

FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO E ANÁLISE PARA COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA

Carla R. Lanzotti, Marco A. Keiler, Paulo B. Correia

Departamento de Energia – Faculdade de Engenharia Mecânica - Unicamp
lanzotti@fem.unicamp.br, mkeiler@fem.unicamp.br, pcorreia@fem.unicamp.br

Resumo. No Brasil, assim como em alguns países que tiveram o setor elétrico reestruturado, o segmento de comercialização de energia elétrica passou a ser competitivo. Desta forma, foram criados novos ambientes para a negociação de energia que utilizam como ferramenta o leilão. Um leilão, que é utilizado como um mecanismo formador de preços, é caracterizado pela sua natureza, pela forma de entrega de lances e pela determinação do preço de fechamento. Com o intuito de entender este mecanismo, este trabalho apresenta um ambiente simulador de leilão aplicado à comercialização de energia elétrica. Este ambiente consiste de uma interface desenvolvida com tecnologia JSP – Java Server Pages, um banco de dados para o armazenamento das informações e um programa de otimização para solucionar a formulação do leilão. Ao iniciar o ambiente, o leiloeiro define o formato do leilão, de acordo com sua finalidade, para a compra ou venda de blocos de energia e, então, abre para os participantes enviarem os lances ao sistema. Espera-se que a utilização deste simulador pelas empresas geradoras, distribuidoras e comercializadoras de energia permita que estes agentes encontrem estratégias de lances que obtenham uma melhor eficiência na comercialização de energia.

1. Introdução

A inserção dos leilões na comercialização de energia introduziu um novo desafio às empresas do setor elétrico que precisam vender ou comprar energia que é entender os modelos básicos de leilões que podem ser adotados nestas negociações. Atrás das formulações matemáticas do modelo, existe também uma teoria de estratégias para obter o melhor benefício para cada leilão.

Diferentes formatos de leilões foram adotados na comercialização nos mercados de energia. O *NordPool*, formado pela Noruega, Dinamarca, Finlândia e Suécia, possui um mercado *spot* que utiliza um leilão duplo fechado de preço uniforme (Makkonen, 2001). O *European Energy Exchange - EEX* utiliza dois formatos de leilões. O primeiro é um leilão fechado para contratos horários e de blocos e o segundo, um leilão aberto para negociação de contratos para cargas de base e pico (EEX, 2003). Já o Reino Unido comercializa seus lotes de energia utiliza um leilão com o preço de fechamento discriminatório (UKPX, 2003). Na Austrália é usado um leilão de oferta fechado de preço uniforme (NEMMCO, 2001).

No Brasil, os leilões foram adotados para a comercialização de energia no período de racionamento em 2001. Estes leilões, denominados leilões de certificados, tinham como meta negociar a energia excedente durante o racionamento. Em setembro de 2002, ocorreu o leilão de energia velha que tinha como objetivo disponibilizar aos agentes distribuidores e comercializadores os lotes de energia das empresas geradoras federais, estaduais e privadas que desejaram participar do leilão (MAE, 2003). Em julho deste ano iniciou a execução dos leilões de compra de lotes de energia por parte dos compradores. Estes leilões irão ocorrer mensalmente com a duração de um ano (MAE, 2003). O leilão de excedentes teve início em 12 de setembro de 2003. Este processo tem por finalidade criar um mecanismo competitivo e transparente para a venda exclusiva de excedentes originados dos contratos iniciais das geradoras aos consumidores finais (MAE, 2003).

Estes leilões foram realizados com o auxílio da Internet que permite reunir potenciais compradores e vendedores em um período de tempo reduzido e com custos operacionais baixos.

Basicamente, o que distingue os leilões são os formatos e as regras adotadas pelos leiloeiros. O leilão é considerado um mecanismo de formação de preços em um mercado competitivo. O agente que está propondo um leilão pode ter dois objetivos: maximizar a eficiência ou maximizar o benefício. Um leilão é considerado eficiente quando tem capacidade de fazer com que o preço pago pelo produto leiloadado seja próximo ao preço de custo. Geralmente o proponente decide-se pela eficiência quando não há interesse na participação dos lucros provenientes do leilão. Por outro lado, quando o proponente irá lucrar com o resultado do leilão a opção mais utilizada é a maximização do benefício.

