10 períodos letivos). A função objetivo do problema é maximizar a margem de contribuição que resulta do fluxo de caixa no qual as receitas são provenientes das mensalidades pagas pelos alunos, e os custos são dados pelos investimentos fixos e custos variáveis relativos ao custo docente. Por simplificação, todos os demais custos foram ignorados, sob a premissa de que estes serão mantidos exatamente os mesmos. A inflação e o custo do dinheiro no tempo também foram ignorados nesta modelagem, mas podem ser facilmente incorporados para obter uma visão gerencial dos resultados sob a perspectiva financeira, caso necessário.

A unidade principal de receita e custo de uma universidade é o número de créditos das disciplinas que compõem um curso. Assumiu-se que um aluno cursa, em média, 5 disciplinas de 3 créditos por semestre, ou simplesmente 15 créditos por semestre. O preço mensal médio do crédito foi considerado R$ 30,00, o que representa uma mensalidade média de R$ 450,00. Este valor pode ser projetado ao longo de 60 meses (5 anos), o que resulta em uma receita bruta por crédito por aluno de R$ 1.800,00. Para a composição do custo do crédito para a instituição, foi considerado apenas o custo variável docente, representado pelo professor horista. Este custo foi considerado aproximadamente R$ 60,00 por crédito semanal, ou R$ 270,00 mensalmente (1 mês = 4,5 semanas), já considerados impostos e férias. Anualmente, um crédito custa para a

instituição o valor de 12 x 270 = R$ 3.240, e que pode ser extrapolado para 5 anos, o que equivale ao custo por crédito de R$ 16.200.

Por fim, na formulação da função objetivo também foi acrescentado o lucro atual da operação como um desembolso projetado por 5 anos, de forma que o objetivo do modelo é maximizar a margem de contribuição adicional, a partir das mudanças de alocação dos cursos entre as unidades nestes 5 anos de operação futura.

4.2.5 Aspectos de comportamento da demanda

Unicamente do ponto de vista de maximização de receita, a situação ideal para um *cluster* seria oferecer todos os seus cursos em todas as unidades, pois desta forma absorveria toda e qualquer demanda existente e/ou reprimida da região, maximizando assim sua receita. No entanto, esta situação hipotética é inviável, dados os elevados custos fixos e variáveis decorrentes de sua implementação, além da falta de espaço físico das unidades. Para tentar modelar o comportamento da demanda de cada curso, determinou-se que, em um mesmo *cluster*, cada curso poderá ser alocado simultaneamente em até 3 unidades, bem como em 2 unidades, ou apenas em 1 unidade. O modelo matemático considera todas estas possibilidades de combinações de alocações, assim como as variações de demanda em função destas alocações. Vale ressaltar que as variações de demanda são dados de entrada do modelo, e certamente podem ser fruto de novas pesquisas e técnicas mais refinadas, como modelos probabilísticos, regressão logística, dentre outras técnicas.

4.2.6 Modelo matemático

O objetivo do modelo proposto é a maximização da margem de contribuição adicional, ou seja, o aumento de lucro em função das novas alocações de cursos, dada a receita total obtida pela demanda de alunos subtraída dos custos fixos, variáveis e lucro atual.

Dados de entrada:

i : conjunto de cursos oferecidos atualmente no cluster, com elementos $i \in I$

j : conjunto de unidades existentes no cluster, com elementos $j \in J$

k : conjunto de combinações possíveis de unidades para abertura de um curso, com elementos $k \in K$

d : conjunto de disciplinas de todos os cursos oferecidos atualmente no cluster, com elementos $d \in D$

p : conjunto de períodos dos cursos, com elementos $p \in P$

$p\max_i$: total de períodos do curso i

c_d : número de créditos da disciplina d

C_j : capacidade em turmas da unidade j

S_{dj} : capacidade média da sala de aula da unidade j para a disciplina d

Ω_d : conjunto de períodos p e cursos i do cluster ao qual a disciplina d pertence

λ_{ip} : taxa de evasão do curso i no período p (somente para $p \geq 2$)

D_{ijk} : demanda pelo curso i na unidade j, caso a combinação de unidades k seja escolhida

R : receita bruta por aluno por crédito ao longo de 5 anos (constante)

V : custo docente por crédito ao longo de 5 anos (constante)

F_{ik} : custo fixo de mudança do curso i caso aberto na combinação de unidades k

