

ARTIGOS

Um Ambiente na WWW de Construção de Tabela de Horário de Professores Aplicado às Escolas de Ensino Médio Estadual

JOSÉ AURICIO OLIVEIRA¹

PLÁCIDO ROGÉRIO PINHEIRO²

(recebido em 29/05/2003; aprovado em 01/09/2003)

PALAVRAS-CHAVE

Ambiente de otimização – Problema de tabela de horário – WWW – Escolas

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal conceber um ambiente de otimização na WWW que possibilite a resolução de problemas utilizando técnicas de pesquisa operacional com a agregação de novos modelos e resolvedores. Com o intuito de pesquisar trabalhos abrangendo a WWW e a utilização de técnicas de pesquisa operacional, foi realizado um estudo na literatura, gerando como produto um modelo de arquitetura para o ambiente de otimização. A implementação do ambiente foi aplicada no problema da alocação de professores a horários nas Escolas de Ensino Médio do Governo do Estado do Ceará. Para a solução do problema foi definido um modelo utilizando Programação Linear Inteira possibilitando a geração e resolução com uma solução viável. Os resultados obtidos pela implementação no Estado do Ceará permitirão otimizar o processo de construção das tabelas de horários nas escolas estaduais, bem como a reutilização do ambiente desenvolvido na plataforma Internet em outros problemas do Serviço Público. O estudo demonstra que a Internet poderá ser um importante componente nos ambientes de otimização a serem desenvolvidos e que a utilização de uma arquitetura distribuída contribui para uma maior flexibilidade na utilização de várias técnicas de pesquisa operacional para a solução de problemas.

1. INTRODUÇÃO

A Otimização possui um papel fundamental para atuar na economia digital emergente. Diversos trabalhos na literatura ressaltam as oportunidades oferecidas pela utilização da Otimização com Internet, principalmente por duas razões: primeiro, não há uma única maneira de resolver problemas de otimização. Cen-

¹ auricio@sead.ce.gov.br

² placido@unifor.br

tenas de resolvedores³ foram desenvolvidos para tirar proveito das características de tipos de problema particulares. Para muitos tipos de problemas, várias implementações e diversos métodos competem em velocidade, confiança, custo e conveniência. Segundo, novas aplicações tipicamente de otimização envolvem construir novos modelos. Para suportar a atividade de construção de modelos, sistemas de modelagem especializados vêm sendo desenvolvidos para produzir, analisar e manter modelos de otimização. Esses sistemas manipulam modelos e podem ser integrados com uma variedade de resolvedores.

Este trabalho tem como objetivo apresentar um ambiente de otimização na WWW que permita a resolução de diversos problemas utilizando técnicas de pesquisas operacionais, através da utilização de diferentes modelos e resolvedores de forma transparente para os usuários. Para aplicação do ambiente como protótipo utilizou-se o problema de construção de tabelas de horários nas Escolas de Ensino Médio do Governo Estadual do Ceará. O problema consiste em determinar aulas para períodos nos quais nenhum professor esteja envolvido em mais de uma aula ao mesmo tempo, e satisfazendo por outro lado um conjunto de restrições que diz respeito, dentre outros, à carga horária das disciplinas, quantidade de turmas e indisponibilidade de horários dos professores.

As principais contribuições esperadas com a conclusão deste trabalho são: melhorar a qualidade dos serviços prestados ao cidadão, otimizar a utilização dos recursos gastos com os professores estaduais, disponibilizar um ambiente configurável na plataforma WWW que permita a construção de horários escolares contemplando todas as escolas do ensino médio do Estado e a possibilidade de aplicar o ambiente em outros problemas do Serviço Público.

REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Programação Linear Inteira

Um problema de Programação Linear Inteira é um problema de Programação Linear em que todas ou alguma(s) das suas variáveis são discretas (têm de assumir valores inteiros). Quando todas as variáveis estão sujeitas à condição de integralidade, estamos diante de um problema de Programação Linear Inteira Pura; e se apenas algumas o estão, trata-se de um problema de Programação Linear Inteira Mista. Existe um caso especial de variáveis inteiras: as variáveis binárias que apenas podem receber os valores 0 (zero) ou 1 (um). Quando todas as variáveis de um modelo são binárias, o modelo diz-se de Programação Linear Inteira Binária. As variáveis binárias são muito úteis para exprimir situações dicotômicas (sim ou não, fazer ou não fazer, alocar ou não alocar). A construção de tabela de horário escolar é um tipo de problema característico de Programação Linear Inteira Binária, e que será objeto do nosso estudo.

³ Resolvedores: softwares de otimização para resolver problemas através da resolução de modelos matemáticos

2.2 Otimização na Internet

Um profissional que necessite construir uma aplicação em otimização deverá disponibilizar um ambiente que, independentemente do modelo gerado, possa utilizar uma variedade de resolvedores existentes em pacotes de otimização. Neste contexto, os serviços disponibilizados pela Internet servem de guia para acessar os diversos softwares de otimização existentes. Conforme [COW97], os algoritmos e softwares de otimização são dinâmicos por natureza, sofrendo mudanças em curto espaço de tempo, contribuindo para a Internet ser o mecanismo que disponibiliza facilmente o acesso às freqüentes atualizações.

[FoGo01] distinguem três categorias de clientes para software de otimização de propósito geral: 1. Modeladores que trabalham diretamente com resolvedores e sistemas de modelagem para construir modelos de otimização e encontrar maneiras de conseguir soluções aceitáveis; 2. Desenvolvedores de Aplicação criadores de software que utilizam resolvedores como parte de um grande pacote que trata desde funções genéricas até gerenciamento de dados a interface de apresentação gráfica; e 3. Usuários que utilizam pacotes de aplicação buscando otimização em algum estágio. Esses três tipos de usuários devem ser contemplados pelo ambiente de otimização a ser desenvolvido.

[GeKr01] comentam sobre a importância da infra-estrutura para suportar as aplicações na Internet, apresentando os provedores de serviço de aplicação como importante exemplo de infra-estrutura segura e com centros de dados com alta disponibilidade de conexões aos provedores de serviço Internet. Tais provedores oferecem uma plataforma para disponibilizar software como um serviço.

2.3 Solução de Arquitetura de Otimização na Internet

[CKM01] propõem a exploração do potencial da Internet por meio do processamento dividido em múltiplos servidores de forma a resolver problemas de otimização conveniente e eficientemente. As aplicações devem ser desenvolvidas de acordo com a arquitetura apresentada na Figura 1:

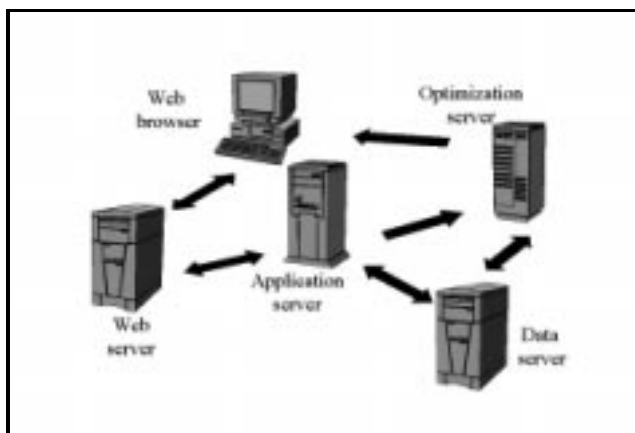


Figura 1 – Arquitetura multicamada para resolver problemas de otimização [CKM01]

Conforme apresentado, o usuário, através de um navegador, submete um programa a um servidor de aplicação. Este carrega informações para construir um modelo como, por exemplo, um modelo linear ou modelo linear inteiro. Algumas das informações que o usuário necessita para construir esse modelo podem residir em um banco de dados qualquer, que pode ser acessado via servidor de banco de dados. Ao mesmo tempo o usuário pode requerer que o modelo seja otimizado. O servidor de aplicação então inicia o processo em um servidor de otimização, passando este modelo (regras de negócio) para encontrar a solução.

O servidor de otimização pode também necessitar acessar o banco de dados. Quando este finalizar a otimização, o servidor de otimização envia a um usuário uma mensagem de *e-mail* com uma URL (*Uniform Resource Locator*) que apresenta a solução, ou pode ser também publicado um relatório com a solução em diferentes canais de um portal na Internet.

Outra abordagem de utilização de otimização na Internet pode ser encontrada em [Yen97], que propõe a arquitetura de uma ferramenta de simulação baseada na Internet como sendo composta de quatro componentes, conforme Figura 2:

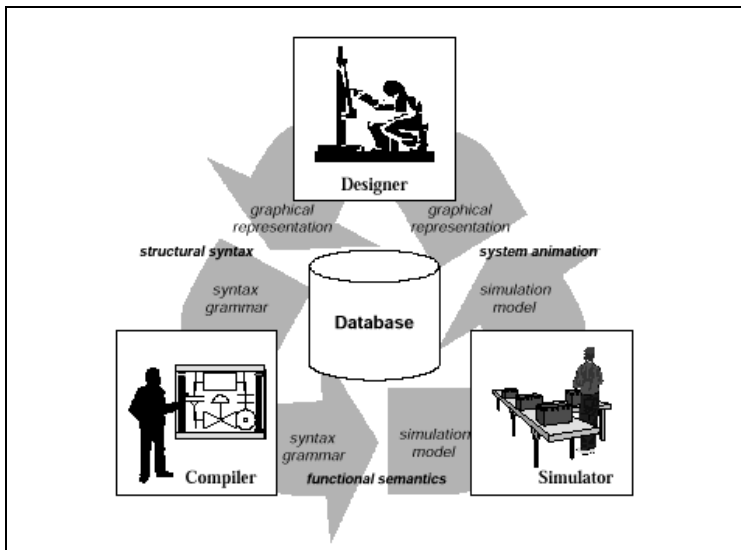


Figura 2 – Arquitetura de simulação baseada na Internet [Yen97]

[Yen97] apresenta os componentes da arquitetura como sendo:

1. *Database*. As estruturas e funções dos objetos são armazenadas e manipuladas em um banco de dados.
2. *Designer*. É a ferramenta com interface gráfica que possibilita ao usuário construir e editar o projeto do sistema. Usando o *designer*, usuários podem arrastar ou deletar objetos do sistema e especificar atributos correspondentes.

3. *Compiler*. Durante o processo de projeto, o compilador avalia se a estrutura ou sintaxe do sistema está correta. A avaliação da sintaxe pode ser feita no modo interativo, para verificar o projeto imediatamente após cada passo, ou no modo *batch*, para verificar a correção depois de submetido à requisição.

4. *Simulator*. Diferente da correção estrutural, o simulador verifica as correções funcionais ou semânticas do sistema. Em adição, este também simula o processo do sistema com animações e avalia a performance.

O fluxo do processo de uma ferramenta de simulação, de acordo com [Yen97], é o seguinte: O *designer*, a partir de um *database* e através de uma ferramenta gráfica, edita o modelo e o configura de acordo com suas características, enviando para o *compiler* que avalia a estrutura e envia para o *simulator* gerar o cenário da solução devolvendo para a análise do *designer*. Este fluxo continua até que os resultados sejam os esperados.

2.4 Ambientes de Otimização na Internet

Segundo [FoGo01], o recente uso da Internet em otimização limitava-se a prover software para *download*. Assim, muitos *solvers* não comerciais estiveram por muito tempo disponíveis via protocolo *ftp*, geralmente através de sítios mantidos por seus desenvolvedores. O primeiro sítio central para *downloading* de software matemático, o repositório NETLIB, começou no início de 1980 e incluía uma variedade de *solvers*.

O advento da *Internet* tem encorajado extensivas relações de recursos *online*, incorporando listas de associações de hipertexto para *downloads* e também muitas outras informações.

O *Decision Tree for Optimization software*⁴, desenvolvido por Hans Mittelmann e Peter Spellucci, organizou software de otimização não comercial por tipo de problema. Este sítio também lista problemas testes, livros, tutoriais, modelagem de sistemas, pacotes de diferenciação automáticos e ferramentas de análise de modelos. O sítio ZIB MATHPROG⁵ também oferece associações para muitas classes de códigos de otimização de domínio público e informações relacionadas.

[GeKr01] apresentam várias fontes de computações estatísticas disponíveis na Internet. Neste mesmo trabalho pode ser encontrada uma vasta relação de opções na Internet para projetos que requerem construção de aplicações disponíveis na Internet, que necessitem construir modelos e disponibilizar os resultados pela Internet, ou que necessitem de pesadas ferramentas industriais, e também uma relação de fornecedores que se especializaram em fornecer a infraestrutura necessária para executar as aplicações dos clientes, através de terceirização.

⁴ plato.la.asu.edu/guide.html

⁵ ftp.zib.de/Packages/mathprog/

O NEOS (*Network-Enable Optimization System*) apresentado em [COW97] forma um ambiente de cooperação desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Argonne e Universidade de Northwestern, para possibilitar a resolução de problemas de otimização através da Internet. Esse ambiente é formado por três componentes básicos: ferramentas NEOS, o guia NEOS e o servidor NEOS.

- Ferramenta NEOS é uma biblioteca de softwares de otimização gratuitos escritos por pesquisadores no projeto NEOS;
- O guia NEOS é uma listagem atualizada que descreve a teoria sobre área de otimização, incluindo FAQs com associações para códigos comerciais e não comerciais que oferecem gratuitamente *downloads* de versões de demonstração para programação linear e não linear;
- O servidor NEOS é o componente que possibilita o acesso do usuário à biblioteca NEOS por meio da Internet. Os usuários podem submeter seus problemas através de *e-mail*, *WWW* ou ferramenta *windows*. Esses problemas são alocados e resolvidos em uma estação de trabalho.

A estrutura do ambiente NEOS é centralizada, todos os endereços dos servidores que integram esse ambiente devem ser cadastrados no servidor e as requisições de clientes direcionadas para esse servidor.

Segundo [COW97], três tipos de requisições são aceitas. Os usuários podem submeter problemas de otimização ao servidor via *e-mail*, através de uma página da Internet ou pela ferramenta de submissão disponibilizada. Ao receber essas requisições, o servidor as distribui aos resolvidores de otimização (*Optimization Solvers*) responsáveis pela execução do algoritmo.

O conjunto de algoritmos disponibilizado pelos resolvidores de otimização forma a biblioteca de software NEOS. Essa biblioteca possui a característica de ser distribuída, pois os resolvidores de otimização estão espalhados em diferentes espaços de endereçamento conectados pela Internet.

No guia NEOS alguns problemas de otimização como estudo de casos são apresentados, dentre eles: o problema da dieta utilizando programação linear; otimização de *portfolio* utilizando programação quadrática; planejamento de gás natural utilizando programação linear estocástica; o problema de *cutting-stock* utilizando programação linear inteira.

O servidor NEOS é o componente central do NEOS. Através dos *solvers* e do servidor, são suportados problemas de várias áreas, tais como programação linear, programação linear estocástica, otimização de redes linear, otimização sem restrição.

Este referencial teórico será utilizado como base para a definição da arquitetura do ambiente de otimização aplicado à construção de tabela de horário escolar apresentado neste trabalho.

3. O AMBIENTE DE OTIMIZAÇÃO APLICADO AO PROBLEMA DA CONSTRUÇÃO DE HORÁRIOS ESCOLARES

3.1 Forma de Construção da Tabela de Horário Escolar

O problema da construção dos horários escolares tem a sua definição bastante diversificada de acordo com as características de cada instituição e a concepção dos dirigentes das escolas; obviamente as restrições apresentadas podem ou não ser adotadas. Portanto, a solução para este problema deve permitir que se possa decidir entre a inclusão ou não de determinada restrição.

Atualmente, a elaboração do horário escolar de cada unidade de ensino médio estadual é realizada, de forma geral, da seguinte maneira:

- a) A relação de lotação dos professores com as disciplinas habilitadas é enviada em cada período letivo a cada unidade de ensino estadual, através da Secretaria de Educação do Estado;
- b) Os dirigentes de escola coletam as informações sobre as indisponibilidades de horários de cada professor; e
- c) A partir dessas informações e com a relação de turmas que a escola está ofertando, o dirigente faz a designação de cada professor, construindo o quadro de horário escolar da instituição.

3.2 O Modelo em Programação Linear Inteira

O processo de construção de tabela de horário escolar é dividido em três fases principais:

- Definição dos dados de entrada relativos às turmas de alunos;
- Definição dos dados de entrada relativos aos professores;
- Determinação de período em que cada aula será lecionada.

As duas primeiras fases envolvem decisões legais e administrativas, e são fornecidas por sistemas secundários ou de forma manual pelos dirigentes das escolas. Após a conclusão das primeiras duas fases, o problema fica definido e conseqüentemente os dados estarão disponíveis para ser usados na terceira fase. Será apresentada a seguir a formulação do modelo matemático conforme descrito em [OlPi01] e a terminologia utilizada.

Notação Utilizada

Utilizaremos como variável de decisão X_{ijkl} (i = professor, j = horário, k = disciplina, l = turma), sendo $x_{ijkl} = 1$ se professor I leciona no horário J a disciplina K da turma L , e $x_{ijkl} = 0$ em caso contrário. Onde:

I – conjunto de professores que lecionam em k.

J - conjunto de horários definidos como disponíveis pelo professor i.

K - conjunto de disciplinas por turma lecionadas pelo professor i.

L - conjunto de turmas lecionadas pelo professor i.

C - carga horária semanal de cada disciplina de cada turma.

M - conjunto dos horários iniciais para cada dia da semana.

N - conjunto complementar de M.

Função Objetivo

Seja m o número de professores a serem considerados como participantes na tabela de horário em questão; n o número de horários que podem ser considerados na tabela de horário; p o número de disciplinas que podem ser consideradas na tabela de horários; e q o número de turmas que podem ser consideradas na tabela de horários. Assim temos:

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^q c_{ijkl} x_{ijkl}$$

Onde um valor c_{ijkl} é designado para período j no qual uma aula de professor i para disciplina k de uma turma L é menos desejável.

Restrições

1. Um professor deve estar em, no máximo, uma única turma no mesmo dia e horário em que ele estiver disponível.

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} x_{ijkl} \leq 1 \quad \forall i.$$

2. Uma turma pode ter, no máximo, um professor alocado em cada horário de aula.

$$\sum_{i \in I} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall j, \forall k, \forall l.$$

3. A carga horária semanal de cada disciplina de todas as turmas deve ser respeitada.

$$\sum_{j \in J} \sum_{l \in L} x_{ijkl} = C \quad \forall i, \forall k, \forall l.$$

4. Se a carga horária total de uma turma for inferior à carga total do colégio, os horários livres dessa turma deverão ser os últimos de cada dia.

$$S_{j\hat{I}M} x_{ijkl} = 1 \quad \forall i, \forall k, \forall l.$$

$$S_{j\hat{I}N} x_{ijkl} \leq 1 \quad \forall i, \forall k, \forall l.$$

5. Um professor não pode dar aulas seguidas a uma mesma turma mesmo que sejam matérias diferentes.

$$x_{ijkl} + x_{ij+1kl} \leq 1 \quad \forall i, \forall j, \forall k, \forall l.$$

Quanto a esta restrição, alguns diretores de escolas incentivam o contrário; portanto o sistema pode desabilitar esta restrição de acordo com a configuração informada pelo dirigente.

Este modelo pode ser alterado com a inclusão de outras restrições que os diretores das escolas considerem necessárias. A forma de habilitar estas restrições antes da geração do modelo matemático, torna-o adaptável às diferentes realidades das escolas. Portanto, esta característica de ser configurável permite uma flexibilidade que torna o ambiente de construção de tabela de horário escolar na WWW aplicável a todas as escolas do Estado do Ceará.

Outra característica relevante é a transparência das técnicas de modelagem matemática para os diretores de escolas, os quais por meio de uma interface amigável desconhecem a forma como é construído o modelo, e conseqüentemente como está sendo solucionado o problema de construção da tabela de horário de sua escola.

3.3 A Arquitetura do Ambiente na Internet

O Ambiente de construção de tabela de horário na Internet é composto por múltiplos servidores, segundo a arquitetura proposta por [CKM01] para ambientes de otimização na Internet. Apresentamos na Figura 3 como estão distribuídos os componentes do ambiente.

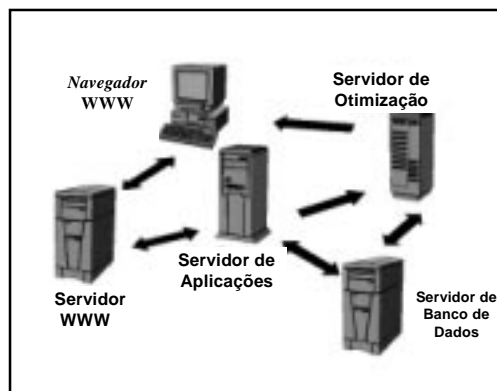


Figura 3 – Arquitetura do ambiente de otimização na Internet

Conforme descrito na Figura 3, o componente utilizado pelo usuário pode ser qualquer navegador padrão de mercado como, por exemplo, *Internet Explorer* ou *Netscape*. É através dele que o usuário realiza suas interações com o Ambiente, podendo acessá-lo de qualquer computador ligado à Internet. Cada diretor de Escola possui um *login* e uma senha para poder acessar as informações da Escola da qual é gestor, podendo alterar, consultar, configurar e resolver os modelos matemáticos que irão gerar a tabela de horário da Escola.

O segundo componente da arquitetura é o Servidor Internet, utilizamos o IIS⁶ da *Microsoft*. Este componente disponibiliza para os navegadores as páginas estáticas e dinâmicas do ambiente na Internet. Nos testes realizados e apresentados no próximo capítulo foi utilizado o servidor *Personal Web Server*⁴. Contudo, poderia ser outro servidor semelhante, considerando que fica transparente para o ambiente onde está sendo utilizado.

No terceiro componente estão armazenados no servidor de aplicação dois módulos de aplicativos desenvolvidos em *DELPHI*⁷ da *Borland*, o primeiro módulo fará a interface com o servidor de otimização e será responsável por repassar o modelo gerado e receber sua solução do resolvidor, o segundo módulo será o aplicativo que irá realizar a interface com o servidor de banco de dados gerando o modelo matemático a ser submetido ao resolvidor e atualizando a base de dados, disponibilizando aos diretores de escolas as consultas dos resultados do modelo e outras informações disponíveis.

No quarto componente da arquitetura foi utilizado como Servidor de Banco de Dados o *INTERBASE*⁸, considerando que foi o banco de dados utilizado nos testes do ambiente, conforme Figura 3. O *ORACLE*⁹ será a plataforma definitiva de banco de dados a ser utilizada pelo Ambiente nas instalações da Secretaria de Educação. Ressalta-se que o ambiente está preparado para utilizar qualquer banco de dados relacional de mercado que possua *drivers ODBC*.

O quinto e último componente da arquitetura é o servidor de otimização ou resolvidor. Foi utilizado como software matemático de otimização o pacote *Lindo*¹⁰ 6.0 da *LINDO Systems INC*. Neste componente serão resolvidos os modelos matemáticos gerados pelo ambiente de construção de tabela de horário. Através de um aplicativo que servirá de interface entre o servidor de aplicação e o servidor de otimização, o modelo gerado será recebido e resolvido pelo *Lindo*. O resultado gerado será devolvido para o servidor de aplicação atualizar a base de dados com a tabela de horário gerada.

O trabalho de [Yen97], que propõe uma estrutura de uma ferramenta de simulação baseada na Internet, composta por quatro componentes (*Database, Designer, Compiler e Simulator*), foi utilizado como base para o módulo de geração do modelo matemático. Fazendo uma analogia ao modelo apresentado no trabalho, definiremos como foi composto o módulo de otimização do ambiente proposto:

⁶ www.microsoft.com.br

⁷ www.borland.com.br

⁸ www.borland.com.br

⁹ www.oracle.com.br

¹⁰ www.lindo.com

Database – Esta é a estrutura central do ambiente de modelagem matemática, considerando que as estruturas de dados são armazenadas em um banco de dados relacional e a partir deste serão recuperadas as informações para geração do modelo e apresentação dos resultados após a sua solução.

Designer – Esta estrutura é a interface gráfica disponibilizada para os diretores de escolas na Internet, acessada através de um Navegador. É utilizada na fase de modelagem para configurar as opções de restrições a serem geradas no modelo, bem como para atualizar a base de dados através das seguintes opções:

- Configuração das restrições habilitadas para o modelo matemático da escola;
- Alteração da base de dados da escola;
- Iniciação do processo de geração e resolução do modelo;
- Geração de relatórios da tabela de horário para as turmas e para os professores, dentre outras.

Compiler – Esta estrutura será utilizada para a edição do modelo de programação linear inteira gerado e verificação das alternativas de restrições utilizadas, bem como para avaliação dos parâmetros utilizados no modelo.

Simulator – Nesta estrutura o modelo matemático utilizando as técnicas de programação linear inteira será resolvido através de um Software Comercial de otimização instalado no servidor de otimização, podendo a solução ser efetivada ou não no banco de dados do ambiente de acordo com os resultados da simulação.

O ambiente de construção de horário escolar na Internet é composto de uma ferramenta de simulação conforme proposto por [Yen97] e de uma arquitetura de ambiente de otimização na Internet conforme proposto por [CKM01], para oferecer flexibilidade na aplicação em outros problemas que possam existir no Serviço Público Estadual e que possam ser resolvidos através das técnicas de pesquisa operacional.

Esta forma de implementar o ambiente de otimização na Internet permite que vários problemas possam ser solucionados com métodos de resolução variados, sem causar grande impacto nos demais componentes do ambiente. Foram utilizadas técnicas de programação linear inteira para a modelagem do problema e como resolvidor o *Lindo API* na implementação deste ambiente; outras metodologias de otimização e *solvers* poderão ser utilizadas de forma transparente para os demais componentes.

A estrutura de dados armazenada no servidor de banco de dados fornecerá todas as informações para o controle de acesso, geração do modelo matemático, geração das consultas e relatórios.

Algumas tabelas da Estrutura de Dados são originadas dos sistemas tradicionais de Gestão Escolar, outras são alimentadas pelos diretores das escolas e as demais são atualizadas pela resolução do modelo matemático, gerado pelo Ambiente.

3.4 Componentes do Ambiente de Construção de Tabela de Horário Escolar

O Ambiente de Construção de Tabela de Horário Escolar é formado por um conjunto de componentes que interagem para a resolução de um problema, divididos em: Controle de Acesso, Configurador do Modelo, Gerador do Modelo, Editor do Modelo, Resolvedor do Modelo e a Interface de Consultas e Relatórios. A Figura 4 mostra a organização desses componentes na arquitetura do Ambiente.

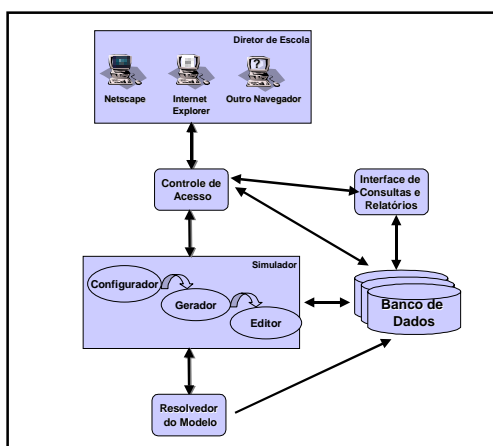


Figura 4 – Organização dos componentes do Ambiente na Internet

Os componentes do ambiente, Configurador do Modelo, Gerador do Modelo e Editor do Modelo, conforme demonstrado na Figura 4, formam o que denominamos de centro de simulação e podem ser utilizados pelo usuário para simular diversas situações. Após concluir a simulação o modelo pode ser repassado para ser resolvido e a sua solução armazenada na base de dados.

Cada componente apresentado pode ser considerado como um módulo computacional. Todos os módulos estão interligados através de uma interface e apesar de trabalharem em conjunto diferem na forma de implementação conforme descrito na seção anterior.

Controle de Acesso – O módulo de Controle de Acesso gerencia todo o acesso dos usuários ao ambiente na Internet. Através da sua interface, o módulo solicita o *login* e a senha do usuário. Depois de validado o usuário poderá realizar todas as opções do ambiente disponibilizadas para o seu nível de acesso.

- **Menu Principal** – O Menu Principal é a interface disponibilizada ao diretor de escola após o *login* no ambiente. A partir dele todas as opções podem ser acessadas, conforme Figura 5.

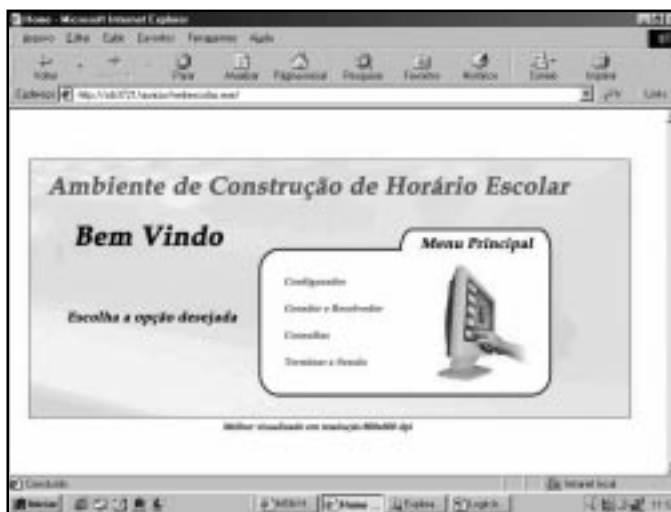


Figura 5 – Interface do Menu Principal

- **Configurador do Modelo** – O Configurador do Modelo compõe um dos componentes conceituais do Centro de Simulação. Por meio desse módulo o diretor de Escola terá acesso às opções de restrições do Modelo Matemático, podendo ativar ou desativar determinada restrição do modelo. Outras opções disponíveis dizem respeito às turmas a serem oferecidas para cada etapa, e à alteração de indisponibilidade de horários de determinado professor. As opções escolhidas serão utilizadas pelo módulo Gerador do Modelo. A interface do Configurador do Modelo pode ser visualizada através da Figura 6.

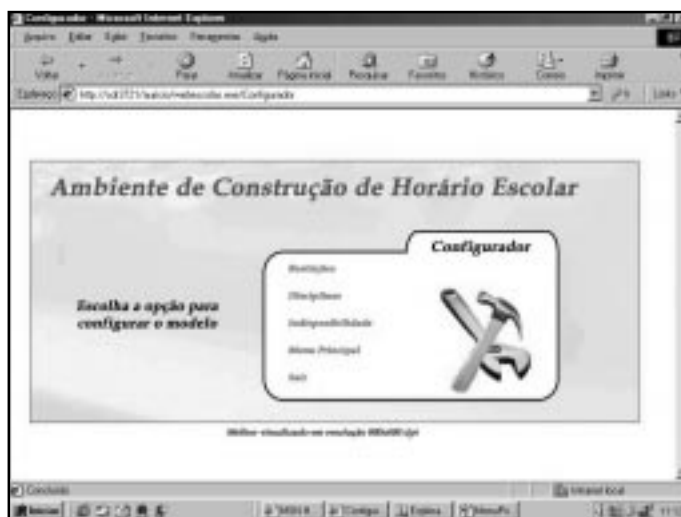


Figura 6 – Interface do módulo configurador do modelo

- **Gerador do Modelo** - O módulo Gerador do Modelo possui uma interface bastante simples conforme Figura 7. O usuário submete uma requisição ao Gerador do Modelo através de um botão, que é responsável por exe-

cutar uma rotina que lê a base de dados, que pode ter sofrido alguma atualização com as alterações realizadas pelo Configurador do Modelo, em seguida gera um arquivo texto com o modelo gerado. Esse arquivo texto pode ser visualizado através do Editor ou utilizado pelo módulo Resolvedor do Modelo para construir a tabela de horários. O Gerador do Modelo compõe o segundo módulo do Centro de Simulação.

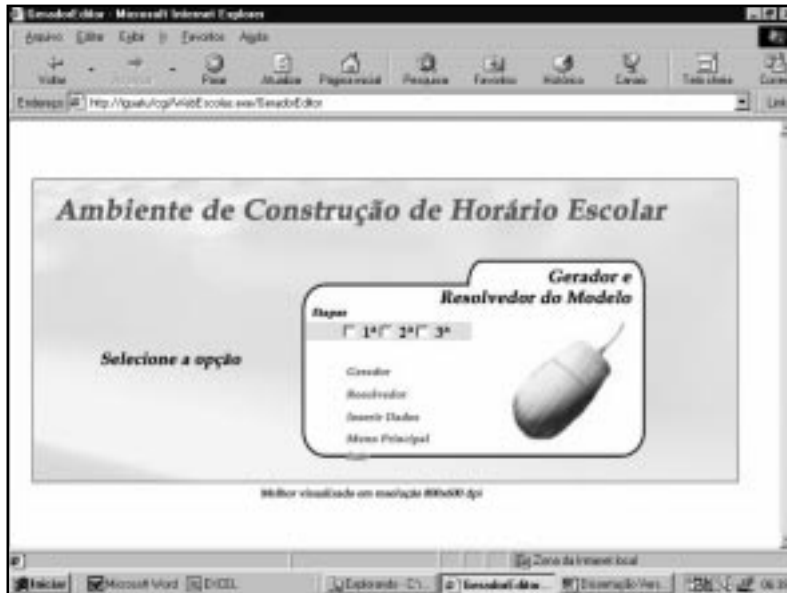


Figura 7 – Interface do módulo Gerador do Modelo

- Editor do Modelo - O Editor complementa o modelo conceitual do Centro de Simulação. Por meio desse módulo o usuário pode editar o modelo gerado pelo módulo Gerador e verificar todas as variáveis e restrições geradas. Esta opção compõe o ambiente, mas não será utilizada necessariamente pelo diretor de Escola, pois requer conhecimento em modelagem ou programação. Contudo foi implementada para futuras utilizações em outras aplicações a serem adicionadas ao ambiente.
- Resolvedor do Modelo - O módulo Resolvedor do Modelo, conforme Figura 8, pode ser executado a partir de um conjunto de opções informadas. Pode resolver o problema de geração de tabela de horários de forma parcial, deixando a critério do usuário a forma de resolver o modelo linear inteiro. Um exemplo de resolução pode ser a geração da tabela de horário apenas de uma determinada etapa, em que foi alterada alguma restrição de professor. O funcionamento desse módulo pode ser dividido nas três fases seguintes: Leitura do arquivo texto; Submissão do arquivo para o software de otimização que resolverá o modelo linear inteiro; e Recebimento e gravação na base de dados do resultado gerado pelo software de otimização.

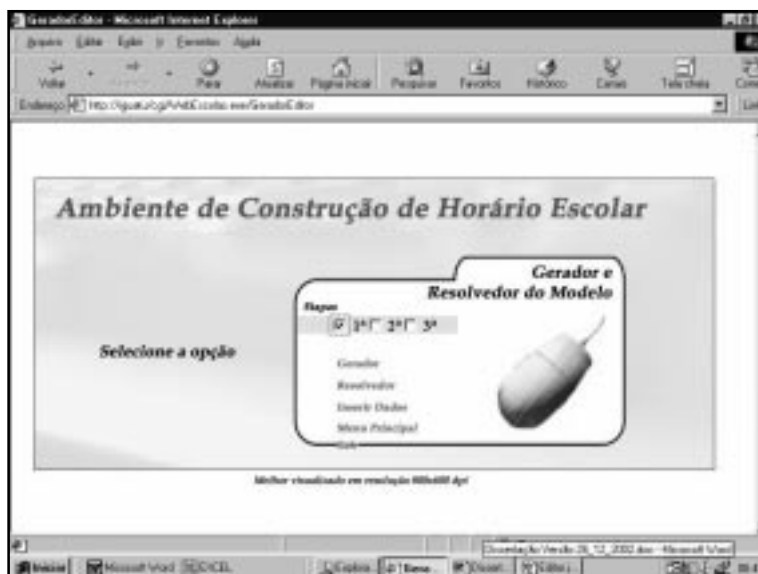


Figura 8 – Interface do módulo Resolvedor do Modelo

- Interface de Consultas e Relatórios - A Interface de Consultas e Relatórios é o módulo responsável por disponibilizar aos usuários uma interface gráfica pela qual possam submeter requisições ao Ambiente de Construção de Tabela de Horário Escolar e visualizar respostas via Internet. A Figura 9 mostra a interface do usuário.

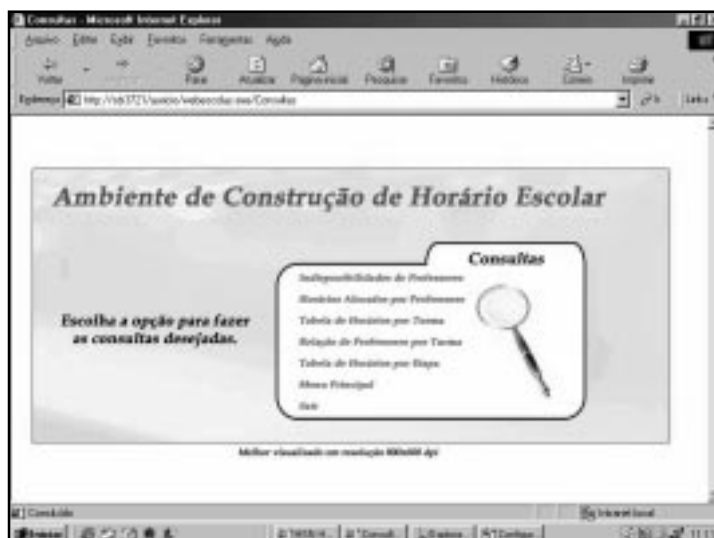


Figura 9 – Interface do módulo de Consultas e Relatórios

Por meio desse módulo o usuário realiza uma série de consultas e gera relatórios dentre eles: Horários de indisponibilidades de professores; Horários alocados por professores; Tabela de horários por turma; Tabela de horário por etapa; e Relação de professores alocados por etapa e turma.

4. CONCLUSÕES

Apresentou-se um ambiente de otimização na WWW aplicado ao problema da alocação de professores a horários nas Escolas de Ensino Médio do Governo do Estado do Ceará. Para atingir os objetivos desta pesquisa, foi necessária a execução das seguintes etapas: Realização de um estudo na literatura para concepção do modelo a ser adotado para o ambiente; Definição de um modelo matemático que pudesse ser aplicado à realidade das escolas de Ensino Médio do Governo Estadual; Implementação de um sistema utilizando técnicas de otimização que permitisse gerar o modelo e encontrar uma solução viável utilizando softwares comerciais; Disponibilização em ambiente Internet para atender a todas as escolas estaduais de ensino médio.

No momento este ambiente encontra-se em fase de avaliação junto à Secretaria de Educação, para que no próximo período letivo possa ser implantado e utilizado por todas as escolas do Estado. O sistema foi implantado e testado por uma escola estadual, sendo que testes mais rigorosos serão realizados quando da disponibilidade dos equipamentos necessários. Considerando a aceitabilidade dos gestores da SEDUC e do Diretor da escola utilizada como protótipo, principalmente quanto à facilidade e à disponibilidade do ambiente para todas as escolas com acesso a Internet, acreditamos que os recursos necessários para a plena utilização do ambiente serão viabilizados pela Secretaria de Educação.

An Environment on the WWW for the Generation of Timetables for Teachers in State High Schools

KEYWORDS

Optimization's environment – Timetabling problem – WWW – School

ABSTRACT

This paper has the main objective of conceiving a WWW optimization's environment, which make possible problem's resolution using operational research tecnics with the aggregation of new models and resolvers. Looking for performances in the WWW and the use of operational research tecnics, a study was developed in literature resulting in an arquitetura's model to the optimization's environment. This environment was used to solve the school timetabling problem in Ceara's medium teaching's schools. An interger linear programming model was defined making possible the generation and resolution with a practicable solution. The Ceara's implementation's results will make possible to optimize the school timetabling's process in the state's schools, as well as the use of the WWW's environment in other public sector's problems. The research shows that Internet can be an important component in optimization's environment to be developed and also shows that a distributed arquitetura helps to give a bigger flexibility in the use of a bunch of operational research tecnics to the problems' resolutions.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [CKM01]. COHEN, Marc-david, KELLY, Charles B and MEDAGLIA, Andrés L. 2001. Decision Support with Internet-Enabled *Software*, *Interfaces*, v. 31, n. 2 (March-April).
- [COW97]. CZYZYK, J.; OWEN, J.H.; and WRIGHT S.J. 1997. Optimization on the Internet, *OR/MS Today*, v.24, n.5 (October), p.48. Retrieved 18 October 2000 from <http://lionhrtpub.com/orms/orms-10-97/neos.html>.
- [FoGo01]. FOURER, Robert and GOUX, Jean-Pierre 2001. Optimization as an Internet resource, *Interfaces*, v. 31, n. 2 (March-April).
- [GeKr01]. GEOFFRION, Arthur M. and KRISHNAN, Ramayya 2001. Prospects for Operations Research in the E-Business Era, *Interfaces*, v. 31, n. 2 (March-April).
- [OIPi01], OLIVEIRA, J. A. & PINHEIRO, P.R. Um Ambiente de Apoio à Construção de Horário Escolar na Internet: Modelagem, implementação e aplicação nas Escolas de Ensino Médio, p. 435 - 443. *Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Pesq. Oper.*, Campos do Jordão-SP, 2001.
- [Yen97]. YEN, B. P. Internet-based simulation tools. Proceedings of the 3rd International Symposium on Logistic, Padua, Italy, July 9-11, 1997.

SOBRE OS AUTORES**JOSÉ AURICIO OLIVEIRA**

Diretor da Célula de Soluções Estratégicas em TI da Secretaria da Administração do Estado do Ceará – SEAD

Professor do Curso de Graduação em Sistemas de Informação da Faculdade CHRISTUS
Professor do Curso Politécnico Proj. e Implem. de Redes de Computadores da Faculdade Integrada do Ceará – FIC.

Bacharel em Informática pela Universidade de Fortaleza – UNIFOR

Especialista em Organização e Métodos pela Universidade de Fortaleza – UNIFOR

Mestre em Ciência da Computação pela Universidade de Fortaleza – UNIFOR

Áreas de interesse: Pesquisa operacional, ambientes de otimização, tecnologia da informação.

PLÁCIDO ROGÉRIO PINHEIRO

Coordenador do Mestrado em Informática Aplicada da Universidade de Fortaleza

Professor orientador dos cursos de Graduação em Informática e Pós-Graduação em Informática Aplicada pela Universidade de Fortaleza – UNIFOR

Graduação em Bacharel em Matemática pela Universidade Federal do Ceará – UFC

Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade de Fortaleza – UNIFOR

Especialização em Análise Matemática pela Universidade Estadual do Ceará – UECE

Mestre em Matemática pela Universidade Federal do Ceará – UFC

Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

Áreas de interesse : Engenharia do conhecimento, otimização, gestão de recursos hídricos, sistemas inteligentes