Os principais formatos são o leilão inglês, que corresponde a um leilão aberto com preços ascendentes; o leilão holandês, que corresponde a um leilão de preços descendentes; o leilão de primeiro preço, onde o ganhador paga o preço do seu lance e, o leilão de segundo preço, onde o ganhador é aquele que der o maior lance mas, paga o lance referente ao primeiro lance perdedor. Estes formatos podem ser modificados com a determinação de outras características como preço de reserva, preço de fechamento uniforme ou discriminatório (Klemperer, 1999).

Desta forma, pela necessidade de entendimento do mecanismo de leilão, este trabalho apresenta um simulador direcionado aos agentes do setor elétrico interessados na compra e venda de energia. Os formatos de leilão implementados baseiam-se no leilão de venda e leilão de compra realizados no Mercado Atacadista de Energia (MAE). O modelo proposto pelo MAE é caracterizado por ser um leilão duplo onde os compradores e os vendedores oferecem lances de compra e venda.

Na implementação da interface do simulador foi utilizada a linguagem Java através da tecnologia *Java Server Pages* (JSP). O simulador utiliza o banco de dados *MySQL* para o armazenamento de todas as informações relevantes ao sistema e o software *Lingo*, que é responsável em resolver a formulação matemática dos modelos de leilão.

Este simulador é formado por cinco ambientes que possuem acessos distintos ao perfil de cada usuário. O sistema considera, basicamente, três tipos de usuários: o primeiro que pode apenas observar o leilão; o segundo que participa do leilão ofertando lances de compra e venda e; o terceiro, que assume o papel de leiloeiro. Desta forma, permite que um agente assumo o papel de leiloeiro, formate o leilão de acordo com as suas necessidades e, então, convide outros agentes a participarem como compradores ou vendedores do leilão formatado.

Esta ferramenta virtual é capaz de simular leilões para servir de auxílio aos agentes do setor elétrico interessados em entender o funcionamento deste novo mecanismo de comercialização adotado no mercado brasileiro de energia.

2. Implementação do simulador

Atualmente, um número expressivo de leilões é realizado através da Internet, para diferentes fins, devido à facilidade de acesso. No setor elétrico este meio também foi adotado por possibilitar reunir agentes de mercado localizados em áreas distintas.

Zimmerman et al. (1999) apresentam a arquitetura de um ambiente de leilão desenvolvido para a Internet que simula vários mercados de energia com leilões diários. Kumar and Feldman (1998) estabelecem que um leilão na Internet deve seguir os seguintes procedimentos: registro dos participantes, definição do produto a ser leiloadado, programação do leilão, envio de lances, avaliação dos lances, fechamento do leilão e liquidação da negociação. Afirmam também que uma aplicação de leilão na Internet deve ser capaz de suportar os vários tipos de leilões praticados rotineiramente no mundo.

Desta forma, o simulador foi desenvolvido para ser executado na Intranet e na Internet. Para sua implementação foi necessário o uso de uma linguagem de programação para a interface entre o usuário e os outros programas, um banco de dados para o armazenamento das informações e um programa de otimização para resolver os modelos de leilão.

O ambiente de leilão foi desenvolvido com o auxílio de ferramentas distintas. A interface com os usuários foi implementada em Java, através da tecnologia JSP, o programa de otimização foi implementado no Lingo e o Mysql foi o banco de dados adotado. A arquitetura do sistema está representada na Figura 1.

Outro aspecto a ser considerado no desenvolvimento foi a segurança dos dados no momento da troca de informações entre o cliente e o servidor. Por ser uma aplicação via Internet, o leilão deve possuir mecanismos de segurança para o acesso a informações restritas por parte dos participantes. Também deve possuir um mecanismo de notificação eficiente para informar aos participantes a situação dos seus lances (Kumar and Feldman 1998).

O simulador de leilão de energia é formado por cinco ambientes como apresentado na Figura 2. O primeiro, o ambiente de Cadastro, consiste no cadastro de usuários que desejam atuar no leilão como agente participante. O ambiente de Consulta permite o acesso às informações sobre os produtos colocados à venda e sobre os próximos leilões. O terceiro ambiente é o de Negociação onde é possível ofertar lances. Neste ambiente, o participante também cadastra os produtos que deseja ofertar. O ambiente de Resultados informa os resultados dos leilões por produto, comprador e vendedor. O último, o de Formatação, é acessado apenas pelo coordenador e permite que este defina o formato de leilão.

Este ambiente é direcionado aos agentes do setor elétrico interessados na compra e venda de energia e, por isto, permite o acesso a três tipos de usuários distintos: observador, participante e coordenador. O usuário Observador é aquele que está limitado a acessar apenas as informações de domínio público e que não necessita de registro. No site do simulador do leilão é possível acessar a tela de Consulta que corresponde às informações sobre os lotes de energia colocados à venda e a situação dos leilões. Também pode acessar a tela de Resultados que contém as informações referentes aos leilões anteriores. Se o Observador for um agente de mercado com interesse em comprar ou vender energia, ele pode se cadastrar acessando a tela de Cadastro. O usuário Participante é um agente do mercado que deseja participar do leilão de energia como comprador ou vendedor e que possui registro no ambiente. Com exceção da tela Formatação do leilão, ele pode acessar todas as outras do simulador (Cadastro, Consulta, Resultados e Negociações). O Coordenador é o usuário responsável do leilão e é conhecido como leiloeiro. É ele quem define o formato que será aplicado no leilão. Ele é o único usuário que tem acesso à tela de Formatação do leilão.

A parte essencial do simulador é a implementação do ambiente de liquidação do leilão. É neste módulo do programa que todas as informações referentes aos lances são processadas. No simulador, os formatos de leilões reproduzidos se espelham nos realizados pelo MAE, denominados leilões de venda e de compra. A otimização de dados é realizada pelo *software Lingo* que permite determinar os resultados do leilão, que incluem a receita do leiloeiro, a quantidade de lotes negociados entre agentes, o preço de fechamento e o volume transacionado para cada produto.

2.1 Leilão de venda

O objetivo do leilão de energia velha, que ocorreu em setembro de 2002, era de disponibilizar, aos agentes distribuidores e comercializadores, os lotes de energia das empresas geradoras federais, estaduais e privadas que desejaram participar do leilão (MAE, 2002).

Desta maneira, na primeira fase do leilão, os participantes vendedores definem os produtos que desejam colocar à venda. Para isto, é necessário preencher o formulário existente na tela de cadastro de participante, do ambiente de *Negociação*. O produto deve ser definido com as seguintes informações: vendedor, submercado, potência máxima (MW), potência mínima (MW), fator de restrição e prazo. Além disto, os vendedores devem fornecer para cada produto, até cinco preços de reserva e, para cada um, a respectiva quantidade.

Na fase seguinte, os compradores acessam o simulador na página de Negociação e verificam os produtos que estão colocados à venda e também o preço corrente para, então, enviar seus lances. Neste formato de leilão, o comprador define o produto que deseja adquirir e informa o número de

lotes. Quando a quantidade demandada superar a quantidade ofertada para o primeiro patamar de preço, este será elevado através de um valor de incremento que é estabelecido pelo leiloeiro. Os lances dos proponentes compradores se restringem ao valor máximo de 70% da quantidade ofertada pelo vendedor em casos onde a oferta superar 100 lotes.

Neste caso, o objetivo do leilão é maximizar a receita esperada do vendedor. Conseqüentemente, o preço de fechamento do produto corresponde ao maior lance ativo no momento do fechamento. Com o encerramento e determinação dos lances vencedores, o sistema disponibiliza uma lista indicando o total de lotes negociados, o preço de fechamento, a identidade dos compradores vencedores e os agentes vendedores.

2.2 Leilão de compra

O outro modelo computacional implementado no simulador se refere aos leilões de compra de energia elétrica iniciados em julho, deste ano, e que ocorrerão mensalmente pelo período de um ano. O objetivo do leilão é a oferta de compra de lotes de energia por parte dos demandantes (MAE, 2003).

O objeto do leilão é a oferta de compra de lotes de energia, com 0,5 Mw médio, com características diferenciadas por produto. Este, por sua vez, deve possuir as seguintes características: comprador, submercado de entrega, prazo de duração do contrato, tipo do lote de energia (de base ou flexível), prazo de início de suprimento. Os contratos de compra e venda de energia elétrica contemplam períodos de suprimento de 6 meses, 9 meses, 1 ano e até dezembro de 2004.

Neste formato de leilão, o responsável por estabelecer os preços de reserva para cada lote de energia são os próprios compradores. Aqui, os proponentes vendedores apresentam apenas os lances de quantidade para cada produto que desejam oferecer.

Desta forma, primeiramente os compradores definem os produtos que desejam adquirir, informando ao coordenador do leilão as características dos produtos, o número de lotes e os preços de reserva. Para cada produto o comprador pode definir até cinco preços de reserva e a quantidade associada a cada um. Durante a execução do leilão, o agente vendedor determina o produto que deseja vender e define o número de lotes, de acordo com o preço estabelecido pelo sistema de leilão em forma de lances.

No leilão de compra o objetivo é comprar energia do gerador que vender pelo menor preço. Portanto, o preço de fechamento corresponde ao menor lance ativo no momento do fechamento.

2.3 Ambiente de liquidação

Para poder participar do leilão é necessário que os agentes estejam cadastrados no sistema. Assim, quando o agente de mercado validar seu *login* e senha na tela inicial terá acesso ao simulador e poderá cadastrar seu produto ou enviar lances.

No ambiente computacional, a tela de lance é a mesma para o leilão de compra e de venda. Assim, na tela de lances, representada pela Figura 3, o usuário pode visualizar os produtos que estão sendo oferecidos e o preço corrente do sistema. Então, para realizar um lance, o agente define o produto e a quantidade de lotes desejada e pressiona o botão *Enviar lance*.

O sistema, através de uma tela de confirmação apresentada na Figura 4, pede que este seja confirmado e, após esta confirmação, as informações contidas no formulário são enviadas ao programa *Lingo* em um arquivo texto para serem processadas e, então o lance é efetuado. Neste momento, o sistema envia uma tela de efetivação, representada na Figura 5. Finalmente, o *Lingo* cria um novo arquivo texto com as novas informações e as envia ao banco de dados *Mysql* onde serão armazenadas. Assim, estas informações poderão ser consultadas pelos agentes e pelo leiloeiro posteriormente.

Na medida em que os lances são processados, o programa retorna uma mensagem para os agentes informando a situação dos seus lances, ou seja, se eles são ativos ou inativos. Um lance

aceito pode assumir uma das seguintes situações: atendido, parcialmente atendido ou não atendido. O controle do envio dos lances é realizado com o auxílio de um marcador de tempo de leilão que determina a ordem dos lances através do horário de recebimento.

No leilão de compra, os lances considerados atendidos e ativos são aqueles em que o preço ofertado é igual ou menor ao preço corrente. No leilão de venda o lance deve ser igual ou maior ao preço corrente. Onde houver mais de um lance para o preço corrente e não houver lotes suficientes para atender todos os lances neste preço, os lances serão atendidos pela ordem de recebimento. Se houver um lance que não possa ser atendido integralmente pelos lotes disponíveis, este lance será parcialmente atendido pelos lotes ofertados então disponíveis (MAE, 2003). O agente que tiver seu lance cancelado pode voltar a concorrer enviando uma nova oferta para o produto. Quando não houver novos lances dentro de um período de tempo determinado pelo próprio sistema, o leilão é encerrado.

3. Considerações finais

Este trabalho apresentou um simulador de leilão capaz de representar dois dos formatos de leilão aplicados pelo MAE na comercialização de energia elétrica. O primeiro, o leilão de venda que foi executado em setembro de 2002 e, o segundo, o leilão mensal de compra voltado a aquisição de lotes de energia pelas empresas distribuidoras e comercializadoras.

O simulador virtual seguiu a tendência dos leilões direcionados à comercialização e foi implementado utilizando ferramentas que possibilitam o acesso em uma rede local ou na Internet. Esta característica facilita a execução do leilão quando os agentes participantes não estão no mesmo local.

Com o auxílio desta ferramenta computacional, um agente do setor assume o papel de coordenador de leilão e define o formato que deseja realizar as simulações. Então, convida outros agentes para tomarem parte do leilão, representando participantes compradores ou vendedores de lotes de energia elétrica.

Com estas simulações, estes agentes podem verificar e também definir melhor suas estratégias de lances a fim de gerar uma maior eficiência dos seus lances em um leilão realizado pelo MAE.

4. Referências

- EEX. Trading system. disponível: <http://www.eex.de>, 2003.
- KLEMPERER, P. Auction theory: a guide to the literature. *Journal of Economics Surveys*, vol 13, n.3, pp. 227-286, 1999.
- Hall, M. *Core Servlets and JavaServer Pages*. Prentice Hall PTR, 2000.
- KUMAR, M., FELDMAN, S. I. Internet auctions. In *Third USENIX Workshop on Electronic Commerce*, pp. 49–60, 1998.
- MAE. Leilões. Disponível: <http://www.mae.org.br>
- MAE. Edital N.001/2003 Leilão de Compra de Energia das Concessionárias de Distribuição e empresas de Comercialização de Energia Elétrica, 2003.
- MAKKONEN, S.; LAHDELMA, R. Analysis of power pools in the deregulated energy market through simulation. *Decision Support Systems* 30, 289–301, 2001.
- NEMMCO. An introduction to Australia's national electricity market. Disponível: <http://www.nemmco.com.au/publications/publications.htm>, 2003.
- NETA. The market model. Disponível: <http://www.ukpx.com>. 2003.
- WURMAN, P. R. et al. Control architecture for a flexible internet auction. In *First IAC Workshop on Internet Based Negotiation Technologies*, 1999.
- ZIMMERMAN, R. D. et al. A web-based platform for experimental investigation of electric power auctions. *Decision Support Systems* 24, 193–205, 1999.

5. Figuras

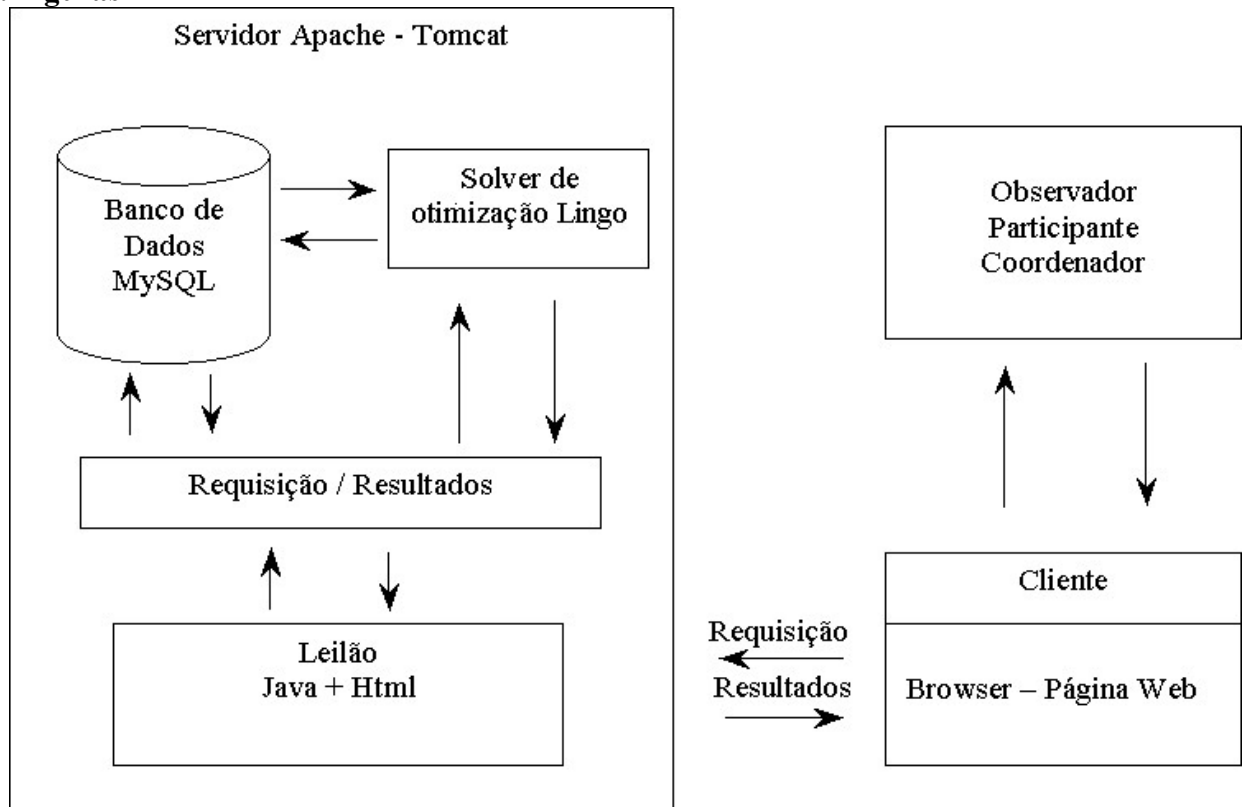


Figura 1: Arquitetura do sistema

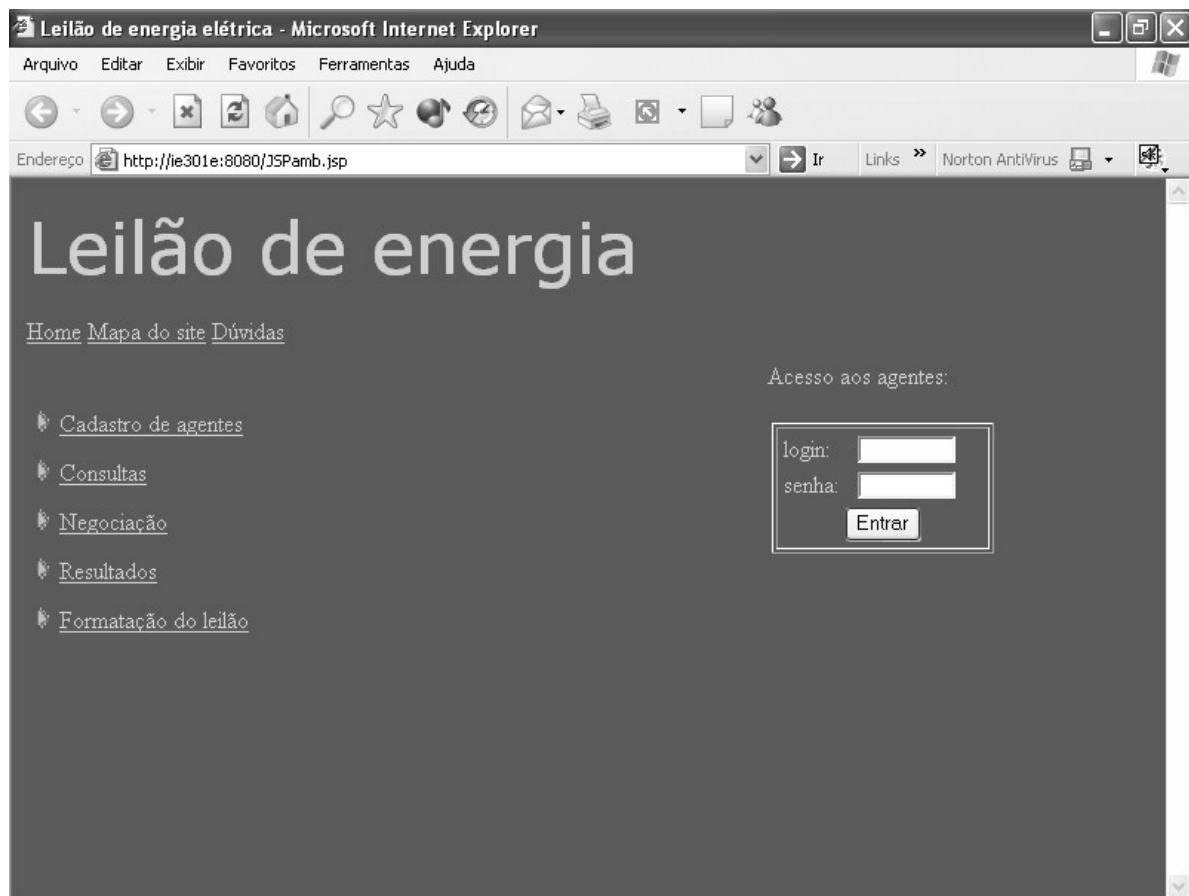


Figura 2: Tela inicial do simulador de leilão

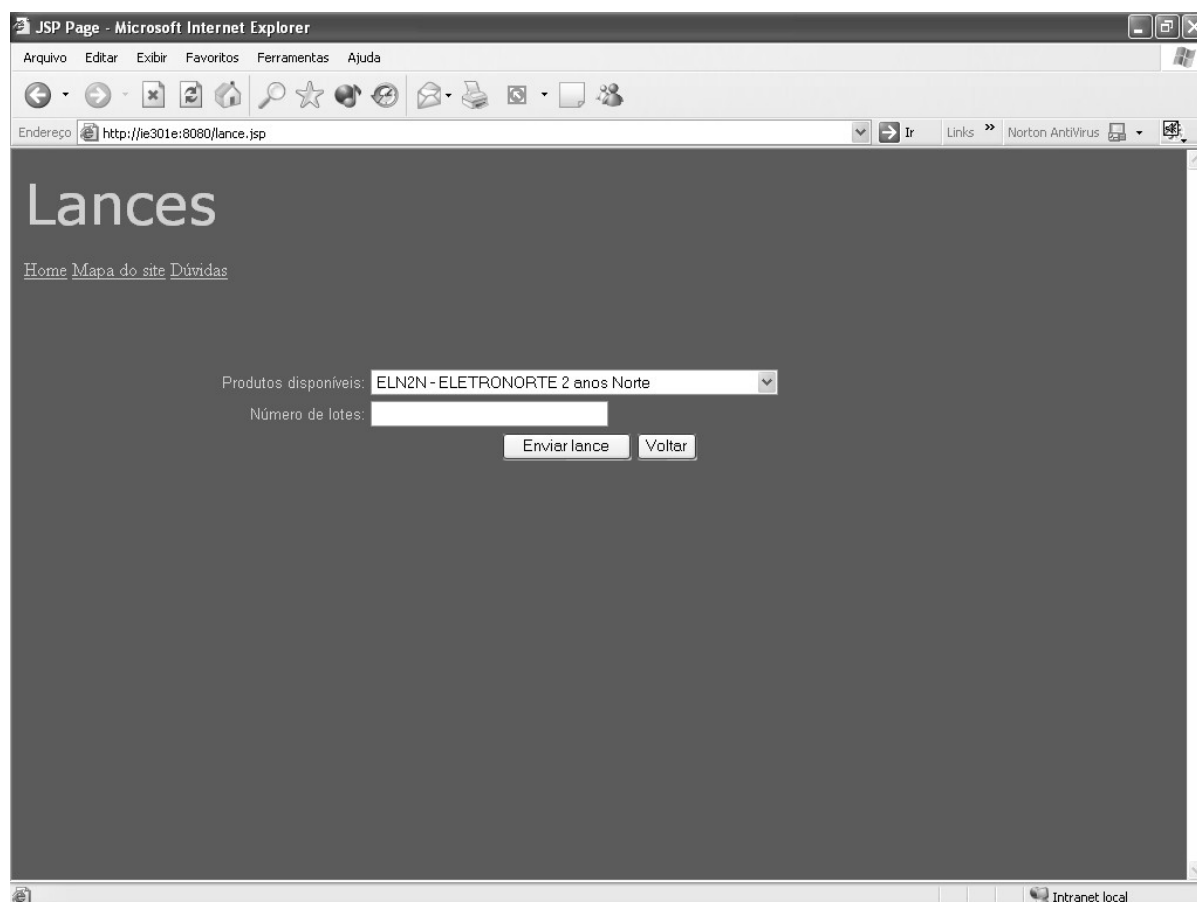


Figura 3: Tela de lances



Figura 4: Tela de confirmação de lance



Figura 5: Tela de lance efetuado

Curriculum

Carla Regina Lanzotti

Instituição: Departamento de Energia - DE
Faculdade de Engenharia Mecânica - FEM
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Endereço Residencial:

Av. Alan Kardec, 91 - Nova Jaboticabal – Jaboticabal – SP.
16 3202-7635 (Jaboticabal) 19 3289 7687 (Campinas)
Data de nascimento: 13/12/1973

Informações Acadêmicas:

Doutorado: Doutoranda no Planejamento de Sistemas Energéticos, Unicamp, Campinas – SP, término previsto para março de 2005.

Mestrado: Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos, Unicamp, Campinas – SP (2000)

Curso Superior: Tecnologia em processamento de dados, FATEC – Taquaritinga – SP, 1995

Marco Aurélio Keiler

Instituição: Departamento de Energia - DE
Faculdade de Engenharia Mecânica - FEM
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Informações Acadêmicas:

Graduação: Engenharia da Computação – PUC-Campinas – 2002

Mestrado: Planejamento de Sistemas Energéticos - DE/FEM/UNICAMP – 2003 - Atual

Experiência Profissional: DEP/FEM/UNICAMP – 05/2001 – 01/2003 – Desenvolvimento de interface gráfica em Delphi e de simulador em Fortran , destinado a controle de poços de petróleo em águas profundas.