

João Augusto Silva Lêdo

**Modelo de Cálculo de Ofertas Estratégicas
de Sistemas Hidrotérmicos Formulado como
um Problema de Otimização Bi-Nível**

Bauru

2020

João Augusto Silva Lêdo

**Modelo de Cálculo de Ofertas Estratégicas de
Sistemas Hidrotérmicos Formulado como um
Problema de Otimização Bi-Nível**

Dissertação de qualificação de mestrado
apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Elétrica da Faculdade de
Engenharia de Bauru

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Nepo-
muceno

Área de Concentração: Automação

Linha de Pesquisa: Sistemas de Ener-
gia

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Faculdade de Engenharia de Bauru

Departamento de Engenharia Elétrica

Bauru

2020

L474m

Lêdo, João Augusto Silva

Modelo de Cálculo de Ofertas Estratégicas de Sistemas
Hidrotérmicos Formulado como um Problema de Otimização Bi-Nível
/ João Augusto Silva Lêdo. -- Bauru, 2020

150 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Engenharia, Bauru

Orientador: Leonardo Nepomuceno

1. Modelo de Cálculo de Ofertas Estratégicas. 2. Mercado do dia
Seguinte. 3. Problema de Programação Matemática com Restrições de
Equilíbrio. 4. Problema Linear Inteiro-misto. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Engenharia, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE JOÃO AUGUSTO SILVA LÊDO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 05 dias do mês de novembro do ano de 2020, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de JOÃO AUGUSTO SILVA LÊDO, intitulada **MODELO DE CÁLCULO DE OFERTAS ESTRATÉGICAS DE SISTEMAS HIDROTÉRMICOS FORMULADO COMO UM PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO BI-NÍVEL**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. LEONARDO NEPOMUCENO (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof^a. Dr^a. EDILAINE MARTINS SOLER (Participação Virtual) do(a) Departamento de Matemática / Faculdade de Ciências de Bauru - UNESP, Prof. Dr. GUILHERME GUIMARÃES LAGE (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Elétrica / Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: Aprovado . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. LEONARDO NEPOMUCENO

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, eu gostaria de iniciar os agradecimentos dizendo que, as conquistas que alcancei no mestrado, além de todas as que eu já alcancei em minha vida, foram possíveis apenas porque sob a benção de Deus todo-poderoso Pai, Filho e Espírito Santo e da Nossa Senhora, permitiu-me que acontecessem coisas maravilhosas, e proporcionou-me ao longo do caminho, além da força necessária para persistir, pessoas das quais me possibilitaram alcançar tais conquistas.

Dentre essas pessoas maravilhosas que estiveram junto de mim em minha caminhada, eu gostaria de agradecer em especial, à minha família. Meus pais, Carlos Augusto Cassebe Lêdo, e Dulce Maria da Silva Lêdo, que me deram suporte financeiro e emocional para persistir em minha caminhada. Minha irmã, Maria Gabriela Silva Lêdo, que me acompanhou em todo esse processo. E aos meus familiares, que de alguma forma, direta ou indireta, também contribuíram.

Em seguida eu gostaria de agradecer ao meu orientador, o Professor Dr. Leonardo Nepomuceno, que não só me guiou em todo o processo, mas também me inspirou a melhorar cada vez mais as minhas percepções acadêmicas e profissionais, além de me instigar a sempre estar no limite do conhecimento, e progredir na direção de um bom pesquisador.

Mais adiante, eu gostaria de agradecer também a todos os meus amigos que estiveram ao meu lado, sejam eles de longa data, como também aos que conheci no laboratório de pesquisa. Em especial, gostaria de agradecer a minha namorada Ana Cristina da Silva Nunes, que muito antes de ser minha namorada, é uma grande amiga minha a quem sempre me apoiou e esteve junto de mim.

Posteriormente, eu gostaria de agradecer também, aos meus professores que ministraram disciplinas tão importantes ao longo do meu mestrado, e possibilitaram a mim, adquirir o conhecimento necessário para que eu o pudesse implementar. E aos funcionários técnicos e administrativos da Sessão Técnica de Pós-Graduação, que me proporcionaram informação necessária e organizaram toda a questão administrativa ao longo de todo o processo.

Finalmente, eu gostaria de agradecer a Universidade Estadual Paulista (UNESP) e a Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB), pela oportunidade de pesquisa. Além disso, eu gostaria de agradecer também, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento deste presente trabalho.

RESUMO

Em um cenário regulado de mercados de eletricidade, em que sua operação é controlada pelo operador de mercado e o operador de sistema, os agentes participantes, sejam eles geradores ou consumidores, devem submeter lances ao operador de mercado, de modo que ele feche o mercado. Assim sendo, este trabalho tem como objetivo propor e testar um modelo matemático para a tomada de decisão relacionada ao cálculo das ofertas estratégicas em mercados de energia do dia seguinte por uma companhia geradora do tipo *price-maker* em um sistema hidrotérmico. O modelo de cálculo das ofertas estratégicas proposto considera os modelos de decisão adotados pelo operador de mercado, por meio da formulação de um problema de otimização bi-nível, em que as decisões do operador de mercado são consideradas no nível inferior. Na técnica de solução proposta, o modelo bi-nível é reformulado como um problema de otimização equivalente de um único nível com restrições de equilíbrio, por meio da substituição do problema de nível inferior por suas correspondentes condições de KKT. A técnica de solução proposta envolve ainda a linearização do problema equivalente. O problema linear inteiro misto resultante desta linearização é resolvido pelo *solver* CPLEX. Foram realizados testes numéricos em um sistema elétrico que envolve 32 unidades geradoras e 17 consumidores, interconectados em um sistema de transmissão de 24 barras. Os resultados obtidos do cálculo das ofertas estratégicas mostram que a técnica de solução adotada permite resolver o problema e verificar a coerência do modelo hidrotérmico proposto em termos econômicos e do sistema de geração hidráulico.

Palavras-chave: Modelo de Cálculo de Ofertas Estratégicas, Mercado do dia Seguinte, Problema de Programação Matemática com Restrições de Equilíbrio, Problema Linear Inteiro-misto.

ABSTRACT

On a regulated electricity markets scenario, where its own operation are administrated by market operator and system operator, the participants, even if they are generators or consumers, must submit offers and bids to the market operator, in order to proceed the market clearing. Therefore, this project aims at proposing a mathematical model for the decision-making process related to the strategic offering calculation for an electricity day-ahead market by a price-maker power company on a hydro-thermal system. The proposed strategic offering calculation model takes into account the decision models adopted by the market operator, by means of the formulation of a bi-level optimization problem, wherein the market operator's decisions are considered at the lower level. In the proposed solution technique, the bi-level model is reformulated as an equivalent single level mathematical problem with equilibrium constraint, through replacing the lower level by its corresponding KKT conditions. The proposed solution technique also enfoldes a linearization of the equivalent problem. The linear mixed-integer mathematical problem resulted from its linearization are solved by CPLEX solver. Were done numerical tests on an electrical system that involves 32 generating units and 17 consumers, interconnected in a 24-bus transmission system. The results show that the proposed strategic offering calculation model is efficient to solving the problem and it is coherent with the macroeconomic theory and the hydraulic system generation.

Key-words: Strategic Offering Calculation, Day-Ahead Market, Mathematical Program with Equilibrium Constraint, Linear Mixed-Integer Mathematical Problem.

LISTA DE SIGLAS

- OS** - Operador do Sistema
- OM** - Operador do Mercado
- COE** - Cálculo de Ofertas Estratégicas
- PEM** - Procedimento de Equilíbrio de Mercado
- MPEC** - *Mathematical Program with Equilibrium Constraints*
- EPEC** - *Equilibrium Problems with Equilibrium Constraints*
- PMRE** - Problema Matemático com Restrição de Equilíbrio
- KKT** - Karush-Kuhn-Tucker

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Mercados de Energia	4
2.1	Tipos de Mercado	4
2.1.1	Mercados Organizados	4
2.1.1.1	Mercado <i>Pool</i>	4
2.1.1.2	Mercado de Futuros	6
2.1.2	Mercados Não Organizados	6
2.2	Agentes	7
2.2.1	Produtores de Energia	7
2.2.2	Consumidores	7
2.2.3	Atacadistas ou Revendedores	8
2.2.4	Operadores de Mercado e do Sistema	8
3	Companhias Geradoras - Estratégias	9
3.1	Cálculo de Ofertas Estratégias no Mercado do Dia Seguinte	9
3.1.1	Procedimento de Equilíbrio de Mercado	9
3.1.1.1	Nomenclatura	10
3.1.1.2	Modelo Matemático	11
3.1.2	O Problema da Companhia <i>Price-Maker</i>	12
3.1.3	Problema de Cálculo de Ofertas Estratégias	13
4	Modelo de Cálculo de Ofertas Estratégicas Proposto	15
4.1	Modelo Bi-nível	15
4.1.1	Nomenclatura	16
4.1.2	Modelo Matemático	22
4.1.2.1	Nível superior	22
4.1.2.2	Nível inferior	22
5	Técnica de Solução Proposta	26
5.1	Condições de KKT do Problema de Nível Inferior	27
5.1.1	Derivadas Parciais da Função Lagrangiana	27
5.1.2	Restrições de Complementaridade	28
5.2	Linearizando o Termo Bilinear na Função Objetivo do Problema de Nível Superior	34
5.3	Modelo de um Único Nível Equivalente Proposto	40
6	Testes e Resultados	46
6.1	Sistema Teste Utilizado	46

6.2	Análise Comparativa entre o COE e uma Abordagem Não Estratégica no PEM	47
6.2.1	Caso 1 - Transmissão Não Congestionada para Sistema Termoelétrico	47
6.2.2	Caso 2 - Transmissão Congestionada para Sistema Termoelétrico . .	48
6.2.3	Caso 3 - Sistema Hidrotérmico	49
6.3	Análise do Desempenho Econômico do COE	50
6.3.1	Caso 1 - Transmissão Não Congestionada para Sistema Termoelétrico	51
6.3.2	Caso 2 - Transmissão Congestionada para Sistema Termoelétrico . .	57
6.3.3	Caso 3 - Sistema Hidrotérmico	62
6.4	Tempos Computacionais	72
7	Conclusões	74
	Referências	76

Apêndices 78

APÊNDICE A Derivadas em Relação às Variáveis do Problema 79

A.1	Derivada em Relação a \mathbf{p}^G	79
A.1.1	Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a p_{tub}^G , em que u Pertence ao Conjunto I	80
A.1.2	Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a p_{tub}^G , em que u Pertence ao Conjunto J	80
A.1.3	Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a p_{tub}^G , em que u Pertence ao Conjunto \mathcal{T}	81
A.1.4	Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a p_{tub}^G , em que u Pertence ao Conjunto \mathcal{H}	82
A.1.5	Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a p_{tub}^G , para Todas as Unidades u	82
A.2	Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a p_{tkb}^C	83
A.3	Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a θ	83
A.4	Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a \mathbf{q}	85
A.5	Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a \mathbf{s}	89
A.6	Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a \mathbf{q}^{\max}	92
A.7	Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a \mathbf{x}	92

APÊNDICE B Dados para o Sistema Hidrotérmico Utilizado nos Resultados 94

B.1	Introdução	94
B.2	Dados de Transmissão	94
B.3	Dados de Usinas e Unidades Hidrelétricas	94

1 INTRODUÇÃO

No ambiente regulado, anterior aos mercados de eletricidade, o planejamento e a operação da geração eram feitos de forma centralizada pelo operador do sistema (OS). Os modelos utilizados pelo operador tinham como objetivos a minimização dos custos de planejamento e operação, porém considerando as restrições de atendimento da demanda e as restrições de segurança e confiabilidade do sistema. Já no ambiente de mercados de eletricidade, o planejamento e operação da geração têm sido feitos pelos OS e OM. Os modelos utilizados por tais operadores têm como objetivo promover a concorrência e a modicidade tarifária (outras funções objetivo são utilizadas), mas também considerando as restrições de atendimento da demanda e de segurança e confiabilidade do sistema. (SHAHIDEHPOUR; YAMIN; LI, 2002; CONEJO; CARRIÓN; MORALES, 2010).

Em geral, a promoção da concorrência é feita nos mercados de curto prazo e de futuros. No mercado de curto prazo a eletricidade é negociada e entregue no curto prazo (em geral, no dia seguinte). Já o mercado de futuros envolve negociações em que a energia é vendida para ser entregue em uma data futura. Um dos mecanismos para o gerenciamento destes mercados envolve os chamados leilões de eletricidade nos quais as companhias geradoras fornecem ofertas de energia (blocos envolvendo quantidade e preço de venda) enquanto os consumidores fornecem lances de energia (blocos envolvendo quantidade e preço de compra). Neste ambiente, o OM, em geral, tem por principal objetivo maximizar a chamada função de bem comum (*social welfare*). O OM é responsável por receber as ofertas e lances e processá-los através de um procedimento de equilíbrio (modelo de leilão), determinando os preços de equilíbrio e as potências geradas e consumidas que serão despachadas no mercado.

No mercado *pool* do dia seguinte, o OM e OS resolvem o denominado procedimento de equilíbrio de mercado (PEM) para a solução do leilão de energia, para as 24 horas do dia. O PEM tem como objetivo a maximização da função de bem comum, sujeita ao atendimento dos principais aspectos físicos e operativos, tais como as restrições de transmissão e de geração para sistemas termelétricos (KARDAKOS; SIMOGLU; BAKIRTZIS, 2013), e restrições hidráulicas em sistemas com geração hidrelétrica. (NEPOMUCENO, 2014; PEREIRA et al., 2017).

Enquanto o OM possui o objetivo de maximizar o bem comum, os agentes geradores têm por objetivo a maximização de seus lucros, através da escolha estratégica de suas ofertas no leilão (TORRE; CONTRERAS; CONEJO, 2004). Assim, por um lado, os agentes

geradores precisam definir quais são os blocos de ofertas que irão potencialmente maximizar seus lucros nos mercados de curto prazo e de futuros. O modelo que busca maximizar os lucros dos agentes geradores nestes mercados, sujeito as suas próprias restrições operativas, é denominado de Cálculo de Ofertas Estratégicas (COE). O lucro de uma companhia geradora, utilizado no modelo de COE, é função do preço de equilíbrio de mercado, o qual, é obtido pela solução do PEM executado pelo OM. O preço de equilíbrio é dado pela variável dual associada à restrição de atendimento de demanda no modelo de PEM. Por outro lado, para a resolução do PEM pelo OM, é necessário que este receba todas as ofertas e lances dos agentes geradores e consumidores, respectivamente. Assim, há um problema de “circularidade” advindo da inter-relação entre os problemas de otimização resolvidos pelos agentes. Desta forma, para o cálculo de seu lucro, o agente gerador também necessitaria conhecer as ofertas e lances dos demais agentes, bem como o preço de equilíbrio de mercado.

Em função das dificuldades relacionadas a esta “circularidade”, uma abordagem para a formulação do problema de COE envolve a representação direta da interação matemática (equilíbrio) entre os problemas de otimização do agente gerador e do OM, cuja formulação é feita por meio de problemas de complementaridade (LUO; PANG; RALPH, 1996), (GABRIEL et al., 2013). Se assumirmos uma demanda inelástica, essa formulação envolve o equilíbrio entre os problemas de COE de todas as companhias geradoras e o PEM utilizado pelo OM. Nesta abordagem, a modelagem da interação entre os diferentes produtores e o OM é feita como um problema de equilíbrio formulado através de um problema de programação bi-nível.

Assim, em uma abordagem baseada no conceito de equilíbrio, a formulação do COE de uma companhia geradora pode ser realizada por meio de um problema de otimização bi-nível (PEREIRA et al., 2005; DAI; QIAO, 2015; CONEJO; CARRIÓN; MORALES, 2010). Neste tipo de formulação, o nível superior se refere a um problema de maximização de lucros da companhia, enquanto o nível inferior é um modelo de leilão. Caso seja convexo, o problema de nível inferior pode ser substituído por suas condições de otimalidade de primeira ordem (condições de Karush-Kuhn-Tucker (KKT)) (LUO; PANG; RALPH, 1996), de modo que o problema bi-nível original pode ser transformado em um problema de um único nível, formulado como um Problema Matemático com Restrições de Equilíbrio (PMRE), por se tratar de um problema que envolva restrições de complementaridade, (também é muito comum a sigla MPEC¹) (LUO; PANG; RALPH, 1996). Uma revisão da literatura envolvendo a solução de problemas de COE é descrita em (STEEGER; BARROSO; REBENNACK, 2014).

A grande maioria das modelagens existentes bi-níveis relacionadas ao COE para

¹ A sigla MPEC vem do termo em inglês *Mathematical Program with Equilibrium Constraints*.

mercados do dia seguinte, formulam as restrições operativas do sistema somente no nível superior, fazendo com que apenas as restrições operativas (hidrotérmicas) pertinentes a companhia *price-maker* sejam consideradas, e assim, portanto subestimando as restrições operativas dos demais agentes. Este trabalho propõe uma formulação baseada em um modelo matemático bi-nível para o problema de COE em sistemas hidrotérmicos em que tais restrições operativas são formuladas no nível inferior (PEM), assim, portanto, não subestimando as restrições operativas das demais companhias que atuam nesse mercado. Os resultados obtidos nesse trabalho apontam que os preços horários ofertados pela companhia *price-maker* seguem os valores dos preços de equilíbrio de mercado em cada período. Os resultados mostram também que nem sempre a companhia *price-maker* ofertará toda sua capacidade de geração, pois assim ela não saturará o mercado, e não fará com que os preços caiam, mostrando-se assim eficiente a técnica de solução proposta ao modelo de COE proposto. As dificuldades relacionadas à formulação do COE e a solução dos problemas do tipo PMRE, que resultam da linearização de um problema matemático de um único nível equivalente ao modelo bi-nível proposto, são discutidas, bem como a motivação para o desenvolvimento deste trabalho.

Neste trabalho, no Capítulo 2 são descritos os principais conceitos relacionados aos mercados de energia. No Capítulo 3 são descritas as estratégias utilizadas pelas companhias geradoras de modo a calcular suas ofertas estratégicas no mercado do dia seguinte. Também neste capítulo é descrito um modelo de COE que será utilizado como base para a formulação do modelo proposto. No Capítulo 4, é apresentado o modelo proposto, alvo desta pesquisa. No Capítulo 5 é descrita a técnica de solução para o problema bi-nível presente na formulação do COE, substituindo-o por um modelo de PMRE equivalente, e linearizando este modelo para que o mesmo possa ser resolvido pelo pacote computacional de otimização *CPLEX-Studio* da IBM. No Capítulo 6 são abordados os testes feitos com o modelo de COE proposto e são discutidos os resultados obtidos. No Capítulo 7 são abordadas as conclusões finais provenientes dessa pesquisa. No Apêndice A, são descritas as derivadas utilizadas na descrição do PMRE proposto. No Apêndice B, são apresentados os dados utilizados para a obtenção dos resultados através dos testes realizados no Capítulo 6. No Apêndice C, são descritos os resultados obtidos no Capítulo 6 referentes às quantidades e aos preços que devam ser ofertados pela companhia *price-maker* ao final da resolução do COE. Apesar de serem fundamentais, estes resultados são postos em anexo pelo fato de se tratar de um grande volume de informação, por conta dos resultados estarem retratados em base horária para cada bloco de cada unidade da companhia *price-make*.

2 MERCADOS DE ENERGIA

Esse capítulo tem como objetivo descrever brevemente o funcionamento do mercado e de seus agentes com base nas definições dadas em (CONEJO; CARRIÓN; MORALES, 2010). Para isso, são descritos nesta seção os principais tipos de mercado, os quais podem ser classificados em mercados organizados e não organizados. Além disso, são descritos os principais agentes envolvidos nestes mercados, os quais envolvem: produtores, consumidores, transmissores e operadores de mercado e do sistema.

2.1 Tipos de Mercado

Nesta seção são descritos os principais tipos de mercados de energia. Em geral, as estruturas de mercado podem variar em sua forma de implementação, entretanto existem algumas estruturas básicas que são recorrentes em grande parte dos mercados existentes pelo mundo. Geralmente, os mercados podem ser classificados como organizados e não organizados. Os mercados organizados são detalhados na Seção 2.1.1, e os mercados não organizados são descritos na Seção 2.1.2.

2.1.1 Mercados Organizados

Os mercados organizados são assim denominados porque necessitam de um agente intermediador que gerencie as transações envolvendo a energia. De forma geral, esta intermediação é feita pelo operador de mercado (OM). Esses mercados são classificados em dois tipos básicos: *pool* e mercado de futuros. As negociações no mercado *pool* envolvem transações de compra e venda de energia no curto prazo, enquanto as transações no mercado de futuros são feitas a médio e longo prazos. A Figura 2.1 mostra uma estrutura para os mercados organizados, em que os ambientes dos mercados *pool* e de futuros são destacados. Também são destacados os principais agentes envolvidos, quais sejam: os produtores, os produtores não despacháveis, os consumidores, atacadistas e clientes, bem como o OM e OS.

2.1.1.1 Mercado *Pool*

No mercado *pool*, são feitas as transações de energia no período de curto prazo. Em geral, a energia é negociada para o dia seguinte e este mercado possui três tipos diferentes de sub-mercados, mostrados na Figura 2.1 e descritos a seguir.

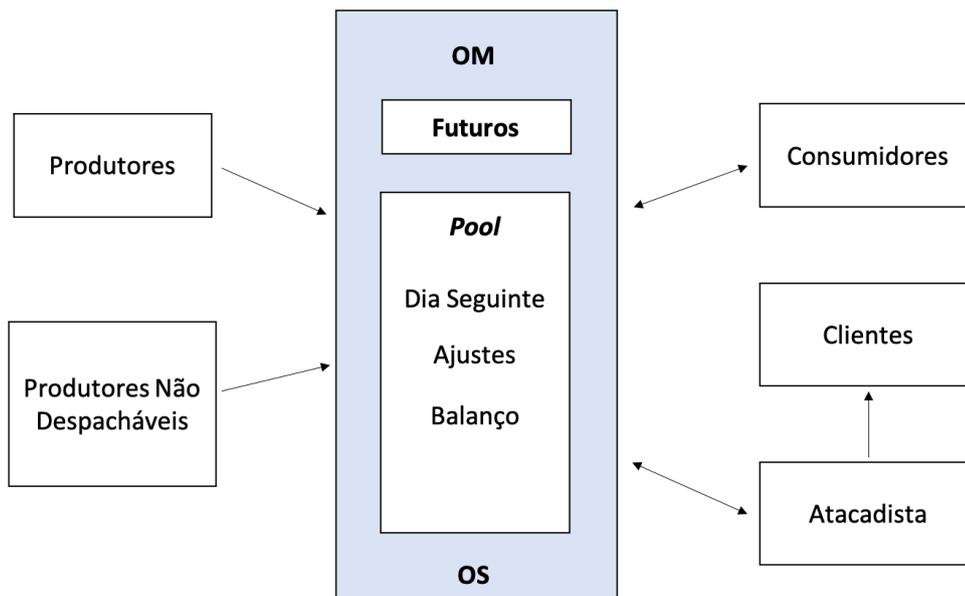


Figura 2.1 – Estrutura dos Mercados de Energia Organizados.

Mercado do Dia Seguinte

O mercado do dia seguinte é o mercado de maior relevância dentro dos sub-mercados do *pool*. Nesse mercado os produtores de energia enviam para cada período (em geral, são adotados períodos horários) blocos de oferta de venda de energia. Por outro lado, para estes mesmos períodos, os consumidores e/ou revendedores de energia enviam blocos de lances de compra de energia. As ofertas e lances fornecidos em cada período são compostos por valores de quantidade e preço desejados. Em seguida, o operador de mercado fecha o mercado do dia seguinte através de um modelo de leilão. A solução deste modelo fornece os preços de equilíbrio de mercado (preço *spot*) e as quantidades que serão aceitas para cada bloco de oferta/lance de energia em cada período do dia. O mercado do dia seguinte tende a ser volátil devido às incertezas no preço e na quantidade de energia a ser negociada. Tal característica, dá margem a possibilidade de uma modelagem dinâmica por parte dos produtores, para que de forma estratégica, possam decidir a quantidade e o preço a ser ofertado em blocos de energia ao longo dos 24 períodos do dia.

Mercado de Ajustes

O mercado de ajustes é similar ao mercado do dia seguinte, porém é fechado mais próximo à entrega de energia e cobre um horizonte de negociação mais curto. O mercado de ajustes funciona da mesma forma que o mercado do dia seguinte, e possui a função de ajustar a energia negociada nesse mercado à demanda do sistema. Devido a essa característica de uma maior proximidade à entrega de energia, esses mercados necessitam de uma representação da segurança de tensão, para que assim possam garantir a confiabilidade e a segurança do sistema. Os produtores de energia não despacháveis, que

possuem fontes intermitentes de produção (e.g. eólicas e fotovoltaicas), são os que mais se utilizam do mercado de ajustes.

Mercado de Equilíbrio

O mercado de equilíbrio, ou mercado em tempo-real, tem a função de fazer um último ajuste do *pool* de modo a buscar o acompanhamento da carga em tempo real. Ele é responsável por equilibrar o mercado para que não haja nem excesso, nem ‘deficit’ de geração. Assim, este é o último mecanismo de mercado que busca equilibrar produção e consumo de energia. Por esse mercado atuar em tempo real, ele possui, além da necessidade de uma representação da segurança de tensão, como no Mercado de Ajustes, existe a necessidade também de representar a estabilidade de tensão, para que de fato exista a garantia de confiabilidade e segurança do sistema. Além disso, como resultado da função objetivo de bem comum, comumente utilizadas como função objetivo nos mercados, os produtores e consumidores submetem ofertas e lances de energia, respectivamente, as quais em caso de ‘deficit’ são aceitas em ordem crescente de preços até que se atinja o equilíbrio, e em caso de excesso de geração de energia são aceitas ofertas/lances que reduzam a produção em um esquema decrescente de preços até que se atinja o equilíbrio.

2.1.1.2 Mercado de Futuros

O mercado de futuros consiste em transações de energia cuja entrega deva ser consumada em uma data futura pré-determinada a preços pré-especificados no presente. Este mercado tem como objetivo ser um mecanismo de *hedging* contra as oscilações de preços (volatilidade) do mercado *pool* (CONEJO et al., 2008). Ele é resolvido por um mecanismo de leilão no qual seus participantes compram e vendem produtos físicos ou financeiros que serão entregues em uma data futura. Esses produtos são chamados de derivativos (HULL, 2016). Devido à distância existente entre a negociação da energia e a sua entrega efetiva em uma data futura, a carga negociada, não necessariamente precisa ser atendida.

2.1.2 Mercados Não Organizados

Os mercados não organizados são aqueles que não possuem um agente intermediador, tal como o operador de mercado, para a realização das transações entre seus participantes, entretanto, ainda existe a necessidade de respeitar as restrições operacionais determinadas pelo OS. Nestes mercados os acordos firmados entre os agentes possuem regras específicas, estabelecidas por eles, através de acordos bilaterais. Os acordos bilaterais são contratos feitos entre uma companhia geradora e um consumidor de modo a garantir o atendimento de uma certa demanda a um determinado preço de energia negociado. Podem ser estabelecidos contratos bilaterais de curto, médio e longo prazos. Esses contratos também surgem como

uma alternativa às incertezas, de modo a garantir de forma particular a seus contratantes, estabilidade quanto ao atendimento da demanda do consumidor, e a obtenção de um lucro marginal ao produtor.

2.2 Agentes

Nesta seção são descritos os papéis de cada agente participante dos mercados de energia:

2.2.1 Produtores de Energia

São os agentes responsáveis pela produção de energia elétrica para o mercado. Estes agentes podem vender sua energia em todos os sub-mercados dos mercados organizados e não organizados. Para fins de despacho no mercado, estes agentes podem ser classificados em fontes de energia despacháveis e fontes de energia não despacháveis, além disso, elas também podem ser classificadas como: companhias do tipo *price-maker*, que são chamadas dessa forma por deterem em seu portfólio a maior fatia de geração de energia despachável no mercado e, por conta disso, deterem poder de mercado a ponto de “fazerem” o preço de equilíbrio; e as companhias *price-taker*, que como o próprio nome diz, apenas aceitam os preços de equilíbrio fechados no mercado, por terem em seu portfólio uma menor fatia de geração de energia despachável no mercado.