L : lucro atual projetado para 5 anos

Variáveis de decisão:

$X_{ijp} \in \Re$: número de alunos do curso i que cursarão o período p, na unidade j

$x_{dj} \in \Re$: número de alunos da disciplina d na unidade j

$T_{dj} \in \mathrm{N}$: número de turmas da disciplina d na unidade j

$y_{ik} \in \{0,1\}$: representa a abertura do curso i na combinação de unidades k

Modelo:

$$\text{Maximizar} \quad R\sum_{d\in D}\sum_{j\in J} c_d x_{dj} - V\sum_{d\in D}\sum_{j\in J} c_d T_{dj} - \sum_{i\in I}\sum_{k\in K} F_{ik} y_{ik} - L \qquad (1)$$

$$\sum_{k\in K} D_{ijk} y_{ik} = X_{ij1} \qquad \forall i, \forall j \qquad (2)$$

$$\sum_{k\in K} y_{ik} = 1 \qquad \forall i \qquad (3)$$

$$X_{ijp} = (1-\lambda_{ip}) X_{ijp-1} \qquad \forall i; \forall j; p \in \{2,3,...p\max_i\} \qquad (4)$$

$$x_{dj} = \sum_{i,p\in\Omega_d} X_{ijp} \qquad \forall d; \forall j \qquad (5)$$

$$\frac{1}{S_{dj}} x_{dj} \le T_{dj} \qquad \forall d; \forall j \qquad (6)$$

$$\sum_{d\in D} T_{dj} \le C_j \qquad \forall j \qquad (7)$$

Onde:

(1) É a função objetivo, que representa a margem de contribuição adicional do *cluster* ao longo de 5 anos.
(2) Garante que toda a demanda deve ser atendida para cada combinação escolhida de alocação de cursos nas unidades.
(3) Garante que apenas uma combinação de alocação de cursos pode ser escolhida.
(4) Assegura o fluxo de alunos entre períodos do mesmo curso, de acordo com a taxa de evasão.
(5) Consolida a demanda de alunos de diversos cursos na mesma disciplina d, caso a disciplina pertença ao curso.
(6) Define o número de turmas necessário para acomodar a demanda total de alunos da disciplina d na unidade j.
(7) Garante que a capacidade (em turmas) da unidade j não será violada.

4.2.7 Técnicas de resolução

Para resolver o MEAC, foi utilizado o pacote computacional CPLEX, na versão 10.2, em um PC com 4 GB RAM e processador Intel Core 2 Duo 2.93 GHz. Na maioria das instâncias, nenhuma solução viável foi encontrada após 3 horas, e em algumas instâncias, soluções viáveis negativas foram encontradas, ou seja, a solução causaria prejuízo à operação de ensino. Algumas poucas instâncias apresentaram valores positivos de margem de contribuição.

Desta forma, três alternativas foram testadas para se obter melhores soluções iniciais: a introdução de uma restrição adicional para gerar apenas soluções de valor positivo; o uso de uma heurística de construção e o uso do *status quo* como solução inicial. A introdução da restrição adicional melhorou o resultado em apenas 4 das 12 instâncias. A heurística de construção apresentou resultados inferiores aos obtidos pelo CPLEX, razão pela qual esta alternativa foi rapidamente descartada. O uso do *status quo* garantiu, obviamente, que todas as instâncias tivessem uma solução viável, porém o resolvedor não conseguiu melhorar nenhuma delas a ponto de superar os resultados das outras alternativas.

Com as melhores soluções viáveis provenientes das tentativas mencionadas anteriormente, utilizou-se então a técnica de *local branching* (POCHET e WOLSEY, 2006), para

buscar soluções melhores em torno da solução inicial, e melhorá-la continuamente explorando um espaço de solução de tamanho limitado, controlado pelo parâmetro H. Variou-se o parâmetro H, assim como o tempo de resolução ao qual as instâncias foram submetidas. O *local branching* foi implementado na variável y_{ik}, que representa a alocação do curso i na combinação de unidades k, e foi usado três vezes consecutivas, com redução do parâmetro H a cada rodada. Com a aplicação desta técnica, os resultados melhoraram sensivelmente, como pode ser observado na tabela abaixo. Os tempos de execução das instâncias também são mostrados na tabela abaixo:

Tabela 1: Soluções finais para as instâncias do MEAC, após local branching

			Margem de Contribuição Adicional			
Instância	Unidades	Total Cursos	Local Branching (h = 15) *tempo = 6 horas*	Local Branching (h = 8) *tempo = 5 horas*	Local Branching (h = 5) *tempo = 4 horas*	Diferença em relação à Margem de Contribuição atual
1	3	9	1.538.783	1.538.783	1.538.795	7,0%
2	3	25	9.277.863	15.434.690	17.477.354	15,9%
3	3	22	6.929.043	6.929.043	6.929.077	10,4%
4	4	9	1.075.677	1.075.677	1.075.690	5,3%
5	4	26	1.288.194	1.288.194	1.947.430	1,2%
6	2	23	1.527.036	1.527.036	1.527.036	1,0%
7	3	9	8.292.514	8.292.514	8.292.502	19,4%
8	4	37	7.683.621	11.150.744	14.882.292	13,5%
9	3	14	9.085.240	9.364.840	9.364.840	16,1%
10	4	51	13.513.474	13.513.474	16.171.609	7,7%
11	6	28	4.795.793	13.849.527	15.126.963	14,7%
12	6	41	4.857.112	9.580.344	16.388.918	12,5%
		TOTAL	**69.864.349**	**93.544.866**	**110.722.506**	**9,2%**

Os resultados finais obtidos após a aplicação do local branching são mostrados na tabela abaixo. Além das informações relativas à margem de contribuição, pode-se observar os impactos na carga paga semanal (custo docente variável), no total de turmas, e na demanda de alunos entrantes do *cluster*. Também é mostrado o custo total de mudança.

Tabela 2: Soluções finais para as instâncias do MEAC, após local branching

	Carga Paga Semanal (custo docente variável)			Margem de Contribuição (R$ milhões)			Turmas			Demanda de alunos entrantes			Custo de Mudança (R$ milhões)
Instância	Atual	Proposto	Dif %	Atual	Proposto	Dif %	Atual	Proposto	Dif %	Atual	Proposto	Dif %	
1	1.666	1.647	-1%	21,9	23,4	7%	592	585	-1%	393	411	5%	0,28
2	3.560	3.674	3%	110,0	127,4	16%	1.327	1.378	4%	1.630	1.799	10%	0,86
3	2.546	2.617	3%	66,9	73,8	10%	936	973	4%	1.050	1.095	4%	0,32
4	1.039	1.003	-3%	20,3	21,4	5%	386	374	-3%	409	415	1%	0,22
5	3.775	3.928	4%	164,4	166,4	1%	1.441	1.487	3%	2.614	2.653	1%	0,23
6	2.987	2.954	-1%	159,9	161,5	1%	1.149	1.131	-2%	2.548	2.612	3%	0,04
7	1.515	1.568	4%	42,7	51,0	19%	546	567	4%	531	594	12%	0,49
8	4.011	4.171	4%	110,2	125,1	14%	1.542	1.600	4%	1.650	1.840	12%	0,68
9	1.575	1.638	4%	58,0	67,4	16%	607	630	4%	824	895	9%	0,16
10	5.694	5.905	4%	209,3	225,4	8%	2.178	2.254	3%	3.056	3.202	5%	0,22
11	4.647	4.636	0%	102,7	117,8	15%	1.785	1.788	0%	1.548	1.705	10%	0,52
12	5.707	5.878	3%	130,7	147,1	13%	2.194	2.239	2%	2.146	2.349	9%	1,57
	38.721	**39.619**	**2,3%**	**1.197**	**1.308**	**9,2%**	**14.683**	**15.006**	**2,2%**	**18.399**	**19.570**	**6,4%**	**5,58**

A figura abaixo traz uma exemplo de solução gerada pelo MEAC para uma instância com 3 unidades, comparando-a com o *status quo* de alocação dos cursos. Para analisar os resultados, é conveniente mostrar os custos de mudança considerados na modelagem.

Instância 2							
Rio de Janeiro	Status Quo			Resultado MEAC			
Distância máxima entre unidades: 7,6 km	Unidades			Unidades			
Curso	1	2	3	1	2	3	Custo de Mudança
DIREITO	X		X	X	X	X	R$ 15.000,00
PSICOLOGIA	X	X		X			R$ 180.000,00
LETRAS (PORTUGUÊS-ESPANHOL)	X				X		R$ 20.000,00
LETRAS (PORTUGUÊS-INGLÊS)	X				X		R$ 20.000,00
LETRAS (PORTUGUÊS-LITERATURAS)	X		X		X		R$ 20.000,00
PEDAGOGIA	X		X		X		R$ 35.000,00
ENGENHARIA CIVIL		X				X	R$ 125.000,00
ENGENHARIA DE PETRÓLEO		X				X	R$ 125.000,00
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO		X		X			R$ 35.000,00
ENGENHARIA ELÉTRICA		X				X	R$ 125.000,00
ENGENHARIA ELÉTRICA - COMUNIC.		X				X	R$ 125.000,00
PETRÓLEO		X			X	X	R$ 60.000,00
ADMINISTRAÇÃO	X		X	X	X	X	R$ 15.000,00
CIÊNCIAS CONTÁBEIS	X		X		X		R$ 15.000,00
GESTÃO DE RECURSOS HUMANOS	X		X	X	X		R$ 20.000,00
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS		X			X		R$ 115.000,00
ENFERMAGEM		X			X		R$ 320.000,00
FISIOTERAPIA		X			X		R$ 390.000,00
ANÁLISE E DESENV. DE SOFTWARE			X			X	R$ 15.000,00
GESTÃO FINANCEIRA			X			X	R$ 20.000,00
LOGÍSTICA			X		X		R$ 20.000,00
MARKETING			X	X	X	X	R$ 20.000,00
MARKETING (TECN)			X	X	X	X	R$ 20.000,00
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO			X			X	R$ 60.000,00
SISTEMAS PARA INTERNET			X			X	R$ 60.000,00

Figura 2: Solução gerada para a instância 2

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nas 12 instâncias indicam aumento da margem de contribuição em 9,2%, com aumento do custo variável (carga paga) de 2,3%, e aumento no número de turmas em 2,2%. A demanda de alunos entrantes sofreu um aumento de 6,4% no total, devido à ampliação da oferta de cursos em alguns *clusters*, conforme será mostrado no exemplo de solução da instância 2, a seguir. Os investimentos de mudança de alocação de cursos já estão considerados na margem de contribuição proposta, e somam um total de aproximadamente R$ 5,6 milhões. Aparentemente, não há relação entre o número de cursos, número de unidades e percentual de redução obtido, o que leva à conclusão de que a taxa de melhoria obtida depende fortemente das características dos cursos de cada *cluster*, e da forma como foram estruturados até o momento. Quanto maior a concentração de cursos da mesma área estiverem presentes em um *cluster*, maior a chance de se obter grandes economias com a utilização do modelo.

Como o MEAC considera os *trade-offs* entre receitas e custos, os resultados gerados se aproximam da realidade das decisões do dia-a-dia das grandes universidades. Os cursos de Direito e Administração, por exemplo, tiveram sua alocação em todas as 3 unidades, em função da grande demanda e potencial de receita, e do baixo custo de mudança. Os cursos da área de Saúde não tiveram sua alocação modificada, em função do alto custo de mudança dos cursos. Todas as demais decisões consideraram que as receitas e economias advindas do compartilhamento de disciplinas superam os investimentos de mudança de alocação, como por exemplo, no caso das Engenharias.

Sendo assim, o MEAC é um modelo estratégico de alto impacto para as IES, e pode ser utilizado como ferramenta de análise na abertura de novos cursos, reorganização estratégica dos cursos atuais e para auxiliar nas decisões de aquisição de novas unidades. O modelo pode ser modificado para receber custos fixos de operação das unidades e projetar uma margem de contribuição mais acurada. Pode-se, ainda, considerar o custo do dinheiro no tempo, para uma avaliação de retorno à luz do valor presente das receitas geradas, bem como a taxa interna de retorno do investimento.

No modelo apresentado, nenhum tipo de fixação de cursos foi adotado. No entanto, em aplicações reais, pode ser desejável fixar determinados cursos em unidades, pois o custo de mudança é suficientemente alto, ou por razões institucionais e políticas, ou mesmo para fazer valer a opinião de especialistas no assunto. Pode-se, ainda, limitar o volume de investimentos destinados a mudança de alocação de cursos, para respeitar orçamentos ou viabilizar o investimento.

Sua implementação está condicionada a um trabalho conjunto das áreas de Inteligência de Marketing, Operações, Ensino e Financeiro, cada qual contribuindo com sua expertise. A área de Inteligência de Marketing pode fornecer dados mais precisos sobre o comportamento da demanda, e até mesmo eliminar opções de alocação, tornando o modelo mais simples. Esta área deve, ainda, validar as premissas de aumento de demanda com a áreas de Vendas, caso necessário. A área de Ensino pode contribuir identificando pontos de melhoria nos currículos, de forma a promover uma reforma direcionada para o compartilhamento de disciplinas e adoção de ciclos básicos, sem deixar de lado a qualidade do ensino. A área de Operações deve contribuir com informações sobre as instalações, expansões de capacidade previstas, restrições de uso de capacidade, custos de desmobilização e realocação de cursos entre unidades, assim como controle do nível de utilização das áreas comuns e infra-estrutura dos prédios. A área Financeira pode fornecer dados mais precisos sobre as receitas e custos envolvidos no modelo, bem como taxas de crescimento previstas para o horizonte de planejamento considerado, além de validar os resultados sob a ótica de investimento. Juntas, estas áreas podem formar um comitê de avaliação de novos cursos, garantindo assim que todos os novos cursos ou expansões dos cursos atuais passem por uma avaliação conjunta para garantir a melhor alocação possível dos cursos em termos de lucratividade para a universidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIZEMBERG, L., 2010. Modelos de programação inteira mista e heurísticas para otimização da produção de computadores no ambiente do jogo TAC/SCM. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense.

CASTRO, C. M., 2001. Ensino Superior: o desafio de andar para a frente. In: O Ensino Superior em Transformação. Org. Eunice Ribeiro Durham e Helena Sampaio. São Paulo: Núcleo de Pesquisa sobre o Ensino Superior (Nupes) / USP.

FISCHETTI, M., LODI, A., 2003. Local Branching. Mathematical Programming, 98, p. 23-47.

FLEISCHMANN, B.; MEYR, H.; WAGNER, M., 2002. Advanced Planning. In: Stadler, Hartmut; Kilger, Christoph. *Supply Chain Management and Advanced Planning*. 2. ed. Germany: Springer, p. 71-95.

LUSTOSA, L., MESQUITA, M.A., QUELHAS, O.L.G., OLIVEIRA, R., 2008. Planejamento e Controle da Produção. 1a.edição - Editora Campus-Elsevier.

MCCOLLUM, B. 2006. University timetabling: Bridging the gap between research and practice (invited paper). In Burke, E., and Rudov´a, H., eds., Proc. of the 6th Int. Conf. on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT-2006), 15–35.

MEYR, H.; WAGNER, M.; ROHDE, J., 2002. Structure of Advanced Planning Systems.In: Stadler, Hartmut; Kilger, Christoph. *Supply Chain Management and Advanced Planning*. 2. ed. Germany: Springer, p. 99-104.

PINEDO, M. L., 2005. Planning and Scheduling in Manufacturing and Services. Springer Series in Operations Research. ed. Springer.

PIZZOLATO, N. D., GANDOLPHO, A. A., 2009. Técnicas de Otimização, Editora LTC.

POCHET, Y. e WOLSEY, L.A., 2006. Production Planning by Mixer Integer Programming. Springer Series in Operations Research and Financial Engineering. ed. Springer.

SANTOS, H. G., 2007. Formulações a Algoritmos para o Programa de Programação de Horários em Escolas. Tese de Doutorado. Universidade Federal Fluminense.

SCHAERF, A., 1999. A survey of automated timetabling. Artificial Intelligence Review, 13, p.87 a 127.

STADLER, H., 2002. Production Planning and Scheduling. In: Stadler, Hartmut; Kilger, Christoph. *Supply Chain Management and Advanced Planning*. 2. ed. Germany: Springer, p. 177-193.

WERRA, D., 1985. An introduction to timetabling. European Journal or Operational Research, 19: p. 151-162.

WOLSEY, L. A., 1998. Integer Programming. Wiley, New York.

Revistas e jornais:

EXAME, Especial Educação, publicada em janeiro de 2009.

Valor Econômico, 4 de dezembro de 2009.

Valor Econômico, 7 de dezembro de 2009.

Valor Econômico, 22 de dezembro de 2009.

Valor Econômico, 26 de janeiro de 2010.

Revista Exame. O Meganegócio da Educação. Ano 36, n. 7 – 3/abril/2002

Websites:

www.mec.gov.br

www.inep.gov.br

www.ibge.gov.br