Os produtores com fontes de energia despacháveis são aqueles que produzem energia com a garantia de atendimento da demanda prevista (despacho), tais como as unidades termoelétricas e hidroelétricas. Os produtores de energia não despacháveis são aqueles que obtêm a energia de forma intermitente e por conta dessa intermitência, não podem garantir o atendimento da geração prevista. Como exemplo, citam-se as unidades eólicas e fotovoltaicas.

2.2.2 Consumidores

São os agentes que consomem a energia do mercado. Os consumidores em geral são classificados de acordo com o volume de energia consumida no mercado. Os clientes são pequenos consumidores que não podem participar do leilão de energia. Estes consumidores, devem consumir toda a sua energia a partir da energia fornecida pelos atacadistas. Os consumidores de maior porte são aquelas que possuem uma alta demanda por energia no mercado. Em geral, tais consumidores podem negociar diretamente nos mercados e com os produtores de energia. Alguns agentes consumidores podem possuir pequenas unidades geradoras para consumo próprio ou venda do excedente para o mercado.

2.2.3 Atacadistas ou Revendedores

Os revendedores ou atacadistas são os atravessadores entre os clientes, que são pequenos consumidores, e os produtores de energia. Eles negociam diretamente a energia nos mercados, revendendo-a a seus clientes, a fim de atender suas demandas.

2.2.4 Operadores de Mercado e do Sistema

O OM é geralmente uma entidade sem fins lucrativos cuja responsabilidade é o gerenciamento econômico do ambiente de mercado. Além disso, o OM administra as regras de mercado e determina os preços e quantidades negociados no mercado. Ele é responsável pelo fechamento dos mercados de energia do dia seguinte, e de ajustes, através do PEM realizado pelo leilão. Além disso, com o auxílio do OS, ele também é responsável pelo fechamento dos mercados de reserva e de equilíbrio.

O OS é uma entidade sem fins lucrativos encarregada do gerenciamento técnico do sistema de energia elétrica, pertinente ao ambiente de mercado. Ele deve fornecer acesso livre à transmissão para todos os geradores, consumidores e atacadistas e buscar facilitar as negociações entre agentes copradores e produtores.

Este trabalho propõe um modelo de COE a ser utilizado por uma companhia produtora de energia do tipo *price-maker* que irá atuar de forma estratégica dentro do *pool*, no mercado do dia seguinte, a qual tenha em seu portfólio de geração unidades termoelétricas e hidroelétricas, de modo que tal companhia possa maximizar seus lucros de uma forma mais eficiente dentro desse ambiente de mercado. O Capítulo 3, a seguir, descreve de forma detalhada a estratégia a ser adotada por tais companhias geradoras do tipo *price-maker* que tenham o intuito de maximizar seus lucros de forma estratégica nesse ambiente de mercado do dia seguinte.

3 COMPANHIAS GERADORAS - ESTRATÉGIAS

O objetivo central desse trabalho consiste em propor um modelo de COE que deve ser utilizado por uma companhia do tipo *price-maker* no mercado do dia seguinte do *pool*, em um ambiente de sistemas hidrotérmicos. O COE tem como objetivo calcular as ofertas (quantidade e preços ofertados) que, quando submetidos ao leilão de energia, maximizem o lucro da companhia sujeito às restrições operativas das unidades dessa companhia. O lucro da companhia depende dos preços de equilíbrio de mercado, os quais são calculados pelo operador do mercado através do PEM (Procedimento de Equilíbrio de Mercado). Entretanto, para o cálculo dos preços de equilíbrio de mercado por meio do PEM o operador necessita das ofertas das companhias, o que gera uma “circularidade”. Neste trabalho esta “circularidade” é resolvida introduzindo-se o problema de PEM no nível inferior do problema de COE, resultando em um problema de otimização bi-nível. Outro objetivo deste trabalho consiste em reformular o modelo de COE inicial como um PMRE. O objetivo final consiste em resolver o PMRE por um *solver* de otimização linear inteiro-misto, e avaliar os resultados do ponto de vista da teoria de microeconomia.

3.1 Cálculo de Ofertas Estratégicas no Mercado do Dia Seguinte

Seja uma companhia geradora do tipo *price-maker*, alvo desta pesquisa. Conforme descrito em (STEEGER; BARROSO; REBENNACK, 2014), um modelo de COE tem como objetivo, a partir do ponto de vista de uma unidade geradora, determinar a combinação ideal de preço e quantidade (em cada período de tempo, de cada unidade) de blocos de ofertas da companhia *price-maker* em um mercado do dia seguinte, de modo a maximizar seus lucros. Para tal, seria necessário que esta companhia conhecesse o preço de equilíbrio em cada período e em cada barra, o qual deve ser calculado pelo PEM resolvido por meio do leilão. Assim, o PEM é um aspecto fundamental para o COE, cuja formulação necessita ser detalhada neste trabalho. O modelo de PEM é descrito na seção a seguir.

3.1.1 Procedimento de Equilíbrio de Mercado

Um procedimento fundamental nos mercados de energia é o leilão (MOTTO et al., 2002; ARROYO; CONEJO, 2002). Em um leilão, os agentes produtores de energia (companhias geradoras) fornecem ofertas de venda de energia, enquanto os consumidores

forneem lances de compra de energia. Tais ofertas/lances são processadas em um procedimento denominado de PEM, o qual é executado pelo OM. Para tal procedimento o OM se utiliza de modelos matemáticos de otimização.

Na seção 3.1.1.2, descreve-se o modelo de PEM utilizado neste trabalho que é utilizado como problema de nível inferior do COE. Inicialmente, é descrita na Seção 3.1.1.1 a nomenclatura utilizada na formulação do modelo.

3.1.1.1 Nomenclatura

Conjuntos

T	Períodos do dia;
J	Unidades geradoras associadas à companhia <i>price-maker</i> ;
I	Unidades geradoras associadas às demais companhias;
K	Consumidores;
B	Blocos ofertados e demandados;

Índices

t	Períodos do dia;
u	Unidades geradoras;
k	Consumidores;
b	Blocos ofertados e demandados.

Parâmetros

P_{tub}^{Gmin}	Potência mínima a ser gerada em cada período t , em cada unidade geradora u e em cada bloco b , dada em [MW];
P_{tub}^{Gmax}	Potência máxima a ser gerada em cada período t , em cada unidade geradora u e em cada bloco b , dada em [MW];
P_{tkb}^{Cmin}	Potência mínima a ser consumida em cada período t , em cada unidade consumidora k e em cada bloco b , dada em [MW];
P_{tkb}^{Cmax}	Potência máxima a ser consumida em cada período t , em cada unidade consumidora k e em cada bloco b , dada em [MW];

- λ_{tub}^G Lances de preços da companhia *price-maker* em cada período t , em cada unidade $u \in J$ e em cada bloco b , dado em [\$/MW];
- λ_{tub}^O Lances de preços das demais companhias em cada período t , em cada unidade $u \in I$ e em cada bloco b , dado em [\$/MW];
- λ_{tkb}^C Lances de preços dos consumidores em cada período t , em cada unidade k e em cada bloco b , dado em [\$/MW].

Variáveis

- p_{tub}^G Quantidades geradas em cada período t , em cada unidade u e em cada bloco b , dado em [MW];
- p_{tkb}^C Quantidades consumidas em cada período t , em cada unidade k e em cada bloco b , dado em [MW];
- λ_t Preços de equilíbrio de mercado em cada período t , dado em [\$/MW];
- π_{tub}^{Gmin} Variável dual associada à restrição $P_{tub}^{Gmin} \leq p_{tub}^G$, em cada período t , em cada unidade u e em cada bloco b ;
- π_{tub}^{Gmax} Variável dual associada à restrição $p_{tub}^G \leq P_{tub}^{Gmax}$, em cada período t , em cada unidade u e em cada bloco b ;
- π_{tkb}^{Cmin} Variável dual associada à restrição $P_{tkb}^{Cmin} \leq p_{tkb}^C$, em cada período t , em cada unidade k e em cada bloco b ;
- π_{tkb}^{Cmax} Variável dual associada à restrição $p_{tkb}^C \leq P_{tkb}^{Cmax}$, em cada período t , em cada unidade k e em cada bloco b .

3.1.1.2 Modelo Matemático

O PEM é formulado como um problema de otimização que busca maximizar a função de bem comum (do inglês, *social welfare*) definida pela diferença entre o consumo agregado e a função de geração agregada, sujeito ao atendimento de restrições associadas ao mercado, ao balanço de energia (equilíbrio entre geração e demanda) e aos limites operacionais do sistema. O PEM processa ofertas e lances fornecidos e determina as quantidades aceitas de geração e demanda para cada companhia e cada consumidor, respectivamente. Além disso, o PEM também determina o chamado preço de equilíbrio de mercado, que corresponde ao preço em que a energia vendida/comprada é negociada no mercado. Este preço de equilíbrio é obtido a partir da variável dual do problema de PEM associada à restrição de atendimento de demanda.

O modelo (3.1) formula matematicamente o PEM para um caso puramente econômico, em que as restrições técnicas relacionadas às unidades geradoras termoelétricas e hidrelétricas são desprezadas. Neste modelo, (3.1)(a) denota a função objetivo, que corresponde à função de bem comum (com sinal invertido em função da minimização). As restrições (3.1)(b) representam matematicamente a alocação da demanda entre os agentes envolvidos no PEM. As restrições (3.1)(c) envolvem a canalização entre os valores mínimos e máximos das potências geradas pelas unidades geradoras. As restrições (3.1)(d) representam as canalizações das potências consumidas.

$$\begin{aligned} \underset{p^G, p^C}{Min} \quad & \sum_{t \in T} \sum_{u \in J} \sum_{b \in B} \lambda_{tub}^G p_{tub}^G + \sum_{t \in T} \sum_{u \in I} \sum_{b \in B} \lambda_{tub}^O p_{tub}^G - \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{b \in B} \lambda_{tkb}^C p_{tkb}^C \quad (a) \end{aligned}$$

s.a

$$\begin{aligned} & \sum_{u \in J} \sum_{b \in B} p_{tub}^G + \sum_{u \in I} \sum_{b \in B} p_{tub}^G = \sum_{k \in K} \sum_{b \in B} p_{tkb}^C, (\lambda_t), \forall t \in T \quad (b) \quad (3.1) \\ P_{tub}^{Gmin} \leq p_{tub}^G \leq P_{tub}^{Gmax}, (\pi_{tub}^{Gmin}, \pi_{tub}^{Gmax}), \forall t \in T, \forall u \in I \cup J, \forall b \in B \quad (c) \\ P_{tkb}^{Cmin} \leq p_{tkb}^C \leq P_{tkb}^{Cmax}, (\pi_{tkb}^{Cmin}, \pi_{tkb}^{Cmax}), \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \quad (d) \end{aligned}$$

Após a solução do problema (3.1), obtém-se o despacho de geração p_{tub}^G e o preço de equilíbrio de mercado λ_t (variável dual associada à restrição de atendimento de demanda) em cada período. Para isso, o operador necessita das ofertas de preços e quantidades das unidades da companhia *price-maker* e demais unidades, bem como dos lances de preço/quantidade dos consumidores. Nota-se que o preço ofertado pela companhia alvo desta pesquisa λ_{tub}^G , é uma constante para o PEM, entretanto para o COE, por ele ter o objetivo de maximizar o lucro de tal companhia, o preço a ser ofertado para o PEM é uma variável, já que a companhia *price-maker* visa encontrar o preço ideal que ela deva ofertar para a maximização de seus lucros. Assim sendo, o cálculo de ofertas e preços ótimos a ser ofertado pela companhia *price-maker* é realizado por meio do problema de COE, descrito na seção a seguir.

3.1.2 O Problema da Companhia *Price-Maker*

A função de lucro L da companhia *price-maker* depende do preço de equilíbrio λ_t e do valor p_{tub}^G a ser despachado pelo OM para cada unidade $u \in J$, conforme expressão (3.2):

$$\underset{p_{tub}^G}{Max} \quad L(\lambda_t, p_{tub}^G) = \sum_{t \in T} \sum_{u \in J} \sum_{b \in B} \lambda_t p_{tub}^G - \sum_{t \in T} \sum_{u \in J} \sum_{b \in B} c_{tub}^G(p_{tub}^G), \quad (3.2)$$

em que c_{tub}^G é a função de custo de produção das unidades de geração termoelétrica $u \in J$ da companhia *price-maker*.

O objetivo da companhia *price-maker*, portanto, consiste em maximizar este lucro, sujeito aos limites de capacidade operativa de suas unidades. Entretanto, esta companhia não conhece *a priori* os valores despachados p_{tub}^G e nem o preço de equilíbrio λ_t , os quais são resultantes do PEM dado em (3.1). Assim, o problema de maximização dos lucros da companhia *price-maker* e o problema de leilão são co-dependentes (circularidade) (FORTUNY-AMAT; MCCARL, 1981). A solução dos problemas precisa ser feita, portanto, de forma conjunta, por meio de um modelo de equilíbrio, conforme descrito na seção a seguir.

3.1.3 Problema de Cálculo de Ofertas Estratégicas

A solução do problema de COE deve ser obtida de forma integrada com a solução do PEM dado em (3.1). Isso é feito por meio da definição de um problema de otimização bi-nível, em que no nível superior, o objetivo consiste em maximizar a função de lucro da companhia *price-maker*, sujeito às restrições de capacidade de suas unidades geradoras e também sujeito ao PEM (nível inferior).

O modelo (3.3), a seguir, descreve de forma puramente econômica o problema bi-nível, onde o PEM está formulado como uma restrição do COE:

$$\underset{\lambda^G, p^G}{Max} \quad \sum_{t \in T} \sum_{u \in J} \sum_{b \in B} \lambda_t p_{tub}^G - \sum_{t \in T} \sum_{u \in J} \sum_{b \in B} c_{tub}^G (p_{tub}^G) \quad (a)$$

sujeito a:

$$\underset{p^G, p^C}{Min} \quad \sum_{t \in T} \sum_{u \in J} \sum_{b \in B} \lambda_{tub}^G p_{tub}^G + \sum_{t \in T} \sum_{u \in I} \sum_{b \in B} \lambda_{tub}^O p_{tub}^G - \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{b \in B} \lambda_{tkb}^C p_{tkb}^C \quad (b)$$

s.a

$$\sum_{u \in J} \sum_{b \in B} p_{tub}^G + \sum_{u \in I} \sum_{b \in B} p_{tub}^G = \sum_{k \in K} \sum_{b \in B} p_{tkb}^C, (\lambda_t), \forall t \in T \quad (c)$$

$$P_{tub}^{Gmin} \leq p_{tub}^G \leq P_{tub}^{Gmax}, \left(\pi_{tub}^{Gmin}, \pi_{tub}^{Gmax} \right), \forall t \in T, \forall u \in I \cup J, \forall b \in B \quad (d)$$

$$P_{tkb}^{Cmin} \leq p_{tkb}^C \leq P_{tkb}^{Cmax}, \left(\pi_{tkb}^{Cmin}, \pi_{tkb}^{Cmax} \right), \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \quad (e).$$

(3.3)

Neste modelo, (3.3)(a) denota a função objetivo associado ao COE, que representa os lucros da companhia *price-maker*. As restrições de (3.3)(b) a (3.3)(e) representam o problema de PEM (nível inferior).

Assim, do ponto de vista da companhia *price-maker*, o problema de COE consiste em determinar os valores ótimos de preços e quantidades λ_{tub}^{G*} e p_{tub}^{G*} que maximizem seus lucros. Para isso, porém, é necessário conhecer os valores de preço de equilíbrio λ_t e geração despachada p_{tub}^G , os quais são fornecidos pelo modelo matemático do PEM, que se encontra em nível inferior ao modelo matemático bi-nível de COE. Um diagrama esquemático

mostrando as relações de entrada e saída nos modelos de COE e PEM é fornecido na Figura 3.1:

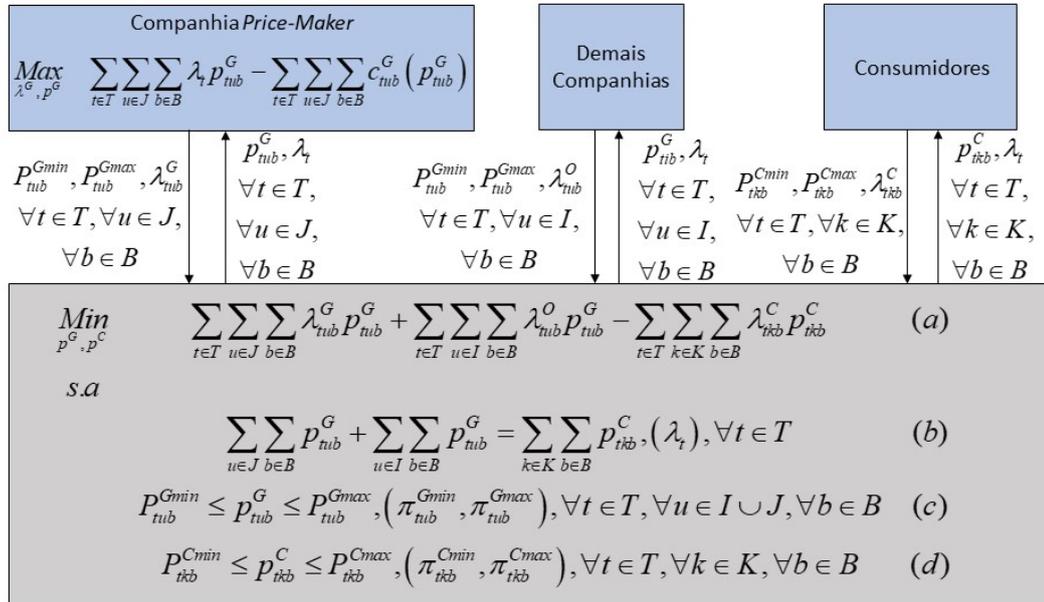


Figura 3.1 – Diagrama Esquemático mostrando as relações entre os problemas de nível superior e inferior.

É importante destacar, que apesar da aparente decomposição mostrada no esquema da Figura 3.1, os problemas de nível inferior e superior não são resolvidos de forma separada, mas de forma integrada. Para a solução conjunta dos modelos, em geral, o problema de nível inferior é substituído por suas correspondentes condições de Karush-Kun-Tucker (KKT). Entretanto, isso só é possível se o problema de nível inferior for convexo, (LUO; PANG; RALPH, 1996). Em geral, os problemas bi-níveis têm soluções computacionais complexas, de modo que a maioria desses problemas é formulada se atentando com a convexidade do nível inferior, para que assim, seja possível formular um modelo matemático de um único nível equivalente. Quando isto é possível, o problema de um único nível resultante é denominado de PMRE. O Capítulo 4, que vem a seguir, descreve o modelo proposto.

4 MODELO DE CÁLCULO DE OFERTAS ESTRATÉGICAS PROPOSTO

Este capítulo tem como objetivo propor um modelo de Cálculo de Ofertas Estratégicas (COE) para uma companhia geradora *price-maker* no ambiente de mercados do dia seguinte de um sistema hidrotérmico. O modelo de COE é formulado como um problema de otimização bi-nível, em que no nível, superior, o objetivo consiste em maximizar o lucro líquido da companhia geradora sujeito ao problema de nível inferior.

O nível inferior do modelo de COE corresponde a um problema de PEM, que resolve o leilão do dia seguinte. O PEM tem como objetivo a maximização da função de bem comum (i.e. somatória dos excedentes de produção e consumo), sujeita às restrições econômicas, de limites de geração, atendimento da demanda nas barras do sistema de transmissão, limites de capacidade de transmissão, rampas de tomada e alívio de carga para unidades de geração termoelétrica e restrições pertinentes as unidades hidroelétricas, como os limites mínimos e máximos na defluência dos reservatórios, limites mínimos e máximos dos volumes dos reservatórios, limites na vazão turbinada, balanço hidráulico, limites na geração hidráulica, e função de produção hidráulica. Importante salientar que as restrições de tomada e alívio de carga das unidades termoelétricas, e o balanço hidráulico, concede ao modelo uma característica dinâmica, pois introduzem um acoplamento temporal ao modelo. Além disso, é possível observar que as restrições operativas estão todas formuladas no nível inferior, isso é feito de modo a não subestimar as restrições operativas das demais companhias. Essa prática de formular as restrições operativas das companhias no nível inferior (PEM), é comumente desprezada na literatura. O que geralmente se encontra na formulação feita no nível inferior é uma representação puramente econômica e restrições pertinentes ao sistema elétrico de transmissão. Detalhes do modelo de COE são descritos na Seção 4.1. A técnica de solução deste problema é discutida no Capítulo 5.

4.1 Modelo Bi-nível

Nesta seção descreve-se a formulação matemática do problema de COE bi-nível proposto. Na Seção 4.1.1, é descrita a nomenclatura utilizada no modelo, adicionando-se também as variáveis que serão utilizadas na reformulação do problema que será descrita no Capítulo 5. Na Seção 4.1.2 descreve-se o modelo matemático, destacando os problemas de nível inferior e superior.

4.1.1 Nomenclatura

A nomenclatura do modelo adotada é descrita a seguir.

Conjuntos

T	Períodos do dia em horas;
J	Unidades geradoras associadas à companhia <i>price-maker</i> ;
I	Unidades geradoras associadas às demais companhias;
U	Todas as unidades geradoras do sistema $U = I \cup J$;
K	Consumidores;
B	Blocos ofertados e demandados;
L	Unidades termoelétricas;
R	Reservatórios hidráulicos;
N	Barras do sistema de transmissão;
N_n	Barras vizinhas à barra n ;
G_n^J	Conjunto das unidades geradoras pertencentes à companhia <i>price-maker</i> estudada, localizadas na barra n (identificadas pelo índice j);
G_n^I	Conjunto das unidades geradoras pertencentes às demais companhias localizadas na barra n (identificados pelo índice i);
G_n^C	Conjunto das unidades consumidoras K localizadas na barra n ;
\mathcal{T}	Conjunto das unidades geradoras termoelétricas de todas as companhias (incluindo a companhia <i>price-maker</i>);
\mathcal{H}	Conjunto das unidades geradoras hidroelétricas de todas as companhias (incluindo a companhia <i>price-maker</i>);
U_{nr}^{HI}	Conjunto das unidades hidroelétricas associadas às demais companhias em cada barra n e em cada reservatório r ;
U_{nr}^{HJ}	Conjunto das unidades hidroelétricas associadas à companhia <i>price-maker</i> em cada barra n e em cada reservatório r ;
U_n^{LI}	Conjunto das unidades termoelétricas associadas às demais companhias em cada barra n ;

U_n^{LJ} Conjunto das unidades termoelétricas associadas à companhia *price-maker* em cada barra n .

Índices

t Períodos do dia;
 u unidade geradora do sistema;
 k Consumidor;
 b Bloco ofertado ou demandado;
 l Unidade termoelétrica;
 r Reservatório hidráulico;
 n Barra do sistema de transmissão;
 m Barra vizinha à barra n .

Parâmetros

NT Último período do dia;
 P_{tub}^{Gmin} Potência mínima gerada no período t pela unidade u , em seu bloco de geração b , dada em [MW];
 P_{tub}^{Gmax} Potência máxima gerada no período t pela unidade u , em seu bloco de geração b , dada em [MW];
 P_{tkb}^{Cmin} Potência mínima consumida no período t pelo consumidor k , em seu bloco de geração b , dada em [MW];
 P_{tkb}^{Cmax} Potência máxima consumida no período t pelo consumidor k , em seu bloco de geração b , dada em [MW];
 P_{nm}^{max} Fluxo de potência máximo na linha de transmissão entre as barras n e m ;
 B_{nm} Susceptância no ramo localizado entre as barras n e m ;
 π Valor em radianos da constante π ;
 R_l^{Gup} Rampa de tomada de carga (crescimento) da unidade de geração termoelétrica l ;
 R_l^{Gdw} Rampa de alívio de carga (decréscimo) da unidade de geração termoelétrica l ;

λ_{tib}^O	Oferta de preço submetido no período t , pela unidade i das demais companhias em seu bloco b , dado em [\$/MW];
λ_{tkb}^C	Lance submetido no período t , pelo consumidor k em seu bloco b , dado em [\$/MW];
U_r^{min}	Defluência mínima para cada reservatório r ;
U_r^{max}	Defluência máxima para cada reservatório r ;
X_r^{min}	Altura de queda líquida mínima para cada reservatório r ;
X_r^{max}	Altura de queda líquida máxima para cada reservatório r ;
Q_u^{min}	Vazão turbinada mínima para a unidade hidroelétrica u ;
Q_u^{max}	Vazão turbinada máxima para a unidade hidroelétrica u ;
η_u^{TG}	Rendimento da unidade hidroelétrica u ;
Υ_{tr}	Vazão afluyente em cada período de tempo t para cada reservatório r
D_{fr}	Tempo de atraso entre os reservatório f a montante do reservatório r ;
U_{tf}^Y	Vazão defluente do período de tempo t do dia anterior dos reservatórios f a montante;
M_{tub}^G	Número suficientemente grande associado a técnica do <i>Big-M</i> para todo período t , toda unidade geradora u , e todo bloco b ;
M_{tkb}^C	Número suficientemente grande associado a técnica do <i>Big-M</i> para todo período t , toda unidade consumidora k , e todo bloco b ;
M_{tnm}^B	Número suficientemente grande associado a técnica do <i>Big-M</i> para todo período t , toda a barra n , e para toda barra m vizinha de n ;
M_{tn}^{Pi}	Número suficientemente grande associado a técnica do <i>Big-M</i> para todo período t , e para toda a barra n ;
M_{tu}^{Gup}	Número suficientemente grande associado a técnica do <i>Big-M</i> para todo período t , e para toda unidade $u \in \mathcal{T}$;
M_{tu}^{Gdw}	Número suficientemente grande associado a técnica do <i>Big-M</i> para todo período t , e para toda unidade $u \in \mathcal{T}$;
M_{tr}^U	Número suficientemente grande associado a técnica do <i>Big-M</i> para todo período t , e para todo reservatório r ;
M_{tr}^X	Número suficientemente grande associado a técnica do <i>Big-M</i> para todo período t , e para todo reservatório r ;

- M_{tu}^Q Número suficientemente grande associado a técnica do *Big-M* para todo período t , e para toda unidade $u \in \mathcal{H}$;
- M_{tu}^H Número suficientemente grande associado a técnica do *Big-M* para todo período t , e para toda unidade $u \in \mathcal{H}$.

Variáveis

- λ_{tjb}^G Oferta de preço submetido no período t , pela unidade j da companhia *price-maker* em seu bloco b , dado em [\$/MW];
- p_{tub}^G Potência gerada no período t , pela unidade u em seu bloco b , dado em [MW];
- p_{tkb}^C Potência consumida no período t , pelo consumidor k em seu bloco b , dado em [MW];
- \mathbf{p}^G Vetor de potências ativas geradas em todas as unidades, todos os períodos, e todos os blocos ofertados, dado em [MW];
- \mathbf{p}^C Vetor de potências consumidas por todos os consumidores, em todos os períodos, em todos os blocos de lances submetidos, dado em [MW];
- θ Vetor dos ângulos das tensões em todas as barras, em todos os períodos, dado em radianos;
- θ_{tn} Ângulo da tensão no período t , na barra n , dado em radianos;
- λ_{tn} Preços de equilíbrio de mercado no período t , na barra n , dado em [\$/MW];
- q_{tu} Vazão turbinada no período t , na unidade $u \in \mathcal{H}$;
- s_{tr} Vazão vertida no período t , no reservatório r ;
- x_{tr} Volume dos reservatórios em cada período t para cada reservatório r ;
- π_{tub}^{Gmin} Variável dual associada à restrição de limite mínimo estabelecido por P_{tub}^{Gmin} ;
- π_{tub}^{Gmax} Variável dual associada à restrição de limite máximo estabelecido por P_{tub}^{Gmax} ;
- π_{tkb}^{Cmin} Variável dual associada à restrição de limite mínimo estabelecido por P_{tkb}^{Cmin} ;
- π_{tkb}^{Cmax} Variável dual associada à restrição de limite máximo estabelecido por P_{tkb}^{Cmax} ;
- α_{tnm}^{min} Variável dual associada à restrição de limites de fluxos de potência mínimo na transmissão no período t , no ramo $n - m$;
- α_{tnm}^{max} Variável dual associada à restrição de limites de fluxos de potência máximos na transmissão no período t , no ramo $n - m$;

- β_{tn}^{min} Variável dual associada à restrição de limite mínimo no ângulo da tensão da barra n no período t ;
- β_{tn}^{max} Variável dual associada à restrição de limite máximo no ângulo da tensão da barra n no período t ;
- β_t^0 Variável dual associada à restrição de igualdade que estabelece ângulo de tensão nulo na barra de referência do sistema de transmissão;
- γ_{tl}^{Gup} Variável dual associada à restrição de rampa ascendente no período t para a unidade l ;
- γ_{tl}^{Gdw} Variável dual associada à restrição de rampa descendente no período t para a unidade l ;
- δ_{tr}^{Umin} Variável dual associada à restrição de limites mínimos na defluência no período t para o reservatório r ;
- δ_{tr}^{Umax} Variável dual associada à restrição de limites máximos na defluência no período t para o reservatório r ;
- δ_{tu}^{Qmin} Variável dual associada à restrição de limites mínimos na vazão turbinada no período t para a unidade u ;
- δ_{tu}^{Qmax} Variável dual associada à restrição de limites máximos na vazão turbinada no período t para a unidade u ;
- σ_{tr}^{min} Variável dual associada à restrição de limites mínimos do volume do reservatório no período t para o reservatório r ;
- σ_{tr}^{max} Variável dual associada à restrição de limites máximos do volume do reservatório no período t para o reservatório r ;
- v_{tr} Variável dual associada à restrição de balanço hidráulico no período t para o reservatório r ;
- α_{tu}^{Hmin} Variável dual associada à restrição de limites mínimos de potência hidráulica gerada no período t para a unidade u ;
- α_{tu}^{Hmax} Variável dual associada à restrição de limites máximos de potência hidráulica gerada no período t para a unidade u ;
- α_{tru} Variável dual associada à restrição de produção hidráulica no período t no reservatório r para a unidade u ;
- μ_{tjb}^{Gmax} Variável binária relacionada à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite máximo definido por P_{tjb}^{Gmax} ;

- μ_{tjb}^{Gmin} Variável binária relacionada à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite mínimo definido por P_{tjb}^{Gmin} ;
- μ_{tib}^{Gmax} Variável binária relacionada à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite máximo definido por P_{tib}^{Gmax} ;
- μ_{tib}^{Gmin} Variável binária relacionada à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite mínimo definido por P_{tib}^{Gmin} ;
- μ_{tkb}^{Cmax} Variável binária relacionada à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite máximo definido por P_{tkb}^{Cmax} ;
- μ_{tkb}^{Cmin} Variável binária relacionada à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite mínimo definido por P_{tkb}^{Cmin} ;
- μ_{tnm}^{Bmin} Variável binária relacionada à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite mínimo de fluxo de potência ativa no período t e ramo $n - m$;
- μ_{tnm}^{Bmax} Variável binária relacionada à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite máximo de fluxo de potência ativa no período t e ramo $n - m$;
- $\mu_{tn}^{\Pi min}$ Variável binária relacionada à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite mínimo do ângulo da tensão no período t , na barra n ;
- $\mu_{tn}^{\Pi max}$ Variável binária relacionada à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite máximo do ângulo da tensão no período t , na barra n ;
- μ_{tl}^{Gup} Variável binária à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite máximo de rampa ascendente no período t , da unidade l ;
- μ_{tl}^{Gdw} Variável binária à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite máximo de rampa descendente no período t , da unidade l ;
- μ_{tr}^{Umin} Variável binária à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite mínimos de defluência no período t , no reservatório r ;
- μ_{tr}^{Umax} Variável binária à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite máximo de defluência no período t , no reservatório r ;
- μ_{tu}^{Qmin} Variável binária à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite mínimos de vazão turbinada no período t , da unidade $u \in \mathcal{H}$;
- μ_{tu}^{Qmax} Variável binária à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite máximo de vazão turbinada no período t , da unidade $u \in \mathcal{H}$;
- μ_{tr}^{Xmin} Variável binária à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite mínimo do volume no período t , do reservatório r ;

- μ_{tr}^{Xmax} Variável binária à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite máximo do volume no período t , do reservatório r ;
- μ_{tu}^{Hmin} Variável binária à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite mínimo da potência hidráulica no período t , da unidade $u \in \mathcal{H}$;
- μ_{tu}^{Hmax} Variável binária à linearização da restrição de complementaridade associada ao limite máximo da potência hidráulica no período t , da unidade $u \in \mathcal{H}$;

4.1.2 Modelo Matemático

O modelo de COE bi-nível proposto é formulado a seguir, de (4.1)-(4.11). Este modelo representa, no seu nível superior, o problema de maximização do lucro da companhia *price-maker*. O Procedimento de Equilíbrio de Mercado (PEM), executado pelo Operador de Mercado (OM) é representado no nível inferior do problema de COE, como uma restrição deste problema.

4.1.2.1 Nível superior

No nível superior, o objetivo consiste na maximização do lucro da companhia *price-maker*, conforme descrito matematicamente em (4.1), em que o primeiro termo se refere à receita obtida pela unidades hidrelétricas e termoeletricas da companhia com a venda de energia no mercado do dia seguinte, o segundo termo se refere aos custos de produção desta energia, e o terceiro termo se refere ao lucro adicional da companhia pelo fato de esta gerar energia de fonte hidrelétrica. Este lucro é dado pelo produto entre a potência hidrelétrica gerada e o preço associado à potência hidráulica gerada, dado pelo multiplicador de Lagrange associado à restrição que define a função de produção. Em geral, a função custo de produção de uma unidade termoeletrica é dada por uma função quadrática ($C_{u \in U_n^{LJ}}(p_{tjb}^G)$) de sua geração, (HAPP, 1977).

$$Max_{\lambda, p^G} \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{u \in G_n^J} \sum_{b \in B} \lambda_{tn} p_{tub}^G - C_{u \in U_n^{LJ}}(p_{tub}^G) + \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} \sum_{n \in N} \sum_{u \in U_{nr}^{HJ}} \sum_{b \in B} p_{tub}^G \alpha_{tu} \quad (4.1)$$

Não são consideradas restrições operativas específicas no nível superior. Assim, a única restrição neste nível consiste no próprio problema de nível inferior, descrito a seguir.

4.1.2.2 Nível inferior

O problema de nível inferior é resolvido pelo Operador de Mercado (OM). Este operador tem como objetivo a maximização da função de bem comum. No problema de nível inferior aqui definido, busca-se a minimização do valor negativo da função de bem comum,

conforme mostrado em (4.2), de modo a construir um problema de minimização, pois dessa forma o valor do preço de equilíbrio λ_{tn} aparecerá positivo (uma característica importante para as linearizações futuras de complementaridade). Os dois primeiros termos desta função representam os custos das ofertas de geração da companhia *price-maker* e das demais companhias, respectivamente. Estes termos são também denominados na literatura de excedentes de produção. Já o terceiro termo representa os custos de lances dos consumidores, os quais também são denominados de excedentes de consumo, (SHAHIDEHPOUR; YAMIN; LI, 2002).

$$\underset{p^G, p^O, p^C}{Min} \sum_{t \in T} \sum_{u \in J} \sum_{b \in B} \lambda_{tub}^G p_{tub}^G + \sum_{t \in T} \sum_{u \in I} \sum_{b \in B} \lambda_{tub}^O p_{tub}^G - \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{b \in B} \lambda_{tkb}^C p_{tkb}^C \quad (4.2)$$

No PEM, o problema de minimização dos excedentes de produção menos os excedentes de consumo (4.2) está sujeito às restrições descritas de (4.3)–(4.11), as quais representam restrições de mercado e restrições físicas e operacionais de geração, envolvendo sistemas hidrelétricos e termelétricos, e de transmissão:

$$\sum_{u \in G_n^J} \sum_b p_{tub}^G + \sum_{u \in G_n^I} \sum_b p_{tub}^G - \sum_{k \in G_n^C} \sum_b p_{tkb}^C = \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\theta_{tn} - \theta_{tm}) \quad (\lambda_{tn}), \forall t \in T, \forall n \in N \quad (4.3)$$

$$0 \leq p_{tub}^G \leq P_{tub}^{Gmax} \quad (\pi_{tub}^{Gmin}, \pi_{tub}^{Gmax}), \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B \quad (4.4)$$

$$0 \leq p_{tkb}^C \leq P_{tkb}^{Cmax} \quad (\pi_{tkb}^{Cmin}, \pi_{tkb}^{Cmax}), \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \quad (4.5)$$

$$-P_{nm}^{max} \leq B_{nm} (\theta_{tn} - \theta_{tm}) \leq P_{nm}^{max} \quad (\alpha_{tnm}^{min}, \alpha_{tnm}^{max}), \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \quad (4.6)$$

$$-\pi \leq \theta_{tn} \leq \pi \quad (\beta_{tn}^{min}, \beta_{tn}^{max}), \forall t \in T, \forall n \in N \quad (4.7)$$

$$\theta_{t1} = 0 \quad (\beta_t^0), \forall t \in T \quad (4.8)$$

$$\sum_{b \in B} p_{(t+1)ub}^G - \sum_{b \in B} p_{tub}^G \leq R_u^{Gup} \quad (\gamma_{tu}^{Gup}), \forall t \in T : t \neq NT, \forall u \in \mathcal{T} \quad (4.9)$$

$$\sum_{b \in B} p_{tub}^G - \sum_{b \in B} p_{(t+1)ub}^G \leq R_u^{Gdw} \quad (\gamma_{tu}^{Gdw}), \forall t \in T : t \neq NT, \forall u \in \mathcal{T} \quad (4.10)$$

$$U_r^{min} \leq \sum_{u \in \mathcal{U}_r} q_{tu} + s_{tr} \leq U_r^{max} \quad (\delta_{tr}^{Umin}, \delta_{tr}^{Umax}), \forall t \in T, \forall r \in R \quad (4.11)$$

$$Q_u^{min} \leq q_{tu} \leq Q_u^{Ef} \quad (\delta_{tu}^{Qmin}, \delta_{tu}^{Qmax}), \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \quad (4.12)$$

$$X_r^{min} \leq x_{tr} \leq X_r^{max} \quad (\sigma_{tr}^{min}, \sigma_{tr}^{max}), \forall t \in T, \forall r \in R \quad (4.13)$$

$$\begin{aligned} x_{tr} = & x_{(t-1)r} + 0.0036 \left(\Upsilon_{tr} + \sum_{f \in F_r: (t-D_{fr} \geq 1)} \sum_{a \in \mathcal{U}_{rf}} (q_{(t-D_{fr})a} + s_{(t-D_{fr})f}) \right) \\ & + 0.0036 \left(\sum_{f \in F_r: (t-D_{fr} < 1)} U_{(NT+t-D_{fr})f}^Y - \left(\sum_{u \in \mathcal{U}_r} q_{tu} + s_{tr} \right) \right), (v_{tr}) \end{aligned} \quad (4.14)$$

$\forall t \in T : t \neq 1, \forall r \in R$

$$\begin{aligned} x_{1r} = & X_{0r} + 0.0036 \left(\Upsilon_{1r} + \sum_{f \in F_r: (D_{fr}=0)} \sum_{a \in \mathcal{U}_f} (q_{1a} + s_{1f}) \right) \\ & + 0.0036 \left(+ \sum_{f \in F_r: (D_{fr}>0)} U_{(NT+1-D_{fr})f}^Y - \left(\sum_{u \in \mathcal{U}_r} q_{1u} + s_{1r} \right) \right), (v_{1r}) \end{aligned} \quad (4.15)$$

$\forall r \in R$

$$0 \leq \sum_{b \in B} p_{tub}^G \leq P_u^{Ef} \quad (\alpha_{tu}^{Hmin}, \alpha_{tu}^{Hmax}), \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \quad (4.16)$$

$$\sum_{b \in B} p_{tub}^G = k_u \eta_u^{TG} H_r^{Ef} q_{tu} (\alpha_{tru}), \forall t \in T, \forall r \in R, \forall u \in \mathcal{U}_r \quad (4.17)$$

A restrição (4.3) representa o balanço de potência ativa nas barras do sistema, em que os fluxos de potência nas linhas de transmissão são representados através de uma formulação linear. Os dois primeiros termos representam as gerações de potência ativa na barra $n \in N$, os quais estão relacionados à companhia *price-maker* e às demais companhias, respectivamente. O terceiro termo representa a demanda de potência ativa na barra n . O termo à direita da igualdade representa os fluxos de potência que fluem da barra n para as barras diretamente conectadas à barra n . O valor λ_{tn} , destacado entre parênteses após a descrição da restrição, corresponde à variável dual associada a esta restrição, que representam o preço nodal de energia do sistema. As variáveis duais associadas a cada uma das restrições seguintes também são destacadas, pois, serão utilizados na técnica de solução do problema, descrita em detalhes no Capítulo 5.

As restrições (4.4)–(4.5) representam os limites de potência dos blocos de ofertas e lances fornecidos no leilão do dia seguinte por geradores e consumidores, respectivamente.

A restrição (4.6) representa os limites de capacidade das linhas de transmissão. Os limites para os ângulos das tensões nas barras são definidos em (4.7), sendo que o ângulo é definido como valor de referência nula na barra de referência (*slack*), por meio da restrição (4.8), que é definida como um parâmetro no modelo, devido à necessidade da existência de uma variável dual associada a essa restrição para que ela possa posteriormente ser utilizada na técnica de construção de um modelo equivalente ao modelo matemático bi-nível proposto, bem como nas linearizações a serem feitas mais a frente.

As restrições (4.9) e (4.10) representam os limites de tomada e alívio de carga (rampas de subida e descida) para as unidades termoelétricas.

As restrições (4.11)–(4.17), envolvendo limites físicos e operacionais das unidades hidrelétricas e reservatórios, são denominadas de restrições hidráulicas do sistema. As restrições (4.11) representam as vazões defluentes de cada reservatório $r \in R$ em cada período $t \in T$. As restrições (4.12) representam os limites nas vazões turbinadas de cada unidade hidrelétrica $u \in H$ em cada período. As restrições (4.13) representam os limites nos volumes dos reservatórios em cada período. O balanço de massa de água em cada reservatório é representado pelas restrições (4.14) e (4.15). Os limites de geração das unidades hidrelétricas são representados pelas restrições (4.16) e as restrições (4.17) representam a função de produção destas unidades.

O modelo bi-nível descrito de (4.1)–(4.17) não pode ser resolvido diretamente da maneira como está formulado matematicamente (i.e. como um problema bi-nível). Portanto, o Capítulo 5, a seguir, tem o intuito de descrever a técnica de solução proposta nesta dissertação para problema bi-nível proposto, que se baseia na reformulação do COE como um problema equivalente de um único nível, formulado como um Problema Matemático com Restrição de Equilíbrio (PMRE), também conhecido pela sigla em inglês MPEC (*Mathematical Program with Equilibrium Constraints*) (LUO; PANG; RALPH, 1996).

5 TÉCNICA DE SOLUÇÃO PROPOSTA

A técnica de solução proposta neste trabalho consiste basicamente em substituir o problema de nível inferior por suas condições de Karush-Kuhn-Tucker (KKT). O problema de um único nível resultante desta substituição (que é um PMRE) possui duas fontes de não linearidades: i) as condições de complementaridade de KKT utilizadas envolvem produtos bi-lineares (multiplicação de cada restrição de desigualdade pela respectiva variável dual) e ii) a função objetivo (4.1) possui um produto bilinear envolvendo o preço de equilíbrio de mercado e a potência produzida pela companhia *price-maker*.

As não linearidades descritas em i) são tratadas neste trabalho por meio da técnica de otimização linear inteira mista, utilizando-se o método do *Big-M* (FORTUNY-AMAT; MCCARL, 1981). As não linearidades descritas em ii) são tratadas neste trabalho por meio da aplicação do teorema da dualidade forte ao problema de nível inferior (PEM) (LUENBERGER; YE, 2008). Este teorema afirma que a função objetivo primal do PEM é igual à sua respectiva função dual no ponto de otimalidade, se este problema for convexo. Além deste teorema, a linearização proposta envolve relações entre as condições de KKT deste problema de modo a linearizar a função objetivo do problema de COE (nível superior). O modelo equivalente ao modelo bi-nível proposto é linearizado, pois, existe em um ambiente de mercado a preferência pelo OM por modelos lineares na obtenção do preço de equilíbrio de mercado. Isso ocorre por conta das características de convergência e otimalidade global de um modelo linear, dando assim, maiores garantias de encontrar o equilíbrio, e evitar possíveis ações judiciais por parte de agentes, que participam do mercado, insatisfeitos com a operação do mercado conduzida pelo OM (CONEJO; CARRIÓN; MORALES, 2010).

A partir da aplicação da técnica de solução proposta ao modelo de COE bi-nível, obtém-se um problema de um único nível, equivalente ao problema bi-nível original, o qual é formulado como um Problema Matemático com Restrição de Equilíbrio (PMRE) (LUO; PANG; RALPH, 1996).

As condições de KKT, utilizadas para a representação do problema de nível inferior envolvem: i) as restrições primais originais associadas ao problema de nível inferior, dadas de (4.3)–(4.17); ii) as derivadas parciais da função Lagrangiana do problema de nível inferior igual a zero ($\nabla L(.) = 0$), descritas na Seção 5.1.1 e detalhadas no Apêndice A e iii) as restrições de complementaridade e não negatividade dos multiplicadores de Lagrange descritas na Seção 5.1.2. A linearização dos termos bilineares na função objetivo

do problema de nível superior é descrita na Seção 5.2.

O modelo matemático final do problema de otimização equivalente ao problema de COE proposto, representado em um único nível, é descrito na Seção 5.3.

5.1 Condições de KKT do Problema de Nível Inferior

As condições de KKT de um problema de otimização envolvem as restrições do problema primal, as equações em que o gradiente da função Lagrangiana se iguala a zero e as restrições de complementaridade. As variáveis do problema de nível inferior são resumidas nos vetores: $\mathbf{p}^G, \mathbf{p}^C, \theta$, que representam, respectivamente: as potências ativas geradas em todas as unidades, todos os períodos, e todos os blocos ofertados; a potência consumida por todos os consumidores, em todos os períodos, em todos os blocos de lances submetidos; os ângulos das tensões em todas as barras, em todos os períodos. As derivadas das restrições do problema em relação a cada uma destas variáveis são discutidas a seguir.

5.1.1 Derivadas Parciais da Função Lagrangiana

As derivadas em relação às variáveis do problema de nível inferior do modelo bi-nível estão detalhadas no Apêndice A. A obtenção de regras gerais para as derivadas de algumas restrições é uma tarefa que pode ser considerada complexa, em virtude, principalmente, das relações de inter-dependência temporais presentes em algumas variáveis nas restrições (4.9),(4.10) e (4.14), e espaciais em algumas variáveis presentes nas restrições (4.6), (4.14) e (4.15). As restrições referentes a $\nabla L(\cdot) = 0$ estão sintetizadas de (5.1) a (5.9):

$$\frac{\partial L}{\partial p_{tub}^G} = \begin{cases} \lambda_{tub}^O - \lambda_{tn} + \pi_{tub}^{Gmax} - \pi_{tub}^{Gmin} + DH_{tru} = 0, \forall t, \forall n, \forall r \in R, \forall u \in U_{nr}^{HI}, \forall b \\ \lambda_{tub}^G - \lambda_{tn} + \pi_{tub}^{Gmax} - \pi_{tub}^{Gmin} + DH_{tru} = 0, \forall t, \forall n, \forall r \in R, \forall u \in U_{nr}^{HJ}, \forall b \\ \lambda_{tub}^O - \lambda_{tn} + \pi_{tub}^{Gmax} - \pi_{tub}^{Gmin} + DT_{tu} = 0, \forall t, \forall n, \forall u \in U_n^{LI}, \forall b \\ \lambda_{tub}^G - \lambda_{tn} + \pi_{tub}^{Gmax} - \pi_{tub}^{Gmin} + DT_{tu} = 0, \forall t, \forall n, \forall u \in U_n^{LJ}, \forall b \end{cases}, \quad (5.1)$$

em que são utilizados os seguintes conjuntos:

$$\begin{aligned} U_{nr}^{HI} &= \forall u \in G_n^I \cap u \in U_r \cap u \in I \\ U_{nr}^{HJ} &= \forall u \in G_n^J \cap u \in U_r \cap u \in J \\ U_n^{LI} &= \forall u \in G_n^I \cap u \in I \cap u \in \mathcal{T} \\ U_n^{LJ} &= \forall u \in G_n^J \cap u \in J \cap u \in \mathcal{T}, \end{aligned} \quad (5.2)$$

e as seguintes derivadas parciais:

$$DH_{tru} = -\alpha_{tu}^{Hmin} + \alpha_{tu}^{Hmax} - \alpha_{tu}, \forall t, \forall r \in R, \forall u \in U_r \quad (5.3)$$

$$DT_{tu} = \begin{cases} -\gamma_{tu}^{Gup} + \gamma_{tu}^{Gdw} & , \forall t : t = 1, \forall u \in \mathcal{T}, \forall b \\ \gamma_{(t-1)u}^{Gup} - \gamma_{tu}^{Gup} + \gamma_{tu}^{Gdw} - \gamma_{(t-1)u}^{Gdw} & , \forall t : t \neq 1, t \neq NT, \forall u \in \mathcal{T}, \forall b \\ \gamma_{(t-1)u}^{Gup} - \gamma_{(t-1)u}^{Gdw} & , \forall t : t = NT, \forall u \in \mathcal{T}, \forall b \end{cases} \quad (5.4)$$

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial p_{tkb}^C} = -\lambda_{tkb}^C + \lambda_{tn} + \pi_{tkb}^{Cmax} - \pi_{tkb}^{Cmin} = 0, \forall t, \forall n, \forall k \in G_n^C, \forall b \quad (5.5)$$

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial \theta_{tn}} = \begin{cases} \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\lambda_{tn} - \lambda_{tm}) + \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\alpha_{tmn}^{min} - \alpha_{tnm}^{min}) \\ + \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\alpha_{tnm}^{max} - \alpha_{tmn}^{max}) - \beta_{tn}^{min} + \beta_{tn}^{max} + \beta_t^0 = 0 & , \forall t, n = 1 \\ \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\lambda_{tn} - \lambda_{tm}) + \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\alpha_{tmn}^{min} - \alpha_{tnm}^{min}) \\ + \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\alpha_{tnm}^{max} - \alpha_{tmn}^{max}) - \beta_{tn}^{min} + \beta_{tn}^{max} = 0 & , \forall t, \forall n, n \neq 1 \end{cases} \quad (5.6)$$

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial q_{tu}} = 0.0036 \left(\sum_{l \in \mathcal{T}_r: t+D_{rl} \leq NT} (v_{(t+D_{rl})l}) - v_{tr} \right) - \delta_{tr}^{Umin} + \delta_{tr}^{Umax} - \delta_{tuh}^{Qmin} \\ + \delta_{tu}^{Qmax} + k_u \eta_u^{TG} H_r^{Eef} \alpha_{tu} = 0, \forall t \in T, \forall r \in R, \forall u \in \mathcal{U}_r \quad (5.7)$$

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial s_{tr}} = 0.0036 \left(\sum_{l \in \mathcal{T}_r: (t+D_{rl}) \leq NT} (v_{(t+D_{rl})l}) - v_{tr} \right) - \delta_{tr}^{Umin} \\ + \delta_{tr}^{Umax} = 0, \forall t \in T, \forall r \in R \quad (5.8)$$

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial x_{tr}} = \begin{cases} -\sigma_{tr}^{min} + \sigma_{tr}^{max} - v_{tr} + v_{(t+1)r} = 0 & , \forall t : t \neq NT, \forall r \\ -\sigma_{tr}^{min} + \sigma_{tr}^{max} - \sigma_r^{Goal} - v_{tr} = 0 & , \forall t : t = NT, \forall r \end{cases} \quad (5.9)$$

5.1.2 Restrições de Complementaridade

As restrições de complementaridade referentes às condições de KKT de um problema de otimização estão relacionadas às suas restrições de desigualdade. Dada uma restrição de desigualdade $g(x) \geq 0$ de um determinado problema de minimização, cujo respectivo multiplicador de Lagrange é dado por μ , as condições de complementaridade estabelecem condições de não negatividade para os multiplicadores ($\mu \geq 0$) e para a própria restrição, $g(x) \geq 0$, e que o produto entre estes valores deve ser nulo, ou seja, $\mu g(x) = 0$. Estas restrições de complementaridade são usualmente representadas como em (5.10):

$$0 \leq g(x) \perp \mu \geq 0, \quad (5.10)$$

em que o símbolo \perp representa a complementaridade entre a função, $g(x)$, que representa a restrição, e o seu respectivo multiplicador de Lagrange μ , ou seja, $\mu g(x) = 0$.

Com base nesta definição, as restrições de complementaridade para o problema de nível inferior são descritas a seguir. As restrições de complementaridade associadas às restrições (4.4) são dadas conforme:

$$0 \leq p_{tub}^G \perp \pi_{tub}^{Gmin} \geq 0, \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B \\ 0 \leq P_{tub}^{Gmax} - p_{tub}^G \perp \pi_{tub}^{Gmax} \geq 0, \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B \quad (5.11)$$

As restrições de complementaridade associadas às restrições (4.5) são dadas conforme:

$$\begin{aligned} 0 &\leq p_{tkb}^C \perp \pi_{tkb}^{Cmin} \geq 0, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \\ 0 &\leq P_{tkb}^{Cmax} - p_{tkb}^C \perp \pi_{tkb}^{Cmax} \geq 0, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \end{aligned} \quad (5.12)$$

As restrições de complementaridade associadas às restrições (4.6) são dadas conforme:

$$\begin{aligned} 0 &\leq B_{nm} (\theta_{tn} - \theta_{tm}) + P_{nm}^{max} \perp \alpha_{tnm}^{min} \geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \\ 0 &\leq P_{nm}^{max} - B_{nm} (\theta_{tn} - \theta_{tm}) \perp \alpha_{tnm}^{max} \geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \end{aligned} \quad (5.13)$$

As restrições de complementaridade associadas às restrições (4.7) são dadas conforme:

$$\begin{aligned} 0 &\leq \theta_{tn} + \pi \perp \beta_{tn}^{min} \geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N \\ 0 &\leq \pi - \theta_{tn} \perp \beta_{tn}^{max} \geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N \end{aligned} \quad (5.14)$$

As restrições de complementaridade associadas às restrições (4.9) são dadas conforme:

$$0 \leq R_u^{Gup} + \sum_b (p_{tub}^G - p_{(t+1)ub}^G) \perp \gamma_{tu}^{Gup} \geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{T} \quad (5.15)$$

As restrições de complementaridade associadas às restrições (4.10) são dadas conforme:

$$0 \leq R_u^{Gdw} + \sum_b (p_{(t+1)ub}^G - p_{tub}^G) \perp \gamma_{tu}^{Gdw} \geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{T} \quad (5.16)$$

As restrições de complementaridade associadas às restrições (4.11) são dadas conforme:

$$\begin{aligned} 0 &\leq \sum_{u \in \mathcal{U}_r} (q_{tu} + s_{tr}) - U_r^{min} \perp \delta_{tr}^{Umin} \geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R \\ 0 &\leq U_r^{max} - \sum_{u \in \mathcal{U}_r} (q_{tu} + s_{tr}) \perp \delta_{tr}^{Umax} \geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R \end{aligned} \quad (5.17)$$

As restrições de complementaridade associadas às restrições (4.12) são dadas conforme:

$$\begin{aligned} 0 &\leq q_{tu} - Q_u^{min} \perp \delta_{tu}^{Qmin} \geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\ 0 &\leq Q_u^{Ef} - q_{tu} \perp \delta_{tu}^{Qmax} \geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \end{aligned} \quad (5.18)$$

As restrições de complementaridade associadas às restrições (4.13) são dadas conforme:

$$\begin{aligned} 0 &\leq x_{tr} - X_r^{min} \perp \sigma_{tr}^{min} \geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R \\ 0 &\leq X_r^{max} - x_{tr} \perp \sigma_{tr}^{max} \geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R \end{aligned} \quad (5.19)$$

As restrições de complementaridade associadas às restrições (4.16) são dadas conforme:

$$\begin{aligned} 0 &\leq \sum_{b \in B} p_{tub}^G \perp \alpha_{tu}^{Hmin} \geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\ 0 &\leq P_u^{Ef} - \sum_{b \in B} p_{tub}^G \perp \alpha_{tu}^{Hmax} \geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \end{aligned} \quad (5.20)$$

As restrições de complementaridade de (5.11) até (5.17) não podem ser diretamente introduzidas em pacotes utilizados para a solução de problemas de otimização linear inteira mista, uma vez que tais pacotes em geral não dão suporte à solução de problemas não lineares. Além disso, na maioria dos mercados os problemas de PEM precisam ser formulados como um problema de otimização inteiro misto, de modo a aumentar a transparência do modelo na alocação de recursos entre os agentes envolvidos no mercado. Assim, a linearização destas funções é necessária.

Uma das técnicas para a linearização das restrições de complementaridade utiliza a estratégia *Big-M*, descrita a seguir. Sejam as restrições de complementaridade genéricas, do tipo $0 \leq P \perp Q \geq 0$. Estas restrições podem ser reescritas conforme mostrado em (5.21):

$$\begin{aligned} P &\leq \mu M \\ Q &\leq (1 - \mu) M \\ P &\geq 0, Q \geq 0 \\ \mu &\in \{0, 1\}, \end{aligned} \quad (5.21)$$

em que M é um numero suficientemente grande para desativar as restrições quando necessário.

Utilizando a formulação equivalente dada em (5.21), todas as restrições de complementaridade vindas das condições de KKT do problema de nível inferior (5.11) até (5.17) são reescritas a seguir. Linearizando as restrições (5.11) através da técnica *Big-M* proposta em (FORTUNY-AMAT; MCCARL, 1981; RUIZ; CONEJO, 2009a), obtém-se:

$$\begin{aligned} p_{tub}^G &\leq \mu_{tub}^{Gmin} M_{tub}^G, \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B \\ \pi_{tub}^{Gmin} &\leq (1 - \mu_{tub}^{Gmin}) M_{tub}^G, \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B \\ p_{tub}^G &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B \\ \pi_{tub}^{Gmin} &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B, \end{aligned} \quad (5.22)$$

$$\begin{aligned} P_{tub}^{Gmax} - p_{tub}^G &\leq \mu_{tub}^{Gmax} M_{tub}^G, \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B \\ \pi_{tub}^{Gmax} &\leq (1 - \mu_{tub}^{Gmax}) M_{tub}^G, \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B \\ P_{tub}^{Gmax} - p_{tub}^G &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B \\ \pi_{tub}^{Gmax} &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B. \end{aligned} \quad (5.23)$$

Linearizando as restrições (5.12) através da técnica *Big-M*, obtém-se:

$$\begin{aligned}
p_{tkb}^C &\leq \mu_{tkb}^{Cmin} M_{tkb}^C, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \\
\pi_{tkb}^{Cmin} &\leq (1 - \mu_{tkb}^{Cmin}) M_{tkb}^C, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \\
p_{tkb}^C &\geq 0, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \\
\pi_{tkb}^{Cmin} &\geq 0, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B,
\end{aligned} \tag{5.24}$$

$$\begin{aligned}
P_{tkb}^{Cmax} - p_{tkb}^C &\leq \mu_{tkb}^{Cmax} M_{tkb}^C, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \\
\pi_{tkb}^{Cmax} &\leq (1 - \mu_{tkb}^{Cmax}) M_{tkb}^C, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \\
P_{tkb}^{Cmax} - p_{tkb}^C &\geq 0, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \\
\pi_{tkb}^{Cmax} &\geq 0, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B.
\end{aligned} \tag{5.25}$$

Linearizando as restrições (5.13) através da técnica *Big-M*, obtém-se:

$$\begin{aligned}
B_{nm} (\theta_{tn} - \theta_{tm}) + P_{nm}^{max} &\leq \mu_{tnm}^{Bmin} M_{tnm}^B, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \\
\alpha_{tnm}^{min} &\leq (1 - \mu_{tnm}^{Bmin}) M_{tnm}^B, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \\
B_{nm} (\theta_{tn} - \theta_{tm}) + P_{nm}^{max} &\geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \\
\alpha_{tnm}^{min} &\geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n,
\end{aligned} \tag{5.26}$$

$$\begin{aligned}
P_{nm}^{max} - B_{nm} (\theta_{tn} - \theta_{tm}) &\leq \mu_{tnm}^{Bmax} M_{tnm}^B, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \\
\alpha_{tnm}^{max} &\leq (1 - \mu_{tnm}^{Bmax}) M_{tnm}^B, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \\
P_{nm}^{max} - B_{nm} (\theta_{tn} - \theta_{tm}) &\geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \\
\alpha_{tnm}^{max} &\geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n.
\end{aligned} \tag{5.27}$$

Linearizando as restrições (5.14) através da técnica *Big-M*, obtém-se:

$$\begin{aligned}
\theta_{tn} + \pi &\leq \mu_{tn}^{\Pi min} M_{nm}^{Pi}, \forall t \in T, \forall n \in N \\
\beta_{tn}^{min} &\leq (1 - \mu_{tn}^{\Pi min}) M_{nm}^{Pi}, \forall t \in T, \forall n \in N \\
\theta_{tn} + \pi &\geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N \\
\beta_{tn}^{min} &\geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N,
\end{aligned} \tag{5.28}$$

$$\begin{aligned}
\pi - \theta_{tn} &\leq \mu_{tn}^{\Pi max} M_{nm}^{Pi}, \forall t \in T, \forall n \in N \\
\beta_{tn}^{max} &\leq (1 - \mu_{tn}^{\Pi max}) M_{nm}^{Pi}, \forall t \in T, \forall n \in N \\
\pi - \theta_{tn} &\geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N \\
\beta_{tn}^{max} &\geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N.
\end{aligned} \tag{5.29}$$

Linearizando as restrições (5.15) através da técnica *Big-M*, obtém-se:

$$\begin{aligned}
R_u^{Gup} + \sum_{b \in B} p_{tub}^G - \sum_{b \in B} p_{(t+1)ub}^G &\leq \mu_{tu}^{Gup} M_{tu}^{Gup}, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{T} \\
\gamma_{tu}^{Gup} &\leq (1 - \mu_{tu}^{Gup}) M_{tu}^{Gup}, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{T} \\
R_u^{Gup} + \sum_{b \in B} p_{tub}^G - \sum_{b \in B} p_{(t+1)ub}^G &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{T} \\
\gamma_{tu}^{Gup} &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{T}.
\end{aligned} \tag{5.30}$$

Linearizando as restrições (5.16) através da técnica *Big-M*, obtém-se:

$$\begin{aligned}
R_u^{Gdw} + \sum_{b \in B} p_{(t+1)ub}^G - \sum_{b \in B} p_{tub}^G &\leq \mu_{tu}^{Gdw} M_{tu}^{Gdw}, \forall t \in T, t \neq 1, \forall u \in \mathcal{T} \\
\gamma_{tu}^{Gdw} &\leq (1 - \mu_{tu}^{Gdw}) M_{tu}^{Gdw}, \forall t \in T, t \neq 1, \forall u \in \mathcal{T} \\
R_u^{Gdw} + \sum_{b \in B} p_{(t+1)ub}^G - \sum_{b \in B} p_{tub}^G &\geq 0, \forall t \in T, t \neq 1, \forall u \in \mathcal{T} \\
\gamma_{tu}^{Gdw} &\geq 0, \forall t \in T, t \neq 1, \forall u \in \mathcal{T}.
\end{aligned} \tag{5.31}$$

Linearizando as restrições (5.17) através da técnica *Big-M*, obtém-se:

$$\begin{aligned}
\sum_{u \in \mathcal{U}_r} (q_{tu} + s_{tr}) - U_r^{min} &\leq \mu_{tr}^{Umin} M_{tr}^U, \forall t \in T, \forall r \in R \\
\delta_{tr}^{Umin} &\leq (1 - \mu_{tr}^{Umin}) M_{tr}^U, \forall t \in T, \forall r \in R \\
\sum_{u \in \mathcal{U}_r} (q_{tu} + s_{tr}) - U_r^{min} &\geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R \\
\delta_{tr}^{Umin} &\geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R,
\end{aligned} \tag{5.32}$$

$$\begin{aligned}
U_r^{max} - \sum_{u \in \mathcal{U}_r} (q_{tu} + s_{tr}) &\leq \mu_{tr}^{Umax} M_{tr}^U, \forall t \in T, \forall r \in R \\
\delta_{tr}^{Umax} &\leq (1 - \mu_{tr}^{Umax}) M_{tr}^U, \forall t \in T, \forall r \in R \\
U_r^{max} - \sum_{u \in \mathcal{U}_r} (q_{tu} + s_{tr}) &\geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R \\
\delta_{tr}^{Umax} &\geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R.
\end{aligned} \tag{5.33}$$

Linearizando as restrições (5.18) através da técnica *Big-M*, obtém-se:

$$\begin{aligned}
q_{tu} - Q_u^{min} &\leq \mu_{tu}^{Qmin} M_{tu}^Q, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
\delta_{tu}^{Qmin} &\leq (1 - \mu_{tu}^{Qmin}) M_{tu}^Q, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
q_{tu} - Q_u^{min} &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
\delta_{tu}^{Qmin} &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H},
\end{aligned} \tag{5.34}$$

$$\begin{aligned}
Q_u^{Ef} - q_{tu} &\leq \mu_{tu}^{Qmax} M_{tu}^Q, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
\delta_{tu}^{Qmax} &\leq (1 - \mu_{tu}^{Qmax}) M_{tu}^Q, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
Q_u^{Ef} - q_{tu} &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
\delta_{tu}^{Qmax} &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H}.
\end{aligned} \tag{5.35}$$

Linearizando as restrições (5.19) através da técnica *Big-M*, obtém-se:

$$\begin{aligned}
x_{tr} - X_r^{min} &\leq \mu_{tr}^{Xmin} M_{tr}^X, \forall t \in T, \forall t \in T, \forall r \in R \\
\sigma_{tr}^{min} &\leq (1 - \mu_{tr}^{Xmin}) M_{tr}^X, \forall t \in T, \forall r \in R \\
x_{tr} - X_r^{min} &\geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R \\
\sigma_{tr}^{min} &\geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R,
\end{aligned} \tag{5.36}$$

$$\begin{aligned}
X_r^{max} - x_{tr} &\leq \mu_{tr}^{Xmax} M_{tr}^X, \forall t \in T, \forall r \in R \\
\sigma_{tr}^{max} &\leq (1 - \mu_{tr}^{Xmax}) M_{tr}^X, \forall t \in T, \forall r \in R \\
X_r^{max} - x_{tr} &\geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R \\
\sigma_{tr}^{max} &\geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R.
\end{aligned} \tag{5.37}$$

Linearizando as restrições (5.20) através da técnica *Big-M*, obtém-se:

$$\begin{aligned}
\sum_{b \in B} p_{tub}^G &\leq \mu_{tu}^{Hmin} M_{tu}^H, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
\alpha_{tu}^{Hmin} &\leq (1 - \mu_{tu}^{Hmin}) M_{tu}^H, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
\sum_{b \in B} p_{tub}^G &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
\alpha_{tu}^{Hmin} &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H},
\end{aligned} \tag{5.38}$$

$$\begin{aligned}
P_u^{Ef} - \sum_{b \in B} p_{tub}^G &\leq \mu_{tu}^{Hmax} M_{tu}^H, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
\alpha_{tu}^{Hmax} &\leq (1 - \mu_{tu}^{Hmax}) M_{tu}^H, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
P_u^{Ef} - \sum_{b \in B} p_{tub}^G &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
\alpha_{tu}^{Hmax} &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H}.
\end{aligned} \tag{5.39}$$

Os valores adotados nos testes para os termos *Big-M* são dados de (5.40) até (5.49):

$$M_{tub}^G = (P_{tub}^{Gmax} + 1) * 10000, \forall t \in T, \forall u \in I \cup J, \forall b \in B \tag{5.40}$$

$$M_{tkb}^C = (P_{tkb}^{Cmax} + 1) * 10000, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \tag{5.41}$$

$$M_{tnm}^B = (P_{nm}^{max} + 1) * 10000, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \tag{5.42}$$

$$M_{nm}^{Pi} = (\Pi + 1) * 10000, \forall n \in N, \forall m \in N_n \tag{5.43}$$

$$M_{tu}^{Gup} = (R_u^{Gup} + 1) * 10000, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{T} \tag{5.44}$$

$$M_{tu}^{Gdw} = (R_u^{Gdw} + 1) * 10000, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{T} \tag{5.45}$$

$$M_{tr}^U = (U_r^{max} + 1) * 10000, \forall t \in T, \forall r \in R \tag{5.46}$$

$$M_{tu}^Q = (Q_u^{Ef} + 1) * 10000, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \tag{5.47}$$

$$M_{tr}^X = (X_r^{max} + 1) * 10000, \forall t \in T, \forall r \in R \tag{5.48}$$

$$M_{tu}^H = (P_u^{Ef} + 1) * 10000, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H}. \tag{5.49}$$

5.2 Linearizando o Termo Bilinear na Função Objetivo do Problema de Nível Superior

A linearização de termos bilineares como o termo $\lambda_{tn} p_{tjb}^G$ da função objetivo do problema de nível superior tem sido feita na literatura (RUIZ; CONEJO, 2009b) por meio da utilização do teorema da dualidade forte aplicado no problema de nível inferior, o qual afirma que, na solução ótima de problemas convexos, a função objetivo primal deste problema deve igualar-se a sua respectiva função objetivo dual, (LUENBERGER; YE, 2008).

A construção da função objetivo dual de um problema de otimização linear é apresentada em (ARENALES et al., 2007). A regra de construção aqui adotada obedece à Tabela 2.26 de (ARENALES et al., 2007), que pode ser resumida da seguinte forma:

- Cada conjunto de restrição deve ser reescrito de modo que as variáveis estejam do lado esquerdo da desigualdade do tipo maior ou igual e as constantes (vetor de recursos) de cada conjunto de restrição estejam do lado direito
- O termo relativo a tal conjunto de restrições que aparece como uma componente da função dual é dado pelo vetor de recursos à direita da desigualdade multiplicado pelo multiplicador de Lagrange correspondente.
- Tal regra deve ser aplicada a cada conjunto de restrições do problema de nível inferior, gerando todos os termos da função objetivo do problema dual.

Com base nesta esquematização, os termos da função dual, relacionados a cada conjunto de restrições é calculado a seguir. Da restrição (4.4), tem-se apenas o termo relacionado aos limites máximos, já que o limite mínimo é nulo, conforme:

$$- \sum_{t \in T} \sum_{u \in J \cup I} \sum_{b \in B} P_{tub}^{Gmax} \pi_{tub}^{Gmax}. \quad (5.50)$$

Da restrição (4.5), tem-se apenas o termo relacionado aos limites máximos, já que os recursos associados ao limite mínimo são nulos, conforme:

$$- \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{b \in B} P_{tkb}^{Cmax} \pi_{tkb}^{Cmax}. \quad (5.51)$$

Da restrição (4.6), aparecem os termos relacionados aos limites mínimos e máximos, conforme:

$$- \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{m \in N_n} P_{nm}^{max} \alpha_{tnm}^{min} - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{m \in N_n} P_{nm}^{max} \alpha_{tnm}^{max}. \quad (5.52)$$

Da restrição (4.7), aparecem os termos relacionados aos limites mínimos e máximos:

$$- \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \pi \beta_{tn}^{min} - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \pi \beta_{tn}^{max}. \quad (5.53)$$

Da restrição (4.9), tem-se:

$$- \sum_{t \in T} \sum_{u \in \mathcal{T}} R_u^{Gup} \gamma_{tu}^{Gup}. \quad (5.54)$$

Da restrição (4.10), tem-se:

$$- \sum_{t \in T} \sum_{u \in \mathcal{T}} R_u^{Gdw} \gamma_{tu}^{Gdw}. \quad (5.55)$$

Da restrição (4.11), aparecem os termos relacionados aos limites mínimos e máximos:

$$+ \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} U_r^{min} \delta_{tr}^{Umin} - \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} U_r^{max} \delta_{tr}^{Umax}. \quad (5.56)$$

Da restrição (4.12), tem-se somente o termo relacionado ao limite mínimo, já que o limite máximo é uma variável do problema:

$$+ \sum_{t \in T} \sum_{u \in \mathcal{H}} Q_u^{min} \delta_{tu}^{Qmin} - \sum_{t \in T} \sum_{u \in \mathcal{H}} Q_u^{Ef} \delta_{tu}^{Qmax}. \quad (5.57)$$

Da restrição (4.13), aparecem os termos relacionados aos limites mínimos e máximos:

$$+ \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} X_r^{min} \sigma_{tr}^{min} - \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} X_r^{max} \sigma_{tr}^{max}. \quad (5.58)$$

Da restrição (4.14), tem-se:

$$+ \sum_{t \in T: t \neq 1} \sum_{r \in R} 0.0036 \left(\Upsilon_{tr} + \sum_{f \in F_r: (t - D_{fr} < 1)} U_{(NT+t-D_{fr})f}^Y \right) (v_{tr}). \quad (5.59)$$

Da restrição (4.15), tem-se:

$$+ \sum_{r \in R} \left(X_{0r} + 0.0036 \left(\Upsilon_{1r} + \sum_{f \in F_r: (D_{fr} > 0)} U_{(NT+1-D_{fr})f}^Y \right) \right) (v_{1r}). \quad (5.60)$$

Da restrição (4.16), tem-se:

$$- \sum_{t \in T} \sum_{u \in \mathcal{H}} P_u^{Ef} \alpha_{tu}^{Hmax}. \quad (5.61)$$

Assim, a função objetivo do problema dual associado ao problema de nível inferior é dada pela somatória dos termos anteriormente calculados, resultando na função dada em (5.62):

$$\begin{aligned}
 D = & - \sum_{t \in T} \sum_{u \in J \cup I} \sum_{b \in B} P_{tub}^{Gmax} \pi_{tub}^{Gmax} - \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{b \in B} P_{tkb}^{Cmax} \pi_{tkb}^{Cmax} \\
 & - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{m \in N_n} P_{nm}^{max} \alpha_{tnm}^{min} - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{m \in N_n} P_{nm}^{max} \alpha_{tnm}^{max} \\
 & - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \pi \beta_{tn}^{min} - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \pi \beta_{tn}^{max} - \sum_{t \in T} \sum_{u \in T} R_u^{Gup} \gamma_{tu}^{Gup} - \sum_{t \in T} \sum_{u \in T} R_u^{Gdw} \gamma_{tu}^{Gdw} \\
 & + \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} U_r^{min} \delta_{tr}^{Umin} - \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} U_r^{max} \delta_{tr}^{Umax} + \sum_{t \in T} \sum_{u \in \mathcal{H}} Q_u^{min} \delta_{tu}^{Qmin} - \sum_{t \in T} \sum_{u \in \mathcal{H}} Q_u^{Ej} \delta_{tu}^{Qmax} \\
 & + \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} X_r^{min} \sigma_{tr}^{min} \\
 & - \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} X_r^{max} \sigma_{tr}^{max} \\
 & + \sum_{t \in T: t \neq 1} \sum_{r \in R} 0.0036 \left(\Upsilon_{tr} + \sum_{f \in Fr: (t - D_{fr} < 1)} U_{(NT+t-D_{fr})f}^Y \right) (v_{tr}) \\
 & + \sum_{r \in R} \left(X_{0r} + 0.0036 \left(\Upsilon_{1r} \sum_{f \in Fr: (D_{fr} > 0)} U_{(NT+1-D_{fr})f}^Y \right) \right) (v_{1r}) - \sum_{t \in T} \sum_{u \in \mathcal{H}} P_u^{Ej} \alpha_{tu}^{Hmax}.
 \end{aligned} \tag{5.62}$$

Igualando-se as funções objetivo primal e dual e isolando-se o termo $\sum_{t \in T} \sum_{u \in J} \sum_{b \in B} \lambda_{tub}^G p_{tub}^G$, tem-se a igualdade (5.63):

$$\begin{aligned}
 \sum_{t \in T} \sum_{u \in J} \sum_{b \in B} \lambda_{tub}^G p_{tub}^G = & - \sum_{t \in T} \sum_{u \in I} \sum_{b \in B} \lambda_{tub}^O p_{tub}^G + \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{b \in B} \lambda_{tkb}^C p_{tkb}^C \\
 & - \sum_{t \in T} \sum_{u \in J \cup I} \sum_{b \in B} P_{tub}^{Gmax} \pi_{tub}^{Gmax} - \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{b \in B} P_{tkb}^{Cmax} \pi_{tkb}^{Cmax} \\
 & - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{m \in N_n} P_{nm}^{max} \alpha_{tnm}^{min} - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{m \in N_n} P_{nm}^{max} \alpha_{tnm}^{max} \\
 & - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \pi \beta_{tn}^{min} - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \pi \beta_{tn}^{max} - \sum_{t \in T} \sum_{u \in T} R_u^{Gup} \gamma_{tu}^{Gup} - \sum_{t \in T} \sum_{u \in T} R_u^{Gdw} \gamma_{tu}^{Gdw} \\
 & + \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} U_r^{min} \delta_{tr}^{Umin} - \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} U_r^{max} \delta_{tr}^{Umax} + \sum_{t \in T} \sum_{u \in \mathcal{H}} Q_u^{min} \delta_{tu}^{Qmin} - \sum_{t \in T} \sum_{u \in \mathcal{H}} Q_u^{Ej} \delta_{tu}^{Qmax} \\
 & + \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} X_r^{min} \sigma_{tr}^{min} \\
 & - \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} X_r^{max} \sigma_{tr}^{max} \\
 & + \sum_{t \in T: t \neq 1} \sum_{r \in R} 0.0036 \left(\Upsilon_{tr} + \sum_{f \in Fr: (t - D_{fr} < 1)} U_{(NT+t-D_{fr})f}^Y \right) (v_{tr}) \\
 & + \sum_{r \in R} \left(X_{0r} + 0.0036 \left(\Upsilon_{1r} \sum_{f \in Fr: (D_{fr} > 0)} U_{(NT+1-D_{fr})f}^Y \right) \right) (v_{1r}) - \sum_{t \in T} \sum_{u \in \mathcal{H}} P_u^{Ej} \alpha_{tu}^{Hmax}.
 \end{aligned} \tag{5.63}$$

A expressão (5.63) será utilizada na linearização mais adiante. Para a linearização do termo bilinear $\lambda_{tn}^G p_{tjb}^G$ da função objetivo do problema de nível superior, utiliza-se também a condição de KKT (A.7), a qual é rescrita em (5.64), isolando-se o termo

associado a λ_{tn} :

$$\begin{aligned}\lambda_{tn} &= \lambda_{tub}^G + \pi_{tub}^{Gmax} - \pi_{tub}^{Gmin} + DH_{tru}, \forall t, \forall n, \forall r \in R, \forall u \in U_{nr}^{HJ}, \forall b \\ \lambda_{tn} &= \lambda_{tub}^G + \pi_{tub}^{Gmax} - \pi_{tub}^{Gmin} + DT_{tu}, \forall t, \forall n, \forall u \in U_n^{LJ}, \forall b\end{aligned}, \quad (5.64)$$

em que:

$$DH_{tru} = -\alpha_{tu}^{Hmin} + \alpha_{tu}^{Hmax} - \alpha_{tu}, \forall t, \forall r \in R, \forall u \in U_r \quad (5.65)$$

$$DT_{tu} = \begin{cases} \gamma_{(t+1)u}^{Gdw} - \gamma_{(t+1)u}^{Gup}, & t = 1, u \in \mathcal{T} \\ \gamma_{tu}^{Gup} - \gamma_{(t+1)u}^{Gup} + \gamma_{(t+1)u}^{Gdw} - \gamma_{tu}^{Gdw}, & t \neq 1 \text{ and } t \neq NT, u \in \mathcal{T} \\ \gamma_{tu}^{Gup} - \gamma_{tu}^{Gdw} & t = NT, u \in \mathcal{T} \end{cases}. \quad (5.66)$$

Multiplicando-se a expressão (5.64) por p_{tub}^G e somando-se os termos para $\forall t, \forall n, \forall b$ e para $\forall u \in U_{nr}^{HJ}$ e $\forall u \in U_n^{LJ}$, chega-se à expressão:

$$\begin{aligned}\sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{r \in R} \sum_{n \in N} \sum_{u \in U_{nr}^{HJ}} \sum_{b \in B} \lambda_{tn} p_{tub}^G &= \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{r \in R} \sum_{n \in N} \sum_{u \in U_{nr}^{HJ}} \sum_{b \in B} p_{tub}^G \left(\lambda_{tub}^G + \pi_{tub}^{Gmax} - \pi_{tub}^{Gmin} + DH_{tru} \right) \\ \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{n \in N} \sum_{u \in U_n^{LJ}} \sum_{b \in B} \lambda_{tn} p_{tub}^G &= \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{n \in N} \sum_{u \in U_n^{LJ}} \sum_{b \in B} p_{tub}^G \left(\lambda_{tub}^G + \pi_{tub}^{Gmax} - \pi_{tub}^{Gmin} + DT_{tu} \right).\end{aligned} \quad (5.67)$$

É importante destacar a relação entre os conjuntos dada a seguir:

$$G_n^J = \bigcup_{r \in R} U_{nr}^{HJ} \cup U_n^{LJ}. \quad (5.68)$$

A partir da relação de conjuntos (5.68), e somando-se as expressões em (5.67), chega-se a (5.69), a qual será também utilizada mais adiante no processo de linearização. Cabe ressaltar que o primeiro termo à esquerda da igualdade corresponde ao termo já linearizado em (5.63) e que os dois termos seguintes são ainda bilineares.

$$\begin{aligned}\sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{n \in N} \sum_{u \in G_n^J} \sum_{b \in B} \lambda_{tn} p_{tub}^G &= \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{n \in N} \sum_{u \in G_n^J} \sum_{b \in B} \lambda_{tub}^G p_{tub}^G + \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{n \in N} \sum_{u \in G_n^J} \sum_{b \in B} \pi_{tub}^{Gmax} p_{tub}^G \\ &\quad - \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{n \in N} \sum_{u \in G_n^J} \sum_{b \in B} \pi_{tub}^{Gmin} p_{tub}^G \\ &\quad + \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{r \in R} \sum_{n \in N} \sum_{u \in U_{nr}^{HJ}} \sum_{b \in B} p_{tub}^G DH_{tru} + \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{n \in N} \sum_{u \in U_n^{LJ}} \sum_{b \in B} p_{tub}^G DT_{tu}.\end{aligned} \quad (5.69)$$

De forma a mostra o cancelamento de alguns termos, destaca-se o termo $p_{tub}^G DT_{tu}$ da equação (5.69). Com este termo é feito a seguir um exemplo envolvendo quatro período, de forma semelhante ao exemplo utilizado na dedução da derivada associada ao termo DT_{tu} (feita no Apêndice A.1.3), em que:

$$\begin{aligned}DT_{1u} &= -\gamma_{1u}^{Gup} + \gamma_{1u}^{Gdw} \\ DT_{2u} &= \gamma_{1u}^{Gup} - \gamma_{2u}^{Gup} + \gamma_{2u}^{Gdw} - \gamma_{1u}^{Gdw} \\ DT_{3u} &= \gamma_{2u}^{Gup} - \gamma_{3u}^{Gup} + \gamma_{3u}^{Gdw} - \gamma_{2u}^{Gdw} \\ DT_{4u} &= \gamma_{3u}^{Gup} - \gamma_{3u}^{Gdw}.\end{aligned} \quad (5.70)$$

multiplicando-se p_{tub}^G por DT_{tu} , tem-se:

$$\begin{aligned}
\sum_b p_{1ub}^G DT_{1u} &= \sum_b p_{1ub}^G \left(-\gamma_{1u}^{Gup} + \gamma_{1u}^{Gdw} \right) \\
\sum_b p_{2ub}^G DT_{1u} &= \sum_b p_{2ub}^G \left(\gamma_{1u}^{Gup} - \gamma_{2u}^{Gup} + \gamma_{2u}^{Gdw} - \gamma_{1u}^{Gdw} \right) \\
\sum_b p_{3ub}^G DT_{1u} &= \sum_b p_{3ub}^G \left(\gamma_{2u}^{Gup} - \gamma_{3u}^{Gup} + \gamma_{3u}^{Gdw} - \gamma_{2u}^{Gdw} \right) \\
\sum_b p_{4ub}^G DT_{1u} &= \sum_b p_{4ub}^G \left(\gamma_{3u}^{Gup} - \gamma_{3u}^{Gdw} \right),
\end{aligned} \tag{5.71}$$

que também pode ser escrito:

$$\begin{aligned}
\sum_b p_{1ub}^G DT_{1u} &= -\sum_b p_{1ub}^G \gamma_{1u}^{Gup} + \sum_b p_{1ub}^G \gamma_{1u}^{Gdw} \\
\sum_b p_{2ub}^G DT_{1u} &= \sum_b p_{2ub}^G \gamma_{1u}^{Gup} - \sum_b p_{2ub}^G \gamma_{2u}^{Gup} + \sum_b p_{2ub}^G \gamma_{2u}^{Gdw} - \sum_b p_{2ub}^G \gamma_{1u}^{Gdw} \\
\sum_b p_{3ub}^G DT_{1u} &= \sum_b p_{3ub}^G \gamma_{2u}^{Gup} - \sum_b p_{3ub}^G \gamma_{3u}^{Gup} + \sum_b p_{3ub}^G \gamma_{3u}^{Gdw} - \sum_b p_{3ub}^G \gamma_{2u}^{Gdw} \\
\sum_b p_{4ub}^G DT_{1u} &= \sum_b p_{4ub}^G \gamma_{3u}^{Gup} - \sum_b p_{4ub}^G \gamma_{3u}^{Gdw}.
\end{aligned} \tag{5.72}$$

Aplicando-se a regra de complementaridade dada em (5.15) e (5.16) ao exemplo, é possível encontrar as seguintes relações:

$$\begin{aligned}
-\sum_b p_{1ub}^G \gamma_{1u}^{Gup} + \sum_b p_{2ub}^G \gamma_{1u}^{Gup} &= \gamma_{1u}^{Gup} R_u^{Gup} \\
-\sum_b p_{2ub}^G \gamma_{2u}^{Gup} + \sum_b p_{3ub}^G \gamma_{2u}^{Gup} &= \gamma_{2u}^{Gup} R_u^{Gup} \\
-\sum_b p_{3ub}^G \gamma_{3u}^{Gup} + \sum_b p_{4ub}^G \gamma_{3u}^{Gup} &= \gamma_{3u}^{Gup} R_u^{Gup} \\
+\sum_b p_{1ub}^G \gamma_{1u}^{Gdw} - \sum_b p_{2ub}^G \gamma_{1u}^{Gdw} &= \gamma_{1u}^{Gdw} R_u^{Gdw} \\
+\sum_b p_{2ub}^G \gamma_{2u}^{Gdw} - \sum_b p_{3ub}^G \gamma_{2u}^{Gdw} &= \gamma_{2u}^{Gdw} R_u^{Gdw} \\
+\sum_b p_{3ub}^G \gamma_{3u}^{Gdw} - \sum_b p_{4ub}^G \gamma_{3u}^{Gdw} &= \gamma_{3u}^{Gdw} R_u^{Gdw}.
\end{aligned} \tag{5.73}$$

É possível observar das equações (5.72) e (5.73) que:

$$\sum_b p_{tub}^G DT_{tu} = \gamma_{tu}^{Gup} R_u^{Gup} + \gamma_{tu}^{Gdw} R_u^{Gdw}, \forall t : t \neq NT, \forall u \in \mathcal{T}. \tag{5.74}$$

Também é possível notar das relações de complementaridade que:

$$\gamma_{tu}^{Gup} \left(\sum_{b \in B} p_{(t+1)ub}^G - \sum_{b \in B} p_{tub}^G \right) = \gamma_{tu}^{Gup} R_u^{Gup}, \forall t : t \neq NT, \forall u \in \mathcal{T}, \tag{5.75}$$

$$\gamma_{tu}^{Gdw} \left(\sum_{b \in B} p_{tub}^G - \sum_{b \in B} p_{(t+1)ub}^G \right) = \gamma_{tu}^{Gdw} R_u^{Gdw}, \forall t : t \neq NT, \forall u \in \mathcal{T}. \tag{5.76}$$

Entretanto, como o que interessa para a linearização do termo $p_{tub}^G DT_{tu}$, são apenas as unidades pertencentes ao conjunto U_n^{LJ} , temos:

$$\sum_b p_{tub}^G DT_{tu} = \gamma_{tu}^{Gup} R_u^{Gup} + \gamma_{tu}^{Gdw} R_u^{Gdw}, \forall t : t \neq NT, \forall u \in U_n^{LJ}. \tag{5.77}$$

Substituindo-se (5.65) e (5.77) em (5.69), chega-se a:

$$\begin{aligned}
 \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{u \in G_n^J} \sum_{b \in B} \lambda_{tn} p_{tub}^G &= \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{u \in G_n^J} \sum_{b \in B} \lambda_{tub}^G p_{tub}^G + \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{u \in G_n^J} \sum_{b \in B} \pi_{tub}^{Gmax} p_{tub}^G \\
 &\quad - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{u \in G_n^J} \sum_{b \in B} \pi_{tub}^{Gmin} p_{tub}^G - \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} \sum_{n \in N} \sum_{u \in U_{nr}^{HJ}} \sum_{b \in B} p_{tub}^G \alpha_{tu}^{Hmin} \\
 &\quad + \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} \sum_{n \in N} \sum_{u \in U_{nr}^{HJ}} \sum_{b \in B} p_{tub}^G \alpha_{tu}^{Hmax} - \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} \sum_{n \in N} \sum_{u \in U_{nr}^{HJ}} \sum_{b \in B} p_{tub}^G \alpha_{tru} \\
 &\quad + \sum_{t \in T: t \neq NT} \sum_{n \in N} \sum_{u \in U_n^{LJ}} \gamma_{tu}^{Gup} R_u^{Gup} + \sum_{t \in T: t \neq NT} \sum_{n \in N} \sum_{u \in U_n^{LJ}} \gamma_{tu}^{Gdw} R_u^{Gdw}.
 \end{aligned} \tag{5.78}$$

A partir das relações de complementaridade (5.11) em que u pertença à J e (5.20) em que u pertença à U_{nr}^{HJ} , é possível encontrar as seguintes relações:

$$\begin{aligned}
 \pi_{tub}^{Gmin} p_{tub}^G &= 0, \forall t \in T, \forall u \in J, \forall b \in B \\
 \pi_{tub}^{Gmax} p_{tub}^{Gmax} &= \pi_{tub}^{Gmax} p_{tub}^G, \forall t \in T, \forall u \in J, \forall b \in B,
 \end{aligned} \tag{5.79}$$

$$\begin{aligned}
 \sum_{b \in B} p_{tub}^G \alpha_{tu}^{Hmin} &= 0 \quad \forall t \in T, \forall n \in N, r \in R, \forall u \in U_{nr}^{HJ} \\
 \sum_{b \in B} p_{tub}^G \alpha_{tu}^{Hmax} &= \alpha_{tu}^{Hmax} P_u^{Ej} \quad \forall t \in T, \forall n \in N, r \in R, \forall u \in U_{nr}^{HJ}.
 \end{aligned} \tag{5.80}$$

Substituindo-se (5.63), (5.79) e (5.80) em (5.78), chega-se à expressão final que lineariza o termo bilinear na função objetivo do problema de nível superior, dada por:

$$\begin{aligned}
 \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{u \in G_n^J} \sum_{b \in B} \lambda_{tn} p_{tub}^G &= \\
 &\quad - \sum_{t \in T} \sum_{u \in I} \sum_{b \in B} \lambda_{tub}^O p_{tub}^G + \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{b \in B} \lambda_{tkb}^C p_{tkb}^C \\
 &\quad - \sum_{t \in T} \sum_{u \in I} \sum_{b \in B} P_{tub}^{Gmax} \pi_{tub}^{Gmax} - \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{b \in B} P_{tkb}^{Cmax} \pi_{tkb}^{Cmax} - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{m \in N_n} P_{nm}^{max} \alpha_{tnm}^{min} \\
 &\quad - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{m \in N_n} P_{nm}^{max} \alpha_{tnm}^{max} - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \pi \beta_{tn}^{min} - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \pi \beta_{tn}^{max} - \sum_{t \in T} \sum_{u \in U_n^{LI}} R_u^{Gup} \gamma_{tu}^{Gup} \\
 &\quad - \sum_{t \in T} \sum_{u \in U_n^{LI}} R_u^{Gdw} \gamma_{tu}^{Gdw} + \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} U_r^{min} \delta_{tr}^{Umin} \\
 &\quad - \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} U_r^{max} \delta_{tr}^{Umax} + \sum_{t \in T} \sum_{u \in \mathcal{H}} Q_u^{min} \delta_{tu}^{Qmin} - \sum_{t \in T} \sum_{u \in \mathcal{H}} Q_u^{Ej} \delta_{tu}^{Qmax} \\
 &\quad - \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} S_r^{max} \delta_{tr}^{Smax} + \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} X_r^{min} \sigma_{tr}^{min} - \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} X_r^{max} \sigma_{tr}^{max} \\
 &\quad + \sum_{t \in T: t \neq 1} \sum_{r \in R} 0.0036 \left(\Upsilon_{tr} + \sum_{f \in F_r: (t-D_{fr} < 1)} U_{(NT+t-D_{fr})f}^Y \right) (v_{tr}) \\
 &\quad + \sum_{r \in R} \left(X_{0r} + 0.0036 \left(\Upsilon_{1r} + \sum_{f \in F_r: (D_{fr} > 0)} U_{(NT+1-D_{fr})f}^Y \right) \right) (v_{1r}) \\
 &\quad - \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} \sum_{n \in N} \sum_{u \in U_{nr}^{HI}} P_u^{Ej} \alpha_{tu}^{Hmax} - \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} \sum_{n \in N} \sum_{u \in U_{nr}^{HJ}} \sum_{b \in B} p_{tub}^G \alpha_{tu}.
 \end{aligned} \tag{5.81}$$

Substituindo-se equação (5.81) na função objetivo (4.1), obtém-se a função objetivo

final linearizada:

$$\begin{aligned}
\begin{matrix} Max \\ \lambda^G, p^G \end{matrix} & - \sum_{t \in T} \sum_{u \in I} \sum_{b \in B} \lambda_{tub}^O p_{tub}^G + \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{b \in B} \lambda_{tkb}^C p_{tkb}^C \\
& - \sum_{t \in T} \sum_{u \in I} \sum_{b \in B} P_{tub}^{Gmax} \pi_{tub}^{Gmax} - \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{b \in B} P_{tkb}^{Cmax} \pi_{tkb}^{Cmax} - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{m \in N_n} P_{nm}^{max} \alpha_{tnm}^{min} \\
& - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{m \in N_n} P_{nm}^{max} \alpha_{tnm}^{max} - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \pi \beta_{tn}^{min} - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \pi \beta_{tn}^{max} - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{u \in U_n^{LI}} R_u^{Gup} \gamma_{tu}^{Gup} \\
& - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{u \in U_n^{LI}} R_u^{Gdw} \gamma_{tu}^{Gdw} + \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} U_r^{min} \delta_{tr}^{Umin} - \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} U_r^{max} \delta_{tr}^{Umax} + \sum_{t \in T} \sum_{u \in \mathcal{H}} Q_u^{min} \delta_{tu}^{Qmin} \\
& - \sum_{t \in T} \sum_{u \in \mathcal{H}} Q_u^{Ef} \delta_{tu}^{Qmax} + \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} S_r^{min} \delta_{tr}^{Smin} + \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} X_r^{min} \sigma_{tr}^{min} \\
& - \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} X_r^{max} \sigma_{tr}^{max} \\
& + \sum_{t \in T: t \neq 1} \sum_{r \in R} 0.0036 \left(\Upsilon_{tr} + \sum_{f \in F_r: (t-D_{fr} < 1)} U_{(NT+t-D_{fr})f}^Y \right) (v_{tr}) \\
& + \sum_{r \in R} \left(X_{0r} + 0.0036 \left(\Upsilon_{1r} + \sum_{f \in F_r: (D_{fr} > 0)} U_{(NT+1-D_{fr})f}^Y \right) \right) (v_{1r}) \\
& - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{r \in R} \sum_{u \in U_{nr}^{HI}} P_u^{Ef} \alpha_{tu}^{Hmax} - C_{u \in U_n^{LJ}} (p_{tub}^G).
\end{aligned} \tag{5.82}$$

5.3 Modelo de um Único Nível Equivalente Proposto

O modelo completo de um único nível equivalente ao problema bi-nível original, o qual é utilizado nesta dissertação para a obtenção dos resultados, segue abaixo:

$$\begin{aligned}
\begin{matrix} Max \\ \lambda^G, p^G \end{matrix} & - \sum_{t \in T} \sum_{u \in I} \sum_{b \in B} \lambda_{tub}^O p_{tub}^G + \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{b \in B} \lambda_{tkb}^C p_{tkb}^C \\
& - \sum_{t \in T} \sum_{u \in I} \sum_{b \in B} P_{tub}^{Gmax} \pi_{tub}^{Gmax} - \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{b \in B} P_{tkb}^{Cmax} \pi_{tkb}^{Cmax} - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{m \in N_n} P_{nm}^{max} \alpha_{tnm}^{min} \\
& - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{m \in N_n} P_{nm}^{max} \alpha_{tnm}^{max} - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \pi \beta_{tn}^{min} - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \pi \beta_{tn}^{max} - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{u \in U_n^{LI}} R_u^{Gup} \gamma_{tu}^{Gup} \\
& - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{u \in U_n^{LI}} R_u^{Gdw} \gamma_{tu}^{Gdw} + \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} U_r^{min} \delta_{tr}^{Umin} - \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} U_r^{max} \delta_{tr}^{Umax} + \sum_{t \in T} \sum_{u \in \mathcal{H}} Q_u^{min} \delta_{tu}^{Qmin} \\
& - \sum_{t \in T} \sum_{u \in \mathcal{H}} Q_u^{Ef} \delta_{tu}^{Qmax} + \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} X_r^{min} \sigma_{tr}^{min} \\
& - \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} X_r^{max} \sigma_{tr}^{max} \\
& + \sum_{t \in T: t \neq 1} \sum_{r \in R} 0.0036 \left(\Upsilon_{tr} + \sum_{f \in F_r: (t-D_{fr} < 1)} U_{(NT+t-D_{fr})f}^Y \right) (v_{tr}) \\
& + \sum_{r \in R} \left(X_{0r} + 0.0036 \left(\Upsilon_{1r} + \sum_{f \in F_r: (D_{fr} > 0)} U_{(NT+1-D_{fr})f}^Y \right) \right) (v_{1r}) \\
& - \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{r \in R} \sum_{u \in U_{nr}^{HI}} P_u^{Ef} \alpha_{tu}^{Hmax} - C_{u \in U_n^{LJ}} (p_{tub}^G)
\end{aligned} \tag{5.83}$$

Sujeito a:

• Restrições primais do problema:

$$\sum_{u \in G_n^J} \sum_b p_{tub}^G + \sum_{u \in G_n^I} \sum_b p_{tub}^G - \sum_{k \in G_n^C} \sum_b p_{tkb}^C = \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\theta_{tn} - \theta_{tm}) \quad (\lambda_{tn}), \forall t \in T, \forall n \in N \quad (5.84)$$

$$0 \leq p_{tub}^G \leq P_{tub}^{Gmax} \quad (\pi_{tub}^{Gmin}, \pi_{tub}^{Gmax}), \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B \quad (5.85)$$

$$0 \leq p_{tkb}^C \leq P_{tkb}^{Cmax} \quad (\pi_{tkb}^{Cmin}, \pi_{tkb}^{Cmax}), \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \quad (5.86)$$

$$-P_{nm}^{max} \leq B_{nm} (\theta_{tn} - \theta_{tm}) \leq P_{nm}^{max} \quad (\alpha_{tnm}^{min}, \alpha_{tnm}^{max}), \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \quad (5.87)$$

$$-\pi \leq \theta_{tn} \leq \pi \quad (\beta_{tn}^{min}, \beta_{tn}^{max}), \forall t \in T, \forall n \in N \quad (5.88)$$

$$\theta_{t1} = 0 \quad (\beta_t^0), \forall t \in T \quad (5.89)$$

$$\sum_{b \in B} p_{(t+1)ub}^G - \sum_{b \in B} p_{tub}^G \leq R_u^{Gup} \quad (\gamma_{tu}^{Gup}), \forall t \in T : t \neq NT, \forall u \in T \quad (5.90)$$

$$\sum_{b \in B} p_{tub}^G - \sum_{b \in B} p_{(t+1)ub}^G \leq R_u^{Gdw} \quad (\gamma_{tu}^{Gdw}), \forall t \in T : t \neq NT, \forall u \in T \quad (5.91)$$

$$U_r^{min} \leq \sum_{u \in \mathcal{U}_r} q_{tu} + s_{tr} \leq U_r^{max} \quad (\delta_{tr}^{Umin}, \delta_{tr}^{Umax}), \forall t \in T, \forall r \in R \quad (5.92)$$

$$Q_u^{min} \leq q_{tu} \leq Q_u^{Ef} \quad (\delta_{tu}^{Qmin}, \delta_{tu}^{Qmax}), \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \quad (5.93)$$

$$X_r^{min} \leq x_{tr} \leq X_r^{max} \quad (\sigma_{tr}^{min}, \sigma_{tr}^{max}), \forall t \in T, \forall r \in R \quad (5.94)$$

$$\begin{aligned} x_{tr} = & x_{(t-1)r} + 0.0036 \left(\Upsilon_{tr} + \sum_{f \in F_r : (t-D_{fr} \geq 1)} \sum_{a \in \mathcal{U}_{rf}} (q_{(t-D_{fr})a} + s_{(t-D_{fr})f}) \right) \\ & + 0.0036 \left(\sum_{f \in F_r : (t-D_{fr} < 1)} U_{(NT+t-D_{fr})f}^Y - \left(\sum_{u \in \mathcal{U}_r} q_{tu} + s_{tr} \right) \right), (v_{tr}) \\ & \forall t \in T : t \neq 1, \forall r \in R \end{aligned} \quad (5.95)$$

$$\begin{aligned} x_{1r} = & X_{0r} + 0.0036 \left(\Upsilon_{1r} + \sum_{f \in F_r : (D_{fr}=0)} \sum_{a \in \mathcal{U}_f} (q_{1a} + s_{1f}) \right) \\ & + 0.0036 \left(+ \sum_{f \in F_r : (D_{fr} > 0)} U_{(NT+1-D_{fr})f}^Y - \left(\sum_{u \in \mathcal{U}_r} q_{1u} + s_{1r} \right) \right), (v_{1r}) \\ & \forall r \in R \end{aligned} \quad (5.96)$$

$$0 \leq \sum_{b \in B} p_{tub}^G \leq P_u^{Ef} \quad (\alpha_{tu}^{Hmin}, \alpha_{tu}^{Hmax}), \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \quad (5.97)$$

$$\sum_{b \in B} p_{tub}^G = k_u \eta_u^{TG} H_r^{Ef} q_{tu}(\alpha_{tu}), \forall t \in T, \forall r \in R, \forall u \in \mathcal{U}_r \quad (5.98)$$

• Restrições associadas às derivadas das restrições (KKT):

$$\frac{\partial L}{\partial p_{tub}^G} = \begin{cases} \lambda_{tub}^O - \lambda_{tn} + \pi_{tub}^{Gmax} - \pi_{tub}^{Gmin} + DH_{tru} = 0, \forall t, \forall n, \forall r \in R, \forall u \in U_{nr}^{HI}, \forall b \\ \lambda_{tub}^G - \lambda_{tn} + \pi_{tub}^{Gmax} - \pi_{tub}^{Gmin} + DH_{tru} = 0, \forall t, \forall n, \forall r \in R, \forall u \in U_{nr}^{HJ}, \forall b \\ \lambda_{tub}^O - \lambda_{tn} + \pi_{tub}^{Gmax} - \pi_{tub}^{Gmin} + DT_{tu} = 0, \forall t, \forall n, \forall u \in U_n^{LI}, \forall b \\ \lambda_{tub}^G - \lambda_{tn} + \pi_{tub}^{Gmax} - \pi_{tub}^{Gmin} + DT_{tu} = 0, \forall t, \forall n, \forall u \in U_n^{LJ}, \forall b \end{cases}, \quad (5.99)$$

em que são utilizados os seguintes conjuntos:

$$\begin{aligned} U_{nr}^{HI} &= \forall u \in G_n^I \cap u \in U_r \cap u \in I \\ U_{nr}^{HJ} &= \forall u \in G_n^J \cap u \in U_r \cap u \in J \\ U_n^{LI} &= \forall u \in G_n^I \cap u \in I \cap u \in \mathcal{T} \\ U_n^{LJ} &= \forall u \in G_n^J \cap u \in J \cap u \in \mathcal{T}, \end{aligned} \quad (5.100)$$

e as seguintes derivadas parciais:

$$DH_{tru} = -\alpha_{tu}^{Hmin} + \alpha_{tu}^{Hmax} - \alpha_{tru}, \forall t, \forall r \in R, \forall u \in U_r \quad (5.101)$$

$$DT_{tu} = \begin{cases} -\gamma_{tu}^{Gup} + \gamma_{tu}^{Gdw} & , \forall t : t = 1, \forall u \in \mathcal{T}, \forall b \\ \gamma_{(t-1)u}^{Gup} - \gamma_{tu}^{Gup} + \gamma_{tu}^{Gdw} - \gamma_{(t-1)u}^{Gdw} & , \forall t : t \neq 1, t \neq NT, \forall u \in \mathcal{T}, \forall b \\ \gamma_{(t-1)u}^{Gup} - \gamma_{(t-1)u}^{Gdw} & , \forall t : t = NT, \forall u \in \mathcal{T}, \forall b \end{cases} \quad (5.102)$$

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial p_{tkb}^C} = -\lambda_{tkb}^C + \lambda_{tn} + \pi_{tkb}^{Cmax} - \pi_{tkb}^{Cmin} = 0, \forall t, \forall n, \forall k \in G_n^C, \forall b \quad (5.103)$$

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial \theta_{tn}} = \begin{cases} \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\lambda_{tn} - \lambda_{tm}) + \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\alpha_{tmn}^{min} - \alpha_{tnm}^{min}) \\ + \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\alpha_{tmn}^{max} - \alpha_{tnm}^{max}) - \beta_{tn}^{min} + \beta_{tn}^{max} + \beta_t^0 = 0 & , \forall t, n = 1 \\ \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\lambda_{tn} - \lambda_{tm}) + \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\alpha_{tmn}^{min} - \alpha_{tnm}^{min}) \\ + \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\alpha_{tmn}^{max} - \alpha_{tnm}^{max}) - \beta_{tn}^{min} + \beta_{tn}^{max} = 0 & , \forall t, \forall n, n \neq 1 \end{cases} \quad (5.104)$$

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial q_{tu}} = 0.0036 \left(\sum_{l \in \mathcal{T}: t+D_{r,l} \leq NT} (v_{(t+D_{r,l})l}) - v_{tr} \right) - \delta_{tr}^{Umin} + \delta_{tr}^{Umax} - \delta_{tu}^{Qmin} \\ + \delta_{tu}^{Qmax} + k_u \eta_u^{TG} H_r^{Ef} \alpha_{tu} = 0, \forall t \in T, \forall r \in R, \forall u \in \mathcal{U}_r \quad (5.105)$$

$$\frac{\partial L(.)}{\partial s_{tr}} = 0.0036 \left(\sum_{l \in \mathcal{T}_r: (t+D_{r,l}) \leq NT} (v_{(t+D_{r,l})l}) - v_{tr} \right) - \delta_{tr}^{Umin} + \delta_{tr}^{Umax} = 0, \forall t \in T, \forall r \in R \quad (5.106)$$

$$\frac{\partial L(.)}{\partial x_{tr}} = \begin{cases} -\sigma_{tr}^{min} + \sigma_{tr}^{max} - v_{tr} + v_{(t+1)r} = 0 & , \forall t : t \neq NT, \forall r \\ -\sigma_{tr}^{min} + \sigma_{tr}^{max} - v_{tr} = 0 & , \forall t : t = NT, \forall r \end{cases} \quad (5.107)$$

• Restrições de complementaridade linearizadas:

$$\begin{aligned} p_{tub}^G &\leq \mu_{tub}^{Gmin} M_{tub}^G, \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B \\ \pi_{tub}^{Gmin} &\leq (1 - \mu_{tub}^{Gmin}) M_{tub}^G, \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B \\ p_{tub}^G &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B \\ \pi_{tub}^{Gmin} &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B \end{aligned} \quad (5.108)$$

$$\begin{aligned} P_{tub}^{Gmax} - p_{tub}^G &\leq \mu_{tub}^{Gmax} M_{tub}^G, \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B \\ \pi_{tub}^{Gmax} &\leq (1 - \mu_{tub}^{Gmax}) M_{tub}^G, \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B \\ P_{tub}^{Gmax} - p_{tub}^G &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B \\ \pi_{tub}^{Gmax} &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in J \cup I, \forall b \in B \end{aligned} \quad (5.109)$$

$$\begin{aligned} p_{tkb}^C &\leq \mu_{tkb}^{Cmin} M_{tkb}^C, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \\ \pi_{tkb}^{Cmin} &\leq (1 - \mu_{tkb}^{Cmin}) M_{tkb}^C, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \\ p_{tkb}^C &\geq 0, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \\ \pi_{tkb}^{Cmin} &\geq 0, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \end{aligned} \quad (5.110)$$

$$\begin{aligned} P_{tkb}^{Cmax} - p_{tkb}^C &\leq \mu_{tkb}^{Cmax} M_{tkb}^C, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \\ \pi_{tkb}^{Cmax} &\leq (1 - \mu_{tkb}^{Cmax}) M_{tkb}^C, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \\ P_{tkb}^{Cmax} - p_{tkb}^C &\geq 0, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \\ \pi_{tkb}^{Cmax} &\geq 0, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall b \in B \end{aligned} \quad (5.111)$$

$$\begin{aligned} B_{nm} (\theta_{tn} - \theta_{tm}) + P_{nm}^{max} &\leq \mu_{tnm}^{Bmin} M_{tnm}^B, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \\ \alpha_{tnm}^{min} &\leq (1 - \mu_{tnm}^{Bmin}) M_{tnm}^B, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \\ B_{nm} (\theta_{tn} - \theta_{tm}) + P_{nm}^{max} &\geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \\ \alpha_{tnm}^{min} &\geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \end{aligned} \quad (5.112)$$

$$\begin{aligned} P_{nm}^{max} - B_{nm} (\theta_{tn} - \theta_{tm}) &\leq \mu_{tnm}^{Bmax} M_{tnm}^B, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \\ \alpha_{tnm}^{max} &\leq (1 - \mu_{tnm}^{Bmax}) M_{tnm}^B, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \\ P_{nm}^{max} - B_{nm} (\theta_{tn} - \theta_{tm}) &\geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \\ \alpha_{tnm}^{max} &\geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall m \in N_n \end{aligned} \quad (5.113)$$

$$\begin{aligned} \theta_{tn} + \pi &\leq \mu_{tn}^{\Pi min} M_{nm}^{\Pi}, \forall t \in T, \forall n \in N \\ \beta_{tn}^{min} &\leq (1 - \mu_{tn}^{\Pi min}) M_{nm}^{\Pi}, \forall t \in T, \forall n \in N \\ \theta_{tn} + \pi &\geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N \\ \beta_{tn}^{min} &\geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N \end{aligned} \quad (5.114)$$

$$\begin{aligned}
\pi - \theta_{tn} &\leq \mu_{tn}^{\Pi max} M_{nm}^{Pi}, \forall t \in T, \forall n \in N \\
\beta_{tn}^{max} &\leq (1 - \mu_{tn}^{\Pi max}) M_{nm}^{Pi}, \forall t \in T, \forall n \in N \\
\pi - \theta_{tn} &\geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N \\
\beta_{tn}^{max} &\geq 0, \forall t \in T, \forall n \in N
\end{aligned} \tag{5.115}$$

$$\begin{aligned}
R_u^{Gup} + \sum_{b \in B} p_{tub}^G - \sum_{b \in B} p_{(t+1)ub}^G &\leq \mu_{tu}^{Gup} M_{tu}^{Gup}, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{T} \\
\gamma_{tu}^{Gup} &\leq (1 - \mu_{tu}^{Gup}) M_{tu}^{Gup}, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{T} \\
R_u^{Gup} + \sum_{b \in B} p_{tub}^G - \sum_{b \in B} p_{(t+1)ub}^G &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{T} \\
\gamma_{tu}^{Gup} &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{T}
\end{aligned} \tag{5.116}$$

$$\begin{aligned}
R_u^{Gdw} + \sum_{b \in B} p_{(t+1)ub}^G - \sum_{b \in B} p_{tub}^G &\leq \mu_{tu}^{Gdw} M_{tu}^{Gdw}, \forall t \in T, t \neq 1, \forall u \in \mathcal{T} \\
\gamma_{tu}^{Gdw} &\leq (1 - \mu_{tu}^{Gdw}) M_{tu}^{Gdw}, \forall t \in T, t \neq 1, \forall u \in \mathcal{T} \\
R_u^{Gdw} + \sum_{b \in B} p_{(t+1)ub}^G - \sum_{b \in B} p_{tub}^G &\geq 0, \forall t \in T, t \neq 1, \forall u \in \mathcal{T} \\
\gamma_{tu}^{Gdw} &\geq 0, \forall t \in T, t \neq 1, \forall u \in \mathcal{T}
\end{aligned} \tag{5.117}$$

$$\begin{aligned}
\sum_{u \in \mathcal{U}_r} (q_{tu} + s_{tr}) - U_r^{min} &\leq \mu_{tr}^{Umin} M_{tr}^U, \forall t \in T, \forall r \in R \\
\delta_{tr}^{Umin} &\leq (1 - \mu_{tr}^{Umin}) M_{tr}^U, \forall t \in T, \forall r \in R \\
\sum_{u \in \mathcal{U}_r} (q_{tu} + s_{tr}) - U_r^{min} &\geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R \\
\delta_{tr}^{Umin} &\geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R
\end{aligned} \tag{5.118}$$

$$\begin{aligned}
U_r^{max} - \sum_{u \in \mathcal{U}_r} (q_{tu} + s_{tr}) &\leq \mu_{tr}^{Umax} M_{tr}^U, \forall t \in T, \forall r \in R \\
\delta_{tr}^{Umax} &\leq (1 - \mu_{tr}^{Umax}) M_{tr}^U, \forall t \in T, \forall r \in R \\
U_r^{max} - \sum_{u \in \mathcal{U}_r} (q_{tu} + s_{tr}) &\geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R \\
\delta_{tr}^{Umax} &\geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R
\end{aligned} \tag{5.119}$$

$$\begin{aligned}
q_{tu} - Q_u^{min} &\leq \mu_{tu}^{Qmin} M_{tu}^Q, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
\delta_{tu}^{Qmin} &\leq (1 - \mu_{tu}^{Qmin}) M_{tu}^Q, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
q_{tu} - Q_u^{min} &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
\delta_{tu}^{Qmin} &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H}
\end{aligned} \tag{5.120}$$

$$\begin{aligned}
Q_u^{Ef} - q_{tu} &\leq \mu_{tu}^{Qmax} M_{tu}^Q, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
\delta_{tu}^{Qmax} &\leq (1 - \mu_{tu}^{Qmax}) M_{tu}^Q, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
Q_u^{Ef} - q_{tu} &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
\delta_{tu}^{Qmax} &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H}
\end{aligned} \tag{5.121}$$

$$\begin{aligned}
x_{tr} - X_r^{min} &\leq \mu_{tr}^{Xmin} M_{tr}^X, \forall t \in T, \forall t \in T, \forall r \in R \\
\sigma_{tr}^{min} &\leq (1 - \mu_{tr}^{Xmin}) M_{tr}^X, \forall t \in T, \forall r \in R \\
x_{tr} - X_r^{min} &\geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R \\
\sigma_{tr}^{min} &\geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R
\end{aligned} \tag{5.122}$$

$$\begin{aligned}
X_r^{max} - x_{tr} &\leq \mu_{tr}^{Xmax} M_{tr}^X, \forall t \in T, \forall r \in R \\
\sigma_{tr}^{max} &\leq (1 - \mu_{tr}^{Xmax}) M_{tr}^X, \forall t \in T, \forall r \in R \\
X_r^{max} - x_{tr} &\geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R \\
\sigma_{tr}^{max} &\geq 0, \forall t \in T, \forall r \in R
\end{aligned} \tag{5.123}$$

$$\begin{aligned}
\sum_{b \in B} p_{tub}^G &\leq \mu_{tu}^{Hmin} M_{tu}^H, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
\alpha_{tu}^{Hmin} &\leq (1 - \mu_{tu}^{Hmin}) M_{tu}^H, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
\sum_{b \in B} p_{tub}^G &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
\alpha_{tu}^{Hmin} &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H}
\end{aligned} \tag{5.124}$$

$$\begin{aligned}
P_u^{Ej} - \sum_{b \in B} p_{tub}^G &\leq \mu_{tu}^{Hmax} M_{tu}^H, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
\alpha_{tu}^{Hmax} &\leq (1 - \mu_{tu}^{Hmax}) M_{tu}^H, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
P_u^{Ej} - \sum_{b \in B} p_{tub}^G &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H} \\
\alpha_{tu}^{Hmax} &\geq 0, \forall t \in T, \forall u \in \mathcal{H}.
\end{aligned} \tag{5.125}$$

O modelo matemático de COE linear de um único nível equivalente ao modelo bi-nível proposto, pode ser resolvido por *solvers* para otimização linear. Nesse trabalho é utilizado o *solver* CPLEX na plataforma CPLEX *Studio* da IBM. Os resultados obtidos com o modelo proposto são discutidos no Capítulo 6.

6 TESTES E RESULTADOS

Neste capítulo, o modelo de Cálculo de Ofertas Estratégicas proposto no Capítulo 4, é resolvido, para um sistema teste, por meio do modelo equivalente em um único nível apresentado na Seção 5.3. O objetivo dos modelos de COE consiste na determinação de ofertas no leilão do dia seguinte, envolvendo quantidades ofertadas e preços ofertados pelas unidades da companhia *price-maker*, que maximize seus lucros, sujeito às restrições operativas do sistema consideradas. Assim, o resultado mais importante do COE é o cálculo de tais ofertas.

Na Seção 6.1, é descrito, o sistema teste utilizado, em seguida, serão apresentados dois estudos de caso. No primeiro, descrito na Seção 6.2, o objetivo central consiste em comparar os lucros obtidos por uma companhia *price-maker* que atua no mercado do dia seguinte, calculados, respectivamente, pela abordagem que utiliza o modelo de COE proposto e uma abordagem não estratégica (que utiliza ofertas que não são obtidas por modelos de otimização). No segundo estudo, descrito na Seção 6.3, busca-se avaliar o comportamento das principais variáveis do modelo, identificando comportamentos de mercado e da companhia *price-maker* neste mercado. Cada estudo de caso envolve ainda duas situações de operação da transmissão: a primeira situação envolve uma operação folgada na transmissão, ou seja, a rede não está congestionada; na segunda situação são simulados de forma artificial pontos específicos de congestionamento na transmissão.

6.1 Sistema Teste Utilizado

O sistema teste utilizado é composto por 32 unidades geradoras, das quais, as unidades dê 11 a 14 e unidade 31, pertencem à companhia *price-maker* estudada. O sistema possui ainda 17 consumidores, dos quais todos estão interconectados em um sistema de transmissão que contém 24 barras. O problema é discretizado em base horária, tendo, portanto, 24 períodos. Considera-se que tanto os geradores como os consumidores fornecem 4 blocos de ofertas/lances no mercado do dia seguinte. A estrutura de preço/quantidade de cada bloco não é mostrada aqui, em função do grande volume de informações envolvidas, porém estas informações estão detalhadas no Apêndice B. O modelo equivalente proposto neste trabalho, apresentado na Seção 5.3, foi resolvido para o sistema teste utilizando-se o *solver* CPLEX na plataforma CPLEX-*Studio* da IBM em sua versão 12.9.0.0.

6.2 Análise Comparativa entre o COE e uma Abordagem Não Estratégica no PEM

Esta seção tem o intuito de comparar os lucros de uma companhia *price-maker* calculados pelo modelo de COE proposto com aqueles calculados por uma abordagem não estratégica. Em uma abordagem não estratégica, as ofertas (quantidade/preço) são obtidas de forma não ótima através de informações fornecidas em um banco de dados (e.g. pode-se utilizar as ofertas fornecidas pela companhia ao mercado no dia anterior). Para os valores de ofertas da abordagem não estratégica avaliada nesta seção, foram consideradas as ofertas detalhadas na Tabela B.5 dada no Apêndice B para as unidades dê 1 a 14 e unidade 31, da companhia *price-maker*.

Os estudos feitos em um sistema puramente termoeletrico, desconsideram as restrições hidroelétricas presentes em 5.3, bem como seus respectivos gradientes, complementaridades, e termos associados a função objetivo. Assim sendo, as unidades hidroelétricas representadas nesse modelo são restritas apenas pelas restrições puramente econômicas e de transmissão. Portanto, as restrições primais utilizadas nos testes para sistemas puramente termoeletricos, descritos nos casos 1 e 2, foram as restrições (5.84) até (5.91). Já no caso 3, foi utilizado na comparação, o modelo completo descrito na Seção 5.3.

6.2.1 Caso 1 - Transmissão Não Congestionada para Sistema Termoeletrico

Neste caso, avalia-se uma situação típica em que o sistema de transmissão não possui nenhuma linha congestionada. A Tabela 6.1 mostra os resultados para esta situação típica em que se destacam os despachos de geração de cada unidade e os lucros obtidos, respectivamente, para o modelo de COE e para a abordagem não estratégica no PEM.

Tabela 6.1 – Produção e lucro obtidos pelo modelo COE e abordagem não estratégica - situação com transmissão não congestionada.

Unidades	COE		Não Estratégicas	
	Produção [MW]	Lucro [\$]	Produção [MW]	Lucro [\$]
1	1524,00	135922,00	1524,00	1425,09
2	1524,00	135922,00	1524,00	1425,09
3	875,70	74029,68	1147,20	1108,37
4	806,90	68389,36	1166,40	1126,92
5	3000,00	267563,00	3000,00	2992,05
6	3000,00	267563,00	3000,00	2992,05
7	2858,32	256773,25	3000,00	2992,05
8	7152,00	637870,19	7152,00	5944,74
9	4080,00	363885,68	4080,00	3857,23
10	4068,89	363064,28	4080,00	3857,23
11	3910,00	351319,28	4080,00	3857,23
12	3264,00	291108,54	3264,00	3188,11
13	3141,62	279686,83	3264,00	3188,11
14	2681,98	233459,83	3264,00	3188,11
31	1840,00	165425,28	1884,27	2346,98
Total	43727,41	3891982,22	45429,87	43489,37

Pela análise da Tabela 6.1, verifica-se que o lucro total obtido pela companhia *price-maker* quando esta utiliza o modelo de COE proposto é substancialmente maior que o lucro obtido quando esta companhia fornece ofertas não estratégicas no leilão. Verifica-se ainda que este aumento considerável no lucro ocorre mesmo a companhia gerando uma produção total menor no leilão, se comparada ao caso não estratégico. Esta tabela exemplifica bem a importância de algoritmos de COE para uma companhia *price-maker*.

6.2.2 Caso 2 - Transmissão Congestionada para Sistema Termoeletrico

Nesse caso, avalia-se uma situação típica em que o sistema de transmissão possui uma linha congestionada (linha 15–21). Para isso, o limite máximo da linha de transmissão 15–21 foi reduzido de $1000MW$ (limite na transmissão relaxada) para $100MW$, de modo a simular um congestionamento de forma artificial. A Tabela 6.2 mostra os resultados para esta situação típica em que se destacam os despachos de geração de cada unidade e os lucros obtidos, respectivamente, para o modelo de COE e para a abordagem não estratégica no leilão.

Tabela 6.2 – Produção e lucro obtidos pelo modelo COE e abordagem não estratégica - situação com transmissão congestionada

Unidades	COE		Não Estratégicas	
	Produção [MW]	Lucro [\$]	Produção [MW]	Lucro [\$]
1	1524,00	142402,53	1524,00	1425,09
2	1524,00	142402,53	1524,00	1425,09
3	727,18	62791,44	1147,20	1108,37
4	652,89	54893,93	1166,40	1126,92
5	3000,00	280121,66	3000,00	2992,05
6	2943,96	274033,00	3000,00	2992,05
7	2251,99	201250,03	3000,00	2992,05
8	7152,00	662368,99	7152,00	5944,74
9	4080,00	378013,72	4080,00	3857,23
10	4080,00	378013,72	4080,00	3857,23
11	4080,00	378013,72	4080,00	3857,23
12	3264,00	301739,43	2515,80	2423,57
13	2431,87	237442,40	2428,85	2339,37
14	664,61	68628,27	2486,08	2394,65
31	1920,00	179400,59	1920,00	2393,86
Total	40296,50	3741515,97	43104,33	41129,51

Ao analisar a Tabela 6.2, verifica-se que as mesmas conclusões obtidas na Tabela 6.1 para o Caso 1 são também verificadas para o caso com congestionamento na transmissão.

6.2.3 Caso 3 - Sistema Hidrotérmico

Neste caso, comparam-se os lucros de uma companhia *price-maker* calculados pelo modelo de COE proposto com aqueles calculados por uma abordagem não estratégica, assim como feito no caso 1, entretanto, nesse presente caso, é utilizado todo o modelo matemático equivalente de um único nível linear presente na Seção 5.3 ao modelo bi-nível proposto no Capítulo 4.

A Tabela 6.3 mostra as gerações e lucros obtidos pelas unidades geradoras calculados, respectivamente, para o modelo de COE e para a abordagem não estratégica no PEM.

Tabela 6.3 – Produção e lucro das unidades geradoras obtidos pelo modelo COE e abordagem não estratégica.

Unidades	COE		Não Estratégicas	
	Produção [MW]	Lucro [\$]	Produção [MW]	Lucro [\$]
1	1444,18	144706,64	1524	1425,09
2	1444,18	144706,64	1524	1425,09
3	1092,07	109424,94	1147,2	1108,37
4	1061,73	105729,83	1166,4	1126,92
5	2724,25	271557,73	3000	2992,05
6	2833,63	283753,15	3000	2992,05
7	2842,69	284836,90	3000	2992,05
8	6776,12	679496,26	7152	5944,74
9	3875,96	388370,11	4080	3857,23
10	3875,96	388370,11	4080	3857,23
11	3875,96	388370,11	4080	3857,23
12	3105,20	311140,14	3264	3188,11
13	3105,20	311140,14	3264	3188,11
14	3105,20	311140,14	3264	3188,11
31	1398,54	145018,50	1884,27	2346,98
Total	42560,90	4267761,33	45429,87	43489,37

Pela análise da Tabela 6.3, verifica-se que o lucro total obtido pela companhia *price-maker* quando esta utiliza o modelo de COE proposto para o cálculo de suas ofertas é substancialmente maior que o lucro obtido quando esta companhia fornece ofertas não estratégicas no leilão. Verifica-se ainda que este aumento considerável no lucro ocorre mesmo a companhia gerando uma produção total menor no leilão, se comparada ao caso não estratégico. Esta tabela exemplifica bem a importância de algoritmos de COE para uma companhia *price-maker*.

6.3 Análise do Desempenho Econômico do COE

Nesta seção, os resultados calculados para as principais variáveis do modelo de COE são descritos com o objetivo de avaliar a coerência dos principais índices econômicos obtidos. São analisados três casos. No primeiro caso, descrita na Subseção 6.3.1, essa análise de desempenho é feita para um sistema puramente termoeletrico que não possui um congestionamento artificial em sua transmissão. No segundo caso, descrito na Subseção 6.3.2, é feita uma análise semelhante a feita no caso anterior, entretanto, seu sistema de transmissão foi artificialmente congestionado. No terceiro caso, descrito na Subseção 6.3.3, toda a análise de desempenho do COE é feita considerando também as restrições pertinentes ao sistema hidroelétrico.

Inicialmente, mostra-se o perfil horário dos preços de equilíbrio de mercado em cada barra do sistema de transmissão, os quais são calculados pelo modelo de leilão (representado no modelo de COE). Em seguida, são detalhadas as ofertas obtidas pelo COE para as quantidades e preços que devem ser ofertados pela companhia *price-maker* no mercado do dia seguinte. Estas ofertas são mostrados para cada bloco, para cada unidade em cada período de tempo. Esses resultados correspondem às principais decisões calculadas pelo COE, as quais serão efetivamente submetidas ao leilão do dia seguinte pela companhia *price-maker*. Mais adiante são detalhados os despachos totais de geração de potência ativa para a companhia *price-maker*, demais companhias, e as demandas totais em cada período. A análise destes despachos tem como objetivo comparar os montantes de geração produzidos pela companhia *price-maker* e pelas demais companhias em cada período e verificar a parcela da demanda que cada companhia assume. Posteriormente, são mostrados os preços médios ofertados pela companhia *price-maker* e demais companhias e os preços médios submetidos pelos consumidores, bem como os preços de equilíbrio de mercado em cada período. O objetivo, neste caso, consiste em comparar tais preços médios aos preços de equilíbrio de mercado. Finalmente, para todos os três casos avaliados nessa seção, mostra-se o percentual efetivamente utilizado pela companhia *price-maker* de sua capacidade total de geração em cada período. O objetivo destes resultados consiste em mostrar que esta companhia nem sempre precisa gerar toda a sua capacidade em todos os períodos para maximizar seu lucro.

Exclusivamente no terceiro caso, ainda é avaliado o impacto das restrições relacionadas ao sistema hidráulico, comparando-se as soluções obtidas nesta seção (em que as restrições hidráulicas são consideradas) com aquelas obtidas nos casos anteriores (em que as restrições hidráulicas são desprezadas).

6.3.1 Caso 1 - Transmissão Não Congestionada para Sistema Termoelétrico

A seguir é feita uma análise do comportamento do COE e os resultados relevantes. A Tabela 6.4 mostra os despachos de geração obtidos com as potências geradas pela companhia *price-maker* e pelas demais companhias, com os dados totais integralizados (envolvendo todas as unidades) por cada companhia, bem como as potências consumidas que foram alocadas a cada consumidor. Verifica-se que o balanço de potência é satisfeito para cada período. Observa-se que em alguns períodos as outras companhias não geram energia no mercado, especialmente nos períodos de carga leve, em que a companhia *price-maker* é capaz de suprir toda a demanda. As informações relacionadas às potências geradas e consumidas aceitas no leilão, são também mostradas na Figura 6.1, em que é possível visualizar o perfil diário destas variáveis.

Tabela 6.4 – Despachos totais de geração de potência ativa para cada companhia, e as demandas totais em cada período.

Tempo	Potência gerada companhia <i>price-maker</i>	Potência gerada demais companhias	Potência consumida
1	1885,86	0,00	1885,86
2	1829,44	0,00	1829,44
3	1742,30	0,00	1742,30
4	1713,28	0,00	1713,28
5	1713,28	0,00	1713,28
6	1891,16	0,00	1891,16
7	1894,40	459,23	2353,63
8	1894,40	840,92	2735,32
9	1894,40	1127,12	3021,52
10	1623,36	1430,00	3053,36
11	1894,40	1158,96	3053,36
12	1894,40	1127,12	3021,52
13	1894,40	1127,12	3021,52
14	1894,40	1127,12	3021,52
15	1894,40	1063,54	2957,94
16	1894,40	1063,54	2957,94
17	1718,75	1430,00	3148,75
18	1750,61	1430,00	3180,61
19	1750,61	1430,00	3180,61
20	1623,36	1430,00	3053,36
21	1879,40	1014,95	2894,35
22	1890,10	749,90	2640,00
23	1836,80	317,20	2154,00
24	1829,44	0,00	1829,44

As informações relacionadas às potências geradas e consumidas aceitas no leilão, são também mostradas na Figura 6.1, em que é possível visualizar o perfil diário destas variáveis.

A Tabela 6.5 mostra os preços médios ofertados pela companhia *price-maker*, os preços médios ofertados pelas demais companhias, os preços médios ofertados pelos consumidores e o preço de equilíbrio de mercado. Percebe-se que os preços médios associados à companhia geradora *price-maker* são exatamente iguais aos preços de equilíbrio de mercado. Isso ocorre, porque com a maximização dos lucros da companhia, a melhor estratégia de ofertas da companhia *price-maker* é fornecer a energia a um preço exatamente igual ao preço de equilíbrio de mercado. Assim, de fato, percebe-se que a companhia *price-maker* dita os preços de mercado, conforme esperado. Do ponto de vista das demais companhias, nota-se que os valores de preços médios em alguns períodos são superiores aos preços de equilíbrio. Nestes períodos, especialmente em carga leve, estas companhias não

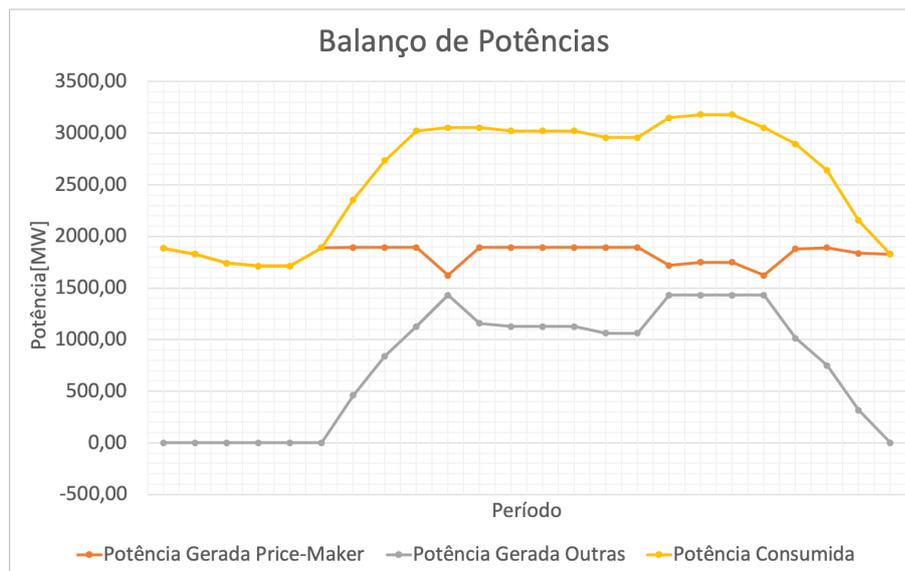


Figura 6.1 – Balanço de potência ativa, perfil de geração das companhias e demanda.

forneem energia no leilão, conforme mostrado na Tabela 6.4, anterior. Do ponto de vista do consumidor, é possível observar que os preços médios estão sempre acima dos valores de preços de equilíbrio em cada período. Com esta estratégia de lances, os consumidores recebem a demanda total solicitada para este caso investigado.

As informações relacionadas aos preços médios ofertados pela companhia *price-maker*, demais companhias e consumidores no leilão, bem como os preços de equilíbrio são mostrados na Figura 6.2, em que é possível visualizar o perfil diário destes preços. É importante destacar que o perfil de preços de equilíbrio sobrepõem os preços médios ofertados pela companhia *price-maker*, razão pela qual estes últimos não aparecem na Figura.

A Tabela 6.6 mostra a geração ofertada pela companhia *price-maker* e sua respectiva capacidade de geração, em cada período. Desta tabela, verifica-se que o modelo de COE proposto neste trabalho decide que nem sempre é melhor ofertar ao leilão do dia seguinte toda a sua capacidade de geração. De fato, em algumas situações, pode ser que para uma maior oferta da companhia *price-maker* no leilão, ocorra uma redução de preços, em função de um maior volume de geração no mercado, ocasionando uma redução de lucros da companhia. Como o lucro é dado pelo produto entre as gerações ofertadas em cada período e os respectivos preços de equilíbrio de mercado, o modelo precisa ponderar entre preços de equilíbrio e ofertas de modo a maximizar o lucro da companhia. Para companhias que não são do tipo *price-maker*, essa ponderação não é necessária, uma vez que tais companhias não conseguem alterar os preços de equilíbrio com suas ofertas no mercado. Para essas companhias, quanto maior a produção no mercado, maiores serão também seus lucros.

Tabela 6.5 – Preços ofertados médios por cada companhia e pelos consumidores e preços de equilíbrio de mercado em cada período.

Tempo	Preço médio companhia <i>price-maker</i>	Preço médio das demais companhias	Preço médio consumidores	Preço de Equilíbrio Médio
1	79,84	91,85	94,52	79,84
2	73,92	91,85	89,93	73,92
3	72,69	91,85	88,23	72,69
4	72,69	91,85	88,12	72,69
5	73,92	91,85	89,51	73,92
6	82,00	91,85	109,05	82,00
7	85,00	91,85	127,18	85,00
8	88,40	91,85	140,94	88,40
9	90,20	91,85	143,28	90,20
10	105,38	91,85	143,39	105,38
11	90,20	91,85	142,00	90,20
12	90,20	91,85	141,89	90,20
13	90,20	91,85	141,89	90,20
14	90,20	91,85	139,12	90,20
15	90,00	91,85	138,91	90,00
16	90,00	91,85	147,23	90,00
17	109,76	91,85	149,36	109,76
18	109,76	91,85	149,36	109,76
19	109,76	91,85	149,36	109,76
20	105,38	91,85	143,39	105,38
21	90,00	91,85	135,92	90,00
22	88,40	91,85	123,97	88,40
23	85,00	91,85	109,03	85,00
24	77,62	91,85	94,10	77,62

Os valores completos dos preços de equilíbrio de mercado para cada período de tempo e em cada barra do sistema de transmissão são mostrados nas tabelas 6.7 e 6.8. Nota-se que para o Caso 1, em que não existem congestionamentos na transmissão e as perdas são desprezadas, os preços de equilíbrio são idênticos em todas as barras do sistema para um determinado período de tempo t .

6.3.2 Caso 2 - Transmissão Congestionada para Sistema Termoelétrico

A seguir, é feita uma análise do comportamento do COE de forma análoga àquela realizada para o Caso 1. Neste caso, os limites de transmissão são alterados de forma artificial de modo a simular um congestionamento na linha entre as barras 15 e 21.

A Tabela 6.9 mostra os despachos de geração obtidos com as potências geradas pela companhia *price-maker* e pelas demais companhias, com os dados totais integralizados (envolvendo todas as unidades) por cada companhia, bem como as potências consumidas que foram alocadas a cada consumidor. Verifica-se que o balanço de potência é satisfeito para cada período. Observa-se que em alguns períodos as outras companhias não geram energia no mercado, especialmente nos períodos de carga leve, em que a companhia *price-maker* pode suprir toda a demanda. Resultados similares foram verificados no Caso 1.

Tabela 6.9 – Despachos de geração de potência ativa em cada período.

Tempo	Potência gerada companhia <i>price-maker</i>	Potência gerada demais companhias	Potência consumida
1	1652,02	113,01	1765,03
2	1640,40	0,00	1640,40
3	1634,94	0,00	1634,94
4	1632,93	0,00	1632,93
5	1632,93	0,00	1632,93
6	1701,98	171,72	1873,70
7	1728,51	625,12	2353,63
8	1785,18	950,14	2735,33
9	1591,53	1430,00	3021,53
10	1623,36	1430,00	3053,36
11	1623,36	1430,00	3053,36
12	1591,53	1430,00	3021,53
13	1591,53	1430,00	3021,53
14	1802,69	1218,84	3021,53
15	1764,04	1193,90	2957,94
16	1527,94	1430,00	2957,94
17	1718,75	1430,00	3148,75
18	1750,61	1430,00	3180,61
19	1750,61	1430,00	3180,61
20	1623,36	1430,00	3053,36
21	1790,01	1104,35	2894,35
22	1772,99	867,01	2640,00
23	1718,54	476,21	2194,75
24	1646,74	12,89	1659,64

As informações relacionadas às potências geradas e consumidas aceitas no leilão, são também mostradas na Figura 6.3, em que é possível visualizar o perfil diário destas

variáveis.

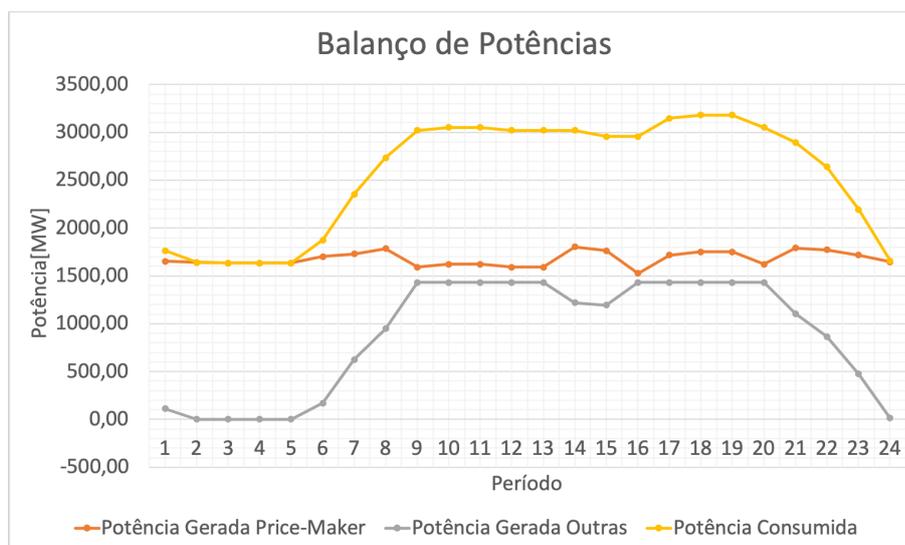


Figura 6.3 – Balanço de potência ativa, perfil de geração das companhias e demanda.

A Tabela 6.10 mostra os preços médios ofertados pela companhia *price-maker*, os preços médios ofertados pelas demais companhias, os preços médios ofertados pelos consumidores e o preço de equilíbrio de mercado. Percebe-se que os preços médios associados à companhia geradora são praticamente iguais aos preços de equilíbrio de mercado. Como no caso anterior, isso ocorre, porque com a maximização dos lucros da companhia, a melhor estratégia de ofertas da companhia *price-maker* é fornecer a energia a um preço exatamente igual ao preço de equilíbrio de mercado. Assim, de fato, percebe-se que a companhia *price-maker* dita os preços de mercado, conforme esperado. Do ponto de vista das demais companhias, nota-se que os valores de preços médios em alguns períodos são superiores aos preços de equilíbrio. Neste período, especialmente em carga leve, estas companhias não fornecem energia no leilão, conforme mostrado na Tabela 6.9, anterior. Do ponto de vista do consumidor, é possível observar que os preços médios estão sempre acima dos valores de preços de equilíbrio em cada período. Com esta estratégia de lances, os consumidores recebem a demanda total solicitada para este caso investigado, de forma similar ao que ocorreu no caso anterior.

Tabela 6.10 – Preços ofertados médios por cada companhia e pelos consumidores e preços de equilíbrio de mercado em cada período.

Tempo	Preço médio companhia <i>price-maker</i>	Preço médio das demais companhias	Preço médio consumidores	Preço de Equilíbrio Médio
1	81,36	91,85	94,52	81,83
2	78,55	91,85	89,93	79,70
3	75,71	91,85	88,23	75,83
4	75,52	91,85	88,12	75,52
5	76,80	91,85	89,51	76,80
6	77,74	91,85	109,05	80,85
7	85,28	91,85	127,18	85,28
8	88,56	91,85	140,94	88,56
9	105,38	91,85	143,28	105,38
10	105,38	91,85	143,39	105,38
11	104,27	91,85	142,00	104,27
12	104,27	91,85	141,89	104,27
13	104,27	91,85	141,89	104,27
14	91,80	91,85	139,12	91,80
15	91,80	91,85	138,91	91,80
16	108,66	91,85	147,23	108,66
17	109,76	91,85	149,36	109,76
18	109,76	91,85	149,36	109,76
19	109,76	91,85	149,36	109,76
20	105,38	91,85	143,39	105,38
21	90,20	91,85	135,92	90,20
22	88,40	91,85	123,97	88,40
23	83,04	91,85	109,03	83,88
24	81,36	91,85	94,10	81,83

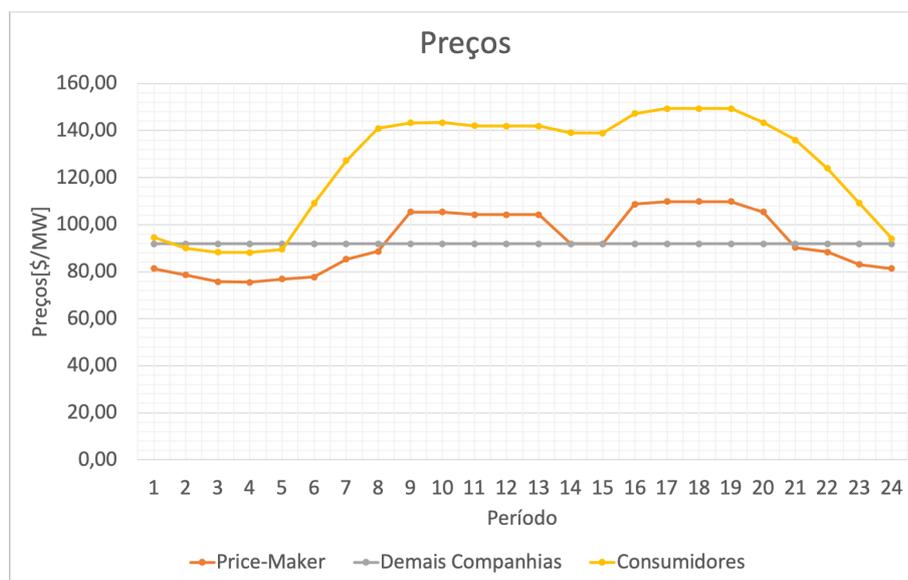


Figura 6.4 – Perfil diários dos preços médios de ofertas das companhias, de lances dos consumidores e preço de equilíbrio de mercado.

A Tabela 6.11 mostra a geração ofertada pela companhia *price-maker* e sua respectiva capacidade de geração, em cada período. Desta tabela, verifica-se que o modelo de COE proposto neste trabalho decide que nem sempre é melhor ofertar ao leilão do dia seguinte toda a sua capacidade de geração. De fato, em algumas situações, pode ser que para uma maior oferta da companhia *price-maker* no leilão, ocorra uma redução de preços, em função de um maior volume de geração no mercado, ocasionando uma redução de lucros da companhia. Como o lucro é dado pelo produto entre as gerações ofertadas em cada período e os respectivos preços de equilíbrio de mercado, o modelo precisa ponderar entre preços de equilíbrio e ofertas de modo a maximizar o lucro da companhia. Para companhias que não são do tipo *price-maker*, essa ponderação não é necessária, uma vez que tais companhias não conseguem alterar os preços de equilíbrio com suas ofertas no mercado. Para essas companhias, quanto maior a produção no mercado, maiores serão também seus lucros.

Tabela 6.11 – Geração ofertada pela companhia *price-maker* e sua respectiva capacidade de geração, em cada período.

Tempo	Geração ofertada pela companhia <i>price-maker</i>	Capacidade de geração da companhia <i>price-maker</i>
1	1652,02	1894,40
2	1640,40	1894,40
3	1634,94	1894,40
4	1632,93	1894,40
5	1632,93	1894,40
6	1701,98	1894,40
7	1728,51	1894,40
8	1785,18	1894,40
9	1591,53	1894,40
10	1623,36	1894,40
11	1623,36	1894,40
12	1591,53	1894,40
13	1591,53	1894,40
14	1802,69	1894,40
15	1764,04	1894,40
16	1527,94	1894,40
17	1718,75	1894,40
18	1750,61	1894,40
19	1750,61	1894,40
20	1623,36	1894,40
21	1790,01	1894,40
22	1772,99	1894,40
23	1718,54	1894,40
24	1646,74	1894,40

Os valores completos dos preços de equilíbrio de mercado para período de tempo e em cada barra do sistema de transmissão são mostrados nas tabelas 6.12 e 6.13. Nota-se que para o Caso 2, em que existem congestionamentos na transmissão, os preços de equilíbrio não são idênticos em todas as barras do sistema para um determinado período de tempo t .

Tabela 6.12 – Perfil diários dos preços de equilíbrio de mercado das 12 primeiras barras.

Tempo	Barra											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	82,09	82,08	82,21	82,07	82,06	82,04	82,05	82,05	82,06	82,03	82,01	82,01
2	80,33	80,32	80,64	80,29	80,27	80,23	80,23	80,23	80,27	80,20	80,13	80,15
3	75,90	75,90	75,94	75,90	75,90	75,89	75,89	75,89	75,90	75,89	75,88	75,88
4	75,52	75,52	75,52	75,52	75,52	75,52	75,52	75,52	75,52	75,52	75,52	75,52
5	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80
6	82,57	82,54	83,41	82,46	82,40	82,29	82,31	82,31	82,40	82,22	82,04	82,09
7	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28
8	88,56	88,56	88,56	88,56	88,56	88,56	88,56	88,56	88,56	88,56	88,56	88,56
9	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38
10	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38
11	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27
12	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27
13	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27
14	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80
15	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80
16	108,66	108,66	108,66	108,66	108,66	108,66	108,66	108,66	108,66	108,66	108,66	108,66
17	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76
18	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76
19	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76
20	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38
21	90,20	90,20	90,20	90,20	90,20	90,20	90,20	90,20	90,20	90,20	90,20	90,20
22	88,40	88,40	88,40	88,40	88,40	88,40	88,40	88,40	88,40	88,40	88,40	88,40
23	84,34	84,34	84,57	84,31	84,30	84,27	84,27	84,27	84,30	84,25	84,20	84,21
24	82,09	82,08	82,21	82,07	82,06	82,04	82,05	82,05	82,06	82,03	82,01	82,01

Tabela 6.13 – Perfil diários dos preços de equilíbrio de mercado das 12 últimas barras.

Tempo	Barra											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	82,00	81,97	82,45	81,92	81,05	80,64	81,94	81,96	80,26	80,57	81,97	82,36
2	80,12	80,04	81,23	79,92	77,80	76,80	79,97	80,01	75,88	76,63	80,04	81,00
3	75,88	75,87	76,00	75,86	75,63	75,52	75,86	75,87	75,42	75,50	75,87	75,98
4	75,52	75,52	75,52	75,52	75,52	75,52	75,52	75,52	75,52	75,52	75,52	75,52
5	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80
6	82,00	81,79	85,00	81,45	75,71	73,01	81,58	81,70	70,52	72,56	81,77	84,38
7	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28
8	88,56	88,56	88,56	88,56	88,56	88,56	88,56	88,56	88,56	88,56	88,56	88,56
9	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38
10	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38
11	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27
12	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27
13	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27
14	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80
15	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80	91,80
16	108,66	108,66	108,66	108,66	108,66	108,66	108,66	108,66	108,66	108,66	108,66	108,66
17	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76
18	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76
19	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76	109,76
20	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38	105,38
21	90,20	90,20	90,20	90,20	90,20	90,20	90,20	90,20	90,20	90,20	90,20	90,20
22	88,40	88,40	88,40	88,40	88,40	88,40	88,40	88,40	88,40	88,40	88,40	88,40
23	84,19	84,13	85,00	84,04	82,49	81,76	84,08	84,11	81,09	81,64	84,13	84,83
24	82,00	81,97	82,45	81,92	81,05	80,64	81,94	81,96	80,26	80,57	81,97	82,36

6.3.3 Caso 3 - Sistema Hidrotérmico

A seguir, é feita uma análise do comportamento do COE de forma análoga àquela realizada para o Caso 1 e o Caso 2. Entretanto, neste caso, é considerado todo o modelo descrito em 5.3.

A Tabela 6.14 mostra os despachos de geração obtidos com as potências geradas pela companhia *price-maker* e pelas demais companhias, com os dados totais integralizados (envolvendo todas as unidades) por cada companhia, bem como as potências consumidas que foram alocadas a cada consumidor. Verifica-se que o balanço de potência é satisfeito para cada período. Observa-se que em alguns períodos as outras companhias não geram energia no mercado, especialmente nos períodos de carga leve, em que a companhia *price-maker* pode suprir toda a demanda.

Tabela 6.14 – Despachos totais de geração de potência ativa para cada companhia, e as demandas totais em cada período.

Tempo	Potência gerada companhia <i>price-maker</i>	Potência gerada demais companhias	Potência consumida
1	1793,16	0,00	1793,16
2	1773,24	0,00	1773,24
3	1742,30	0,00	1742,30
4	1713,29	0,00	1713,29
5	1713,29	0,00	1713,29
6	1803,16	88,01	1891,16
7	1803,16	550,48	2353,63
8	1763,98	971,35	2735,33
9	1775,42	983,25	2758,67
10	1803,16	984,56	2787,72
11	1803,16	984,56	2787,72
12	1775,42	983,25	2758,67
13	1775,42	983,25	2758,67
14	1780,52	978,15	2758,67
15	1722,48	978,15	2700,62
16	1794,35	978,15	2772,49
17	1803,16	1107,25	2910,40
18	1794,10	1109,80	2903,89
19	1794,10	1109,80	2903,89
20	1803,16	984,56	2787,72
21	1664,41	978,15	2642,56
22	1790,09	849,91	2640,00
23	1803,16	350,84	2154,00
24	1773,24	0,00	1773,24

As informações relacionadas às potências geradas e consumidas aceitas no leilão,

são também mostradas na Figura 6.5, em que é possível visualizar o perfil diário destas variáveis.

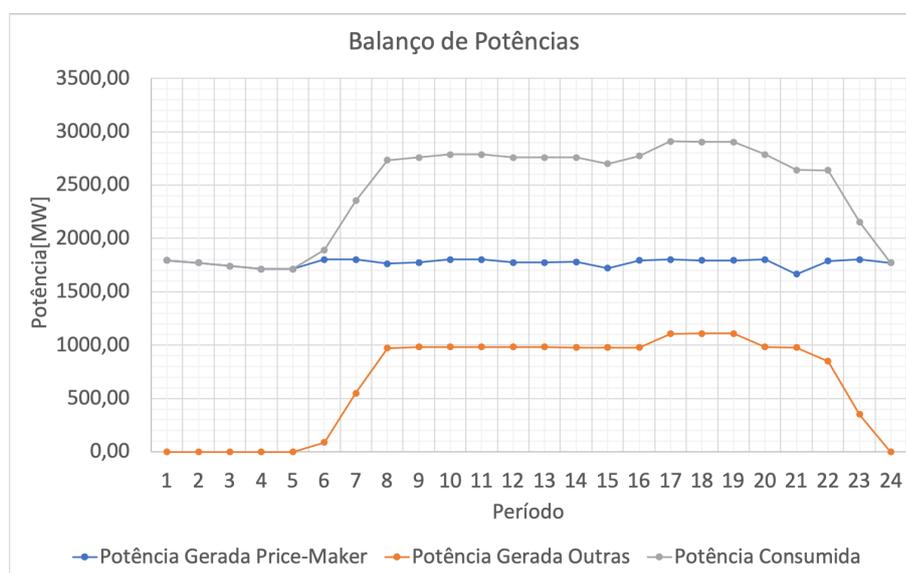


Figura 6.5 – Balanço de potência ativa, perfil de geração das companhias e demanda.

A Tabela 6.15 mostra os despachos de geração total das unidades hidrelétricas e termoelétricas de cada companhia. Verifica-se que tanto a companhia *price-maker* quanto as demais companhias privilegiam o despacho das unidades hidrelétricas, conforme esperado.

Tabela 6.15 – Potências despachadas por período de tempo.

Período	Companhia <i>Price-maker</i>		Demais Companhias	
	Hidráulica [MW]	Térmica [MW]	Hidráulica [MW]	Térmica [MW]
1	1723,16	70,00	0,00	0,00
2	1723,16	50,08	0,00	0,00
3	1723,16	19,15	0,00	0,00
4	1713,29	0,00	0,00	0,00
5	1713,29	0,00	0,00	0,00
6	1723,16	80,00	88,01	0,00
7	1723,16	80,00	550,48	0,00
8	1723,16	40,82	971,35	0,00
9	1723,16	52,26	983,25	0,00
10	1723,16	80,00	983,25	1,32
11	1723,16	80,00	983,25	1,32
12	1723,16	52,26	983,25	0,00
13	1723,16	52,26	983,25	0,00
14	1723,16	57,36	978,15	0,00
15	1676,99	45,48	978,15	0,00
16	1723,16	71,19	978,15	0,00
17	1723,16	80,00	983,25	124,00
18	1714,10	80,00	985,80	124,00
19	1723,16	70,94	985,80	124,00
20	1723,16	80,00	983,25	1,32
21	1604,71	59,70	978,15	0,00
22	1723,16	66,94	849,91	0,00
23	1723,16	80,00	350,84	0,00
24	1723,16	50,08	0,00	0,00
Total	41162,36	1398,54	15577,49	375,95

A Tabela 6.16 mostra os preços médios ofertados pela companhia *price-maker* (somente para as unidades que foram despachadas), os preços médios ofertados pelas demais companhias, os preços médios ofertados pelos consumidores e o preço de equilíbrio de mercado. Percebe-se que os preços médios associados à companhia geradora *price-maker* são exatamente iguais aos preços de equilíbrio de mercado. Isso ocorre, porque com a maximização dos lucros da companhia, a melhor estratégia de ofertas da companhia *price-maker* é fornecer a energia a um preço exatamente igual ao preço de equilíbrio de mercado. Assim, de fato, percebe-se que a companhia *price-maker* influencia os preços de equilíbrio de mercado a seu favor, conforme esperado. Do ponto de vista das demais companhias, nota-se que os valores de preços médios em alguns períodos são superiores aos preços de equilíbrio. Nestes períodos, especialmente em carga leve, estas companhias não fornecem energia no leilão, conforme mostrado na Tabela 6.14, anterior. Do ponto de vista do consumidor, é possível observar que os preços médios estão sempre acima dos valores de preços de equilíbrio em cada período. Com esta estratégia de lances, os consumidores

recebem a demanda total solicitada para este caso investigado.

Tabela 6.16 – Preços ofertados médios por cada companhia e pelos consumidores e preços de equilíbrio de mercado em cada período.

Tempo	Preço médio companhia <i>price-maker</i>	Preço médio das demais companhias	Preço médio consumidores	Preço de Equilíbrio Médio
1	81,15	91,85	94,52	81,15
2	76,03	91,85	89,93	76,03
3	72,69	91,85	88,23	72,69
4	72,69	91,85	88,12	72,69
5	73,92	91,85	89,51	73,92
6	82,00	91,85	109,05	82,00
7	85,28	91,85	127,18	85,28
8	104,27	91,85	140,94	104,27
9	115,00	91,85	143,28	115,00
10	115,00	91,85	143,39	115,00
11	115,00	91,85	142,00	115,00
12	115,00	91,85	141,89	115,00
13	115,00	91,85	141,89	115,00
14	114,40	91,85	139,12	114,40
15	114,40	91,85	138,91	114,40
16	113,10	91,85	147,23	113,10
17	117,60	91,85	149,36	117,60
18	119,60	91,85	149,36	119,60
19	119,60	91,85	149,36	119,60
20	115,00	91,85	143,39	115,00
21	112,11	91,85	135,92	112,11
22	91,10	91,85	123,97	91,10
23	85,00	91,85	109,03	85,00
24	79,84	91,85	94,10	79,84

As informações relacionadas aos preços médios ofertados pela companhia *price-maker*, demais companhias e consumidores no leilão, bem como os preços de equilíbrio são mostrados na Figura 6.6, em que é possível visualizar o perfil diário destes preços. É importante destacar que o perfil de preços de equilíbrio sobrepõem os preços médios ofertados pela companhia *price-maker*, razão pela qual estes últimos não aparecem na Figura.

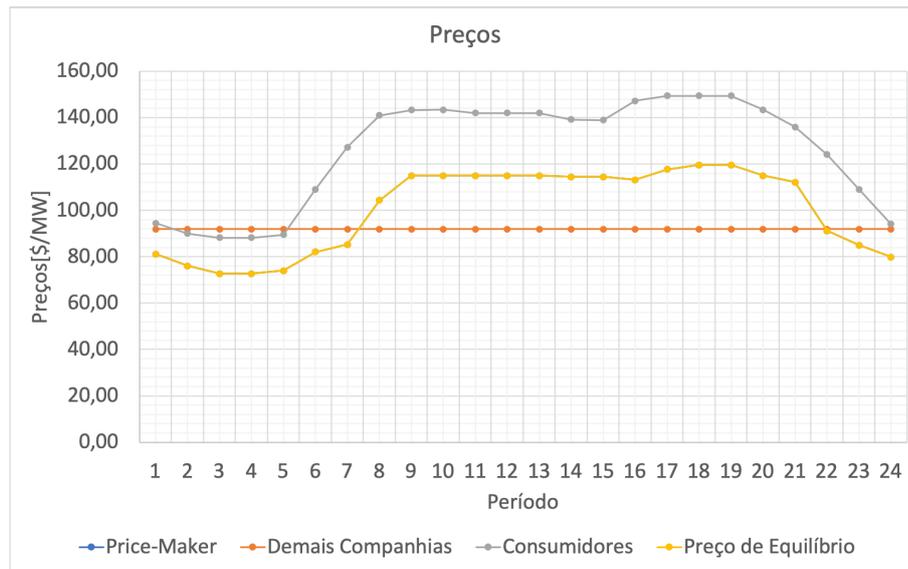


Figura 6.6 – Perfil diários dos preços médios de ofertas das companhias, de lances dos consumidores e preço de equilíbrio de mercado.

A Tabela 6.17 mostra a geração ofertada pela companhia *price-maker* e sua respectiva capacidade de geração, em cada período. Desta tabela, verifica-se que o modelo de COE proposto neste trabalho decide que nem sempre é melhor ofertar ao leilão do dia seguinte toda a sua capacidade de geração. De fato, em algumas situações, pode ser que para uma maior oferta da companhia *price-maker* no leilão, ocorra uma redução de preços, em função de um maior volume de geração no mercado, ocasionando uma redução de lucros da companhia. Como o lucro é dado pelo produto entre as gerações ofertadas em cada período e os respectivos preços de equilíbrio de mercado, o modelo precisa ponderar entre preços de equilíbrio e ofertas de modo a maximizar o lucro da companhia. Para companhias que não são do tipo *price-maker*, portanto *price-takers*, essa ponderação não é necessária, uma vez que tais companhias geralmente não conseguem influenciar a seu favor os preços de equilíbrio com suas ofertas no mercado. Para essas companhias, quanto maior a produção no mercado, maiores serão também seus lucros.

Tabela 6.17 – Geração ofertada pela companhia *price-maker* e sua respetiva capacidade de geração, em cada período.

Tempo	Geração ofertada pela companhia <i>price-maker</i>	Capacidade de geração da companhia <i>price-maker</i>
1	1793,16	1894,40
2	1773,24	1894,40
3	1742,30	1894,40
4	1713,29	1894,40
5	1713,29	1894,40
6	1803,16	1894,40
7	1803,16	1894,40
8	1763,98	1894,40
9	1775,42	1894,40
10	1803,16	1894,40
11	1803,16	1894,40
12	1775,42	1894,40
13	1775,42	1894,40
14	1780,52	1894,40
15	1722,48	1894,40
16	1794,35	1894,40
17	1803,16	1894,40
18	1794,10	1894,40
19	1794,10	1894,40
20	1803,16	1894,40
21	1664,41	1894,40
22	1790,09	1894,40
23	1803,16	1894,40
24	1773,24	1894,40

Os valores completos dos preços de equilíbrio de mercado para cada período de tempo e em cada barra do sistema de transmissão são mostrados nas tabelas 6.18 e 6.19. Nota-se que para este caso que, como não existem congestionamentos na transmissão e as perdas são desprezadas, os preços de equilíbrio são idênticos em todas as barras do sistema para um determinado período de tempo t , conforme esperado.

Tabela 6.18 – Perfil diários dos preços de equilíbrio de mercado das 12 primeiras barras.

Tempo	Barra											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	81,15	81,15	81,15	81,15	81,15	81,15	81,15	81,15	81,15	81,15	81,15	81,15
2	76,03	76,03	76,03	76,03	76,03	76,03	76,03	76,03	76,03	76,03	76,03	76,03
3	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69
4	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69
5	73,92	73,92	73,92	73,92	73,92	73,92	73,92	73,92	73,92	73,92	73,92	73,92
6	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00
7	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28
8	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27
9	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00
10	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00
11	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00
12	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00
13	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00
14	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40
15	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40
16	113,10	113,10	113,10	113,10	113,10	113,10	113,10	113,10	113,10	113,10	113,10	113,10
17	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60
18	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60
19	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60
20	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00
21	112,11	112,11	112,11	112,11	112,11	112,11	112,11	112,11	112,11	112,11	112,11	112,11
22	91,10	91,10	91,10	91,10	91,10	91,10	91,10	91,10	91,10	91,10	91,10	91,10
23	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00
24	79,84	79,84	79,84	79,84	79,84	79,84	79,84	79,84	79,84	79,84	79,84	79,84

Tabela 6.19 – Perfil diários dos preços de equilíbrio de mercado das 12 últimas barras.

Tempo	Barra											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	81,15	81,15	81,15	81,15	81,15	81,15	81,15	81,15	81,15	81,15	81,15	81,15
2	76,03	76,03	76,03	76,03	76,03	76,03	76,03	76,03	76,03	76,03	76,03	76,03
3	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69
4	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69	72,69
5	73,92	73,92	73,92	73,92	73,92	73,92	73,92	73,92	73,92	73,92	73,92	73,92
6	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00
7	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28	85,28
8	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27
9	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00
10	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00
11	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00
12	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00
13	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00
14	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40
15	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40	114,40
16	113,10	113,10	113,10	113,10	113,10	113,10	113,10	113,10	113,10	113,10	113,10	113,10
17	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60
18	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60
19	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60	119,60
20	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00
21	112,11	112,11	112,11	112,11	112,11	112,11	112,11	112,11	112,11	112,11	112,11	112,11
22	91,10	91,10	91,10	91,10	91,10	91,10	91,10	91,10	91,10	91,10	91,10	91,10
23	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00
24	79,84	79,84	79,84	79,84	79,84	79,84	79,84	79,84	79,84	79,84	79,84	79,84

O gráfico da Figura 6.7 mostra o perfil diário do volume total dos reservatórios da companhia *price-maker* e demais companhias. É possível observar uma leve queda linear no volume total dos reservatórios. Isso acontece pelo fato de não existir nenhuma restrição de meta sobre o volume dos reservatórios ao final do dia, evidenciando que as decisões tomadas pelos testes realizados no modelo matemático formulado, são totalmente conduzidas pelo mercado. Apesar de sua importância, as restrições de metas não foram

incluídas no modelo pelas dificuldades encontradas no fechamento destas metas para o problema com restrições de equilíbrio.

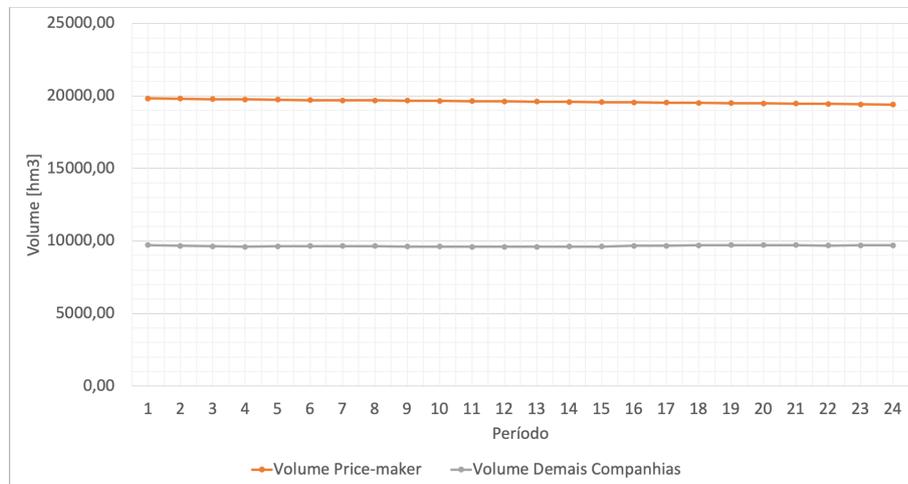


Figura 6.7 – Volume total dos reservatórios por período.

A Figura 6.8 mostra o perfil diário das vazões totais turbinadas pela companhia *price-maker*, e pelas demais companhias. É possível notar que o comportamento da vazão turbinada segue o mesmo padrão da Figura 6.5, que mostra a geração diária de potência ativa das usinas da companhia.

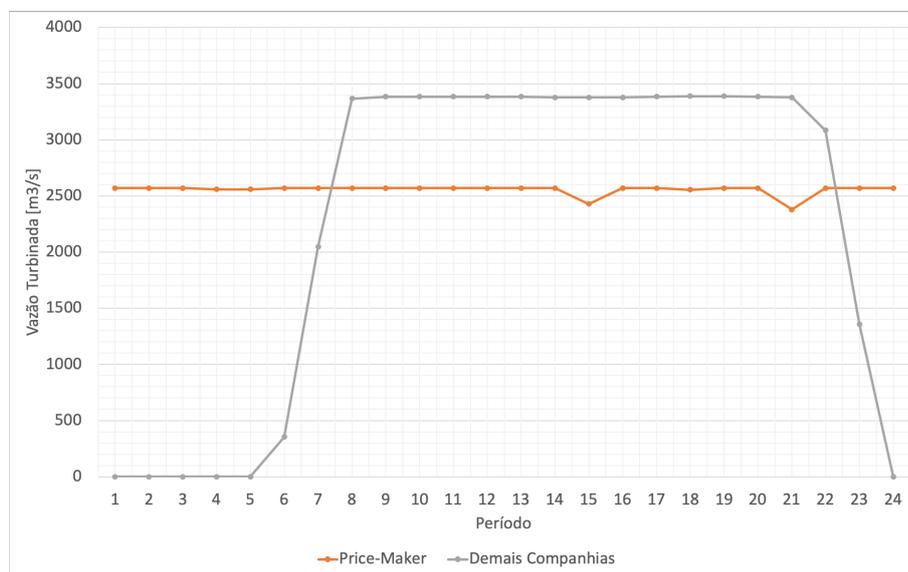


Figura 6.8 – Vazão total turbinada por período para as companhias.

A Figura 6.9 mostra o perfil diário das vazões totais vertidas pela companhia *price-maker*, e pelas demais companhias. É possível notar um comportamento desordenado da vazão vertida ao longo do dia, e que essa decisão é conduzida pelas decisões econômicas a serem tomadas no mercado, a fim de maximizar o lucro. Além disso, o fato de usinas à

montante não fornecerem boas ofertas faz com que elas tenham que verter, para que as usinas à jusante, com melhores ofertas, possam gerar. Finalmente, o fato de não existirem restrições de meta de volume final faz com que o vertimento não tenha custo associado, sendo utilizado de forma indiscriminada.

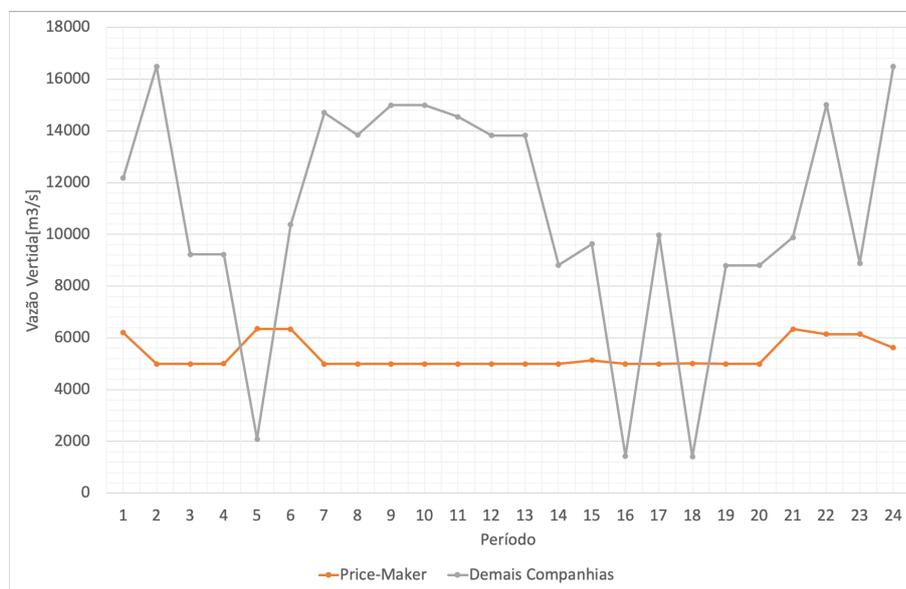


Figura 6.9 – Vazão total vertida por período.

Além dos valores relacionados às variáveis hidráulicas agregados por companhia, é feita também a análise destas variáveis para alguns reservatórios específicos: um da companhia *price-maker* (reservatório 1) e outro das demais companhias (reservatório 10). É possível notar da Figura 6.10, a qual representa o volume do reservatório 1 da companhia *price-maker*, que as unidades atreladas a esse reservatório utilizam do volume disponível de água durante todo o dia, tanto para turbinar, quanto para verter. É possível identificar que, de fato, ela tem esse comportamento através da Figura 6.11 que mostra o perfil diário da vazão turbinada e da vazão vertida no reservatório 1. A falta da restrição de meta energética faz com que os vertimentos não sejam precificados, o que gera essa inconsistência de altos vertimentos.

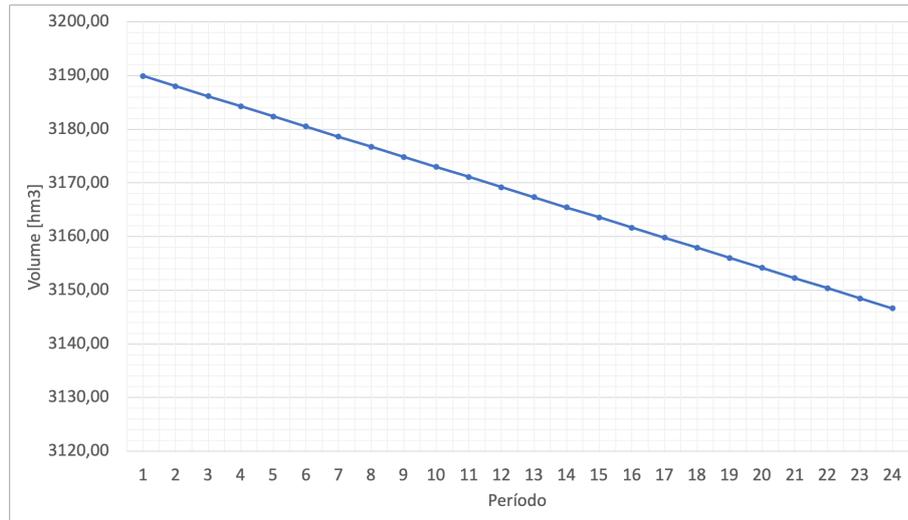


Figura 6.10 – Perfil diário do volume do reservatório 1.

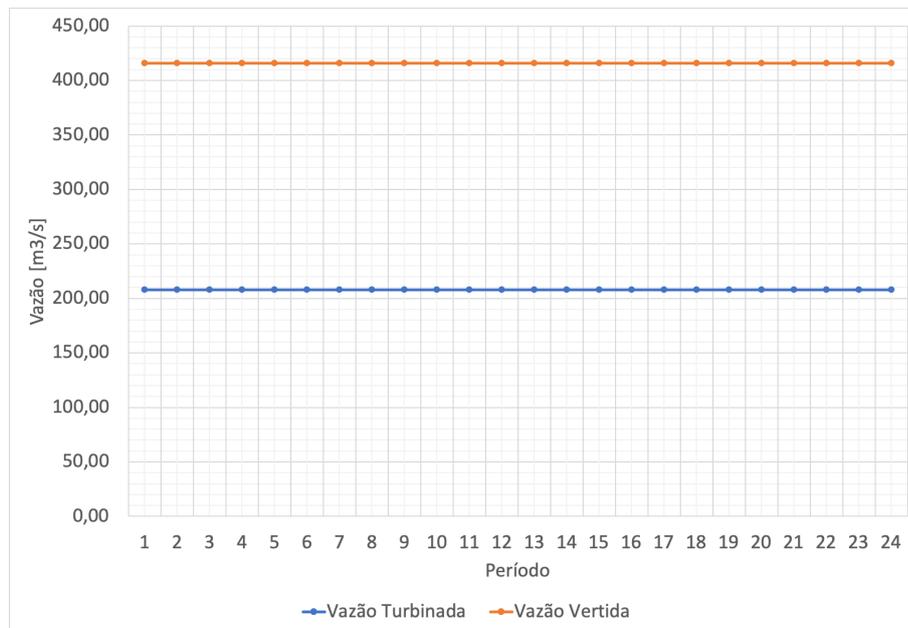


Figura 6.11 – Perfil diário das vazões turbinada e vertida do reservatório 1.

A Figura 6.12 representa o volume do reservatório 10. Por pertencer às demais companhias, essa usina despacha menos energia, já que não pode atuar de forma estratégica no mercado. Além disso, pelo fato de ela estar no fim da cascata hidráulica, seu volume aumenta ao longo do dia, o que mostra que esta usina parece fazer um processo de regularização da cascata. É possível observar na figura 6.13 que, por não poder atuar de forma estratégica no mercado, a usina não pode turbinar em alguns períodos do dia, o que causa esse aumento no volume de seu reservatório.

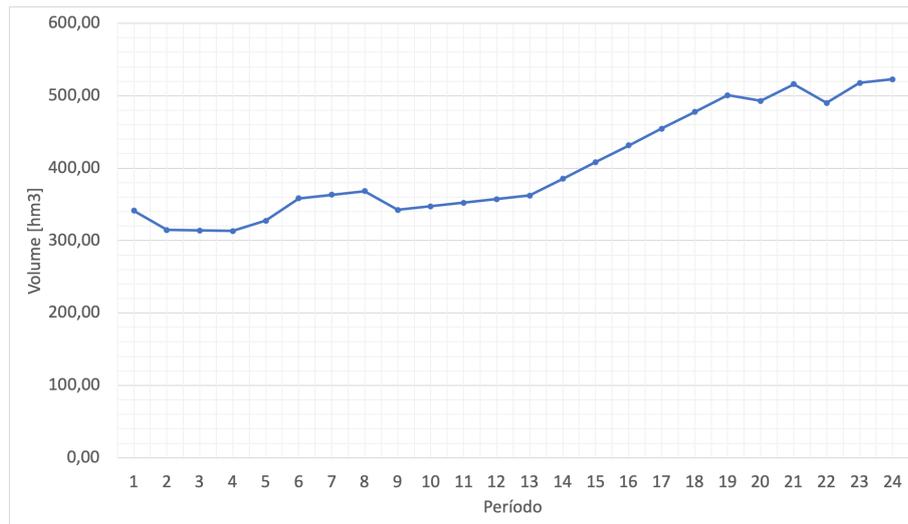


Figura 6.12 – Volume do reservatório 10.

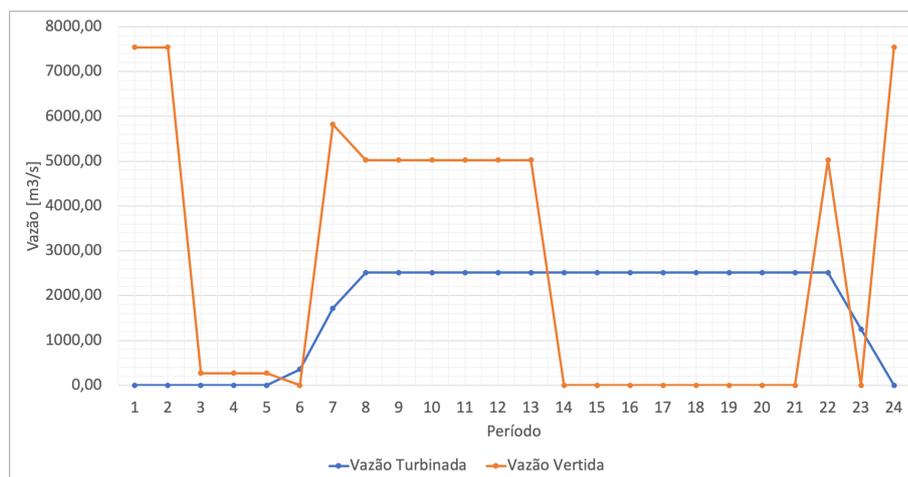


Figura 6.13 – Vazão turbinada e vertida do reservatório 10.

6.4 Tempos Computacionais

Essa seção tem o intuito de avaliar os tempos computacionais realizados envolvendo o modelo de COE deste presente capítulo. O modelo foi resolvido usando o CPLEX-*Studio* da IBM versão 12.9.0.0 através da linguagem OPL em um MacBook Pro Retina, 15-inch, Mid 2014 contendo um processador 2,5 GHz *Quad-Core* Intel Core i7 e memória RAM de 16 GB contendo uma velocidade de 1600 MHz.

Foram obtidos dois tempos computacionais diferentes nos testes realizados em apenas unidades termoelétricas, o tempo computacional de 1 minuto e 20 segundos que é referente ao caso 1 em que a transmissão do sistema teste não está congestionado. O tempo computacional de 1 minuto e 39 segundos que é referente ao caso 2 em que a transmissão do sistema teste está artificialmente congestionada na linha de transmissão

entre as barras 15 e 21. É possível observar, destes tempos computacionais, que existe um ligeiro aumento no tempo computacional do caso 1 para o caso 2, o qual decorre de uma maior complexidade existente na resolução de um sistema que possua congestionamento em alguma linha de transmissão.

Para os testes com sistemas hidrotérmicos realizados no caso 3, os tempos computacionais são muito mais altos. Para o caso mostrado nos resultados, obteve-se o tempo computacional de cerca de 10 horas com um *GAP* de dualidade de cerca de 3,3%. Ao avaliarmos a solução, percebe-se que várias variáveis e funções estão em seus limites mínimos ou máximos de operação na solução ótima do COE. Assim, os tempos computacionais para sistemas hidrotérmicos obtidos ainda não são viáveis em aplicações práticas. Para os sistemas puramente termelétricos, os tempos computacionais se mostraram viáveis mesmo com a inserção das restrições de rampa de partida e parada de unidades. Por outro lado, para sistemas hidrotérmicos, as restrições de mais difícil viabilidade foram aquelas relacionadas ao acoplamento físico do sistema, e à interdependência espacial e temporal da operação hidráulica. Novas técnicas de solução ainda são necessárias para a viabilização de estudos de COE em sistemas hidrotérmicos.

7 CONCLUSÕES

Este trabalho tem como objetivo propor um modelo de Cálculo de Ofertas Estratégicas (COE) para sistemas hidrotérmicos para uma companhia geradora do tipo *price-maker* determinar os preços e quantidades que esta companhia deve ofertar no leilão do dia seguinte, de modo a maximizar os seus lucros neste leilão.

O modelo de COE proposto é inicialmente descrito por um problema de otimização bi-nível, no qual o nível superior busca a maximização dos lucros e o nível inferior busca representar a operação do mercado do dia seguinte, por meio do seu Procedimento de Equilíbrio de Mercado (PEM).

A técnica de solução proposta para o problema de otimização bi-nível envolve a reformulação do problema bi-nível em um problema equivalente, no qual o problema de nível inferior é substituído por suas condições de otimalidade de KKT. O problema equivalente resultante é um Problema Matemático com Restrições de Equilíbrio (PMRE) que em seguida foi linearizado, se tornando um problema de otimização linear inteiro-misto, o qual é resolvido neste trabalho utilizando-se o *solver* CPLEX na plataforma CPLEX-*Studio* da IBM.

O modelo proposto foi aplicado à solução de um problema de COE para um sistema teste investigado, envolvendo um sistema de transmissão de 24 barras, 34 linhas de transmissão e 32 unidades geradoras, das quais 15 são da companhia *price-maker* estudada, e 17 consumidores. Os resultados mostram que os preços horários ofertados pela companhia *price-maker* no leilão seguem os valores dos preços de equilíbrio de mercado em cada período, ou seja, a companhia de fato influencia os preços de equilíbrio de mercado a seu favor. Os resultados mostram ainda que nem sempre é interessante para a companhia geradora ofertar toda a sua capacidade no leilão. Em alguns períodos, a companhia oferta valores menores que a sua capacidade, pois ofertas maiores poderiam reduzir os preços de equilíbrio, reduzindo também o lucro da companhia no mercado. Assim, o modelo e a técnica de solução propostos se mostram eficientes para a solução do problema de COE para companhias *price-maker*.

Com relação aos tempos computacionais obtidos para a solução do problema de COE proposto por meio da técnica de solução também proposta, é importante destacar que a solução de sistemas com matriz energética puramente termoelétrica foi obtida com tempos computacionais viáveis. Entretanto, a técnica proposta para a solução ainda não

se mostrou viável para sistemas hidrotérmicos em computadores convencionais. Assim, novas técnicas de solução mais robustas são necessárias para a viabilização de estudos de COE de sistemas hidrotérmicos.

Pesquisas futuras devem envolver a representação de incertezas nos lances das demais companhias através de modelos matemáticos EPEC (*Equilibrium Problems with Equilibrium Constraints*).

REFERÊNCIAS

- ARENALES, M. et al. *Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia*. Rio de Janeiro/RJ: [s.n.], 2007. Citado na página 34.
- ARROYO, J.; CONEJO, A. Multiperiod auction for a pool-based electricity market. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 17, n. 4, p. 1225–1231, nov. 2002. ISSN 0885-8950. Citado na página 9.
- CONEJO, A. J.; CARRIÓN, M.; MORALES, J. M. *Decision Making Under Uncertainty in Electricity Markets*. Boston, MA: Springer US, 2010. v. 153. (International Series in Operations Research & Management Science, v. 153). ISBN 978-1-4419-7420-4 978-1-4419-7421-1. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-7421-1>>. Citado 8 vezes nas páginas 1, 2, 4, 26, 94, 95, 96 e 100.
- CONEJO, A. J. et al. Optimal Involvement in Futures Markets of a Power Producer. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 23, n. 2, p. 703–711, maio 2008. ISSN 0885-8950. Citado na página 6.
- DAI, T.; QIAO, W. Optimal Bidding Strategy of a Strategic Wind Power Producer in the Short-Term Market. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, v. 6, n. 3, p. 707–719, jul. 2015. ISSN 1949-3029. Citado na página 2.
- FORTUNY-AMAT, J.; MCCARL, B. A representation and economic interpretation of a two-level programming problem | SpringerLink. 1981. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1057/jors.1981.156>>. Citado 3 vezes nas páginas 13, 26 e 30.
- GABRIEL, S. A. et al. *Complementarity Modeling in Energy Markets*. New York, NY: Springer New York, 2013. v. 180. (International Series in Operations Research & Management Science, v. 180). ISBN 978-1-4419-6122-8 978-1-4419-6123-5. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-6123-5>>. Citado na página 2.
- HAPP, H. Optimal power dispatch: A comprehensive survey. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, v. 96, n. 3, p. 841–854, maio 1977. ISSN 0018-9510. Citado na página 22.
- HULL, J. C. *Fundamentals of Futures and Options Markets*. 9 edition. ed. Boston: Pearson, 2016. ISBN 978-0-13-408324-7. Citado na página 6.
- KARDAKOS, E.; SIMOGLU, C.; BAKIRTZIS, A. Short-Term Electricity Market Simulation for Pool-Based Multi-Period Auctions. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 28, n. 3, p. 2526–2535, ago. 2013. ISSN 0885-8950. Citado na página 1.
- LUENBERGER, D. G.; YE, Y. *Linear and Nonlinear Programming*. 3rd edition. ed. New York, NY: Springer, 2008. ISBN 978-0-387-74502-2. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 34.
- LUO, Z.-Q.; PANG, J.-S.; RALPH, D. *Mathematical Programs with Equilibrium Constraints*. 1 edition. ed. Cambridge ; New York: Cambridge University Press, 1996. ISBN 978-0-521-57290-3. Citado 4 vezes nas páginas 2, 14, 25 e 26.

- MOTTO, A. et al. Network-constrained multiperiod auction for a pool-based electricity market. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 17, n. 3, p. 646–653, ago. 2002. ISSN 0885-8950. Citado na página 9.
- NEPOMUCENO, L. *Modelos de leilão multiperíodo em mercados de energia do dia seguinte de sistemas hidrotérmicos*. Tese (Livre-Docência) — Universidade Estadual Paulista - UNESP, Bauru - SP, Brasil, abr. 2014. Citado na página 1.
- PEREIRA, A. C. et al. Network-Constrained Multiperiod Auction for Pool-Based Electricity Markets of Hydrothermal Systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, PP, n. 99, p. 1–1, 2017. ISSN 0885-8950. Citado na página 1.
- PEREIRA, M. V. et al. Strategic bidding under uncertainty: a binary expansion approach. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 20, n. 1, p. 180–188, fev. 2005. ISSN 0885-8950. Citado na página 2.
- RUIZ, C.; CONEJO, A. (pool strategy of a producer with endogenous formation of locational marginal prices. 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/224597189_Pool_Strategy_of_a_Producer_With_Endogenous_Formation_of_Locational_Marginal_Prices>. Citado na página 30.
- RUIZ, C.; CONEJO, A. J. Pool Strategy of a Producer With Endogenous Formation of Locational Marginal Prices. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 24, n. 4, p. 1855–1866, nov. 2009. ISSN 0885-8950. Citado na página 34.
- SHAHIDEHPOUR, M.; YAMIN, H.; LI, Z. *Market Operations in Electric Power Systems: Forecasting, Scheduling, and Risk Management*. 1st edition. ed. New York: Wiley-IEEE Press, 2002. ISBN 978-0-471-44337-7. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 23.
- STEEGER, G.; BARROSO, L.; REBENNACK, S. Optimal Bidding Strategies for Hydro-Electric Producers: A Literature Survey. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 29, n. 4, p. 1758–1766, jul. 2014. ISSN 0885-8950. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 9.
- TORRE, S. de la; CONTRERAS, J.; CONEJO, A. Finding multiperiod Nash equilibria in pool-based electricity markets. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 19, n. 1, p. 643–651, fev. 2004. ISSN 0885-8950. Citado na página 1.
- WONG, P. et al. The IEEE Reliability Test System-1996. A report prepared by the Reliability Test System Task Force of the Application of Probability Methods Subcommittee. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 14, n. 3, p. 1010–1020, ago. 1999. ISSN 0885-8950. Citado 2 vezes nas páginas 94 e 95.

Apêndices

APÊNDICE A – DERIVADAS EM RELAÇÃO ÀS VARIÁVEIS DO PROBLEMA

A.1 Derivada em Relação a \mathbf{p}^G

As derivadas em relação a esta variável dependem dos índices associados a cada restrição que se relaciona com \mathbf{p}^G , pois cada índice identifica um valor que pode estar contido em conjuntos diferentes. São definidos os seguintes conjuntos associados a este vetor:

G_n^J Conjunto das unidades geradoras pertencentes à companhia *price-maker* estudada, localizadas na barra n .

G_n^I Conjunto das unidades geradoras pertencentes às demais companhias localizadas na barra n .

\mathcal{T} Conjunto das unidades geradoras termoelétricas de todas as companhias (incluindo a companhia *price-maker*).

\mathcal{H} Conjunto das unidades geradoras hidroelétricas de todas as companhias (incluindo a companhia *price-maker*).

\mathcal{U}_r Conjunto das unidades geradoras hidroelétricas de todas as companhias associadas ao reservatório r (incluindo a companhia *price-maker*).

U_{nr}^{HI} Conjunto das unidades geradoras hidroelétricas das demais companhias localizadas na barra n e no reservatório r .

U_{nr}^{HJ} Conjunto das unidades geradoras hidroelétricas da companhia *price-maker* localizadas na barra n e no reservatório r .

U_n^{LI} Conjunto das unidades geradoras termoelétricas das demais companhias localizadas na barra n e no reservatório r .

U_n^{LJ} Conjunto das unidades geradoras termoelétricas da companhia *price-maker* localizadas na barra n e no reservatório r .

em que:

$$\begin{aligned}
 U_{nr}^{HI} &= \forall u \in G_n^I \cap u \in \mathcal{U}_r \cap u \in I \\
 U_{nr}^{HJ} &= \forall u \in G_n^J \cap u \in \mathcal{U}_r \cap u \in J \\
 U_n^{LI} &= \forall u \in G_n^I \cap u \in I \cap u \in \mathcal{T} \\
 U_n^{LJ} &= \forall u \in G_n^J \cap u \in J \cap u \in \mathcal{T},
 \end{aligned} \tag{A.1}$$

$$G_n^J = \bigcup_{r \in R} U_{nr}^{HJ} \cup U_n^{LJ} \tag{A.2}$$

$$G_n^I = \bigcup_{r \in R} U_{nr}^{HI} \cup U_n^{LI} \tag{A.3}$$

Assim, as derivadas são feitas em função da variável p_{tub}^G , a qual pertence a conjuntos diferentes, dependendo de qual unidade geradora u se trata.

A.1.1 Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a p_{tub}^G , em que u Pertence ao Conjunto I

Por facilidade, será construída uma função lagrangiana que envolve somente os termos do problema de otimização relacionados à variável p_{tub}^G em que u pertence ao conjunto I . A função Lagrangiana assim definida é dada por:

$$L(\cdot) := \sum_{t(u \in I)b} \lambda_{tub}^O p_{tub}^G - \sum_{t(u \in G_n^I)n} \lambda_{tn} p_{tub}^G - \sum_{t(u \in I)b} \pi_{tub}^{Gmin} p_{tub}^G - \sum_{t(u \in I)b} \pi_{tub}^{Gmax} (P_{tub}^{Gmax} - p_{tub}^G) \tag{A.4}$$

Fazendo a derivada desta função em relação a p_{tub}^G , tem-se:

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial p_{tub}^G} = \lambda_{tub}^O - \lambda_{tn} + \pi_{tub}^{Gmax} - \pi_{tub}^{Gmin}, \forall t, \forall n, \forall u \in G_n^I, \forall b \tag{A.5}$$

A.1.2 Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a p_{tub}^G , em que u Pertence ao Conjunto J

Por facilidade, será construída uma função lagrangiana que envolve somente os termos do problema de otimização relacionados à variável p_{tub}^G , em que u pertence ao

conjunto J . A função Lagrangiana assim definida é dada por:

$$L(\cdot) := \sum_{t(u \in J)b} \lambda_{tub}^G p_{tub}^G - \sum_{t(u \in G_n^J)n} \lambda_{tn} p_{tub}^G - \sum_{t(u \in J)b} \pi_{tub}^{Gmin} p_{tub}^G - \sum_{t(u \in J)b} \pi_{tub}^{Gmax} (P_{tub}^{Gmax} - p_{tub}^G) \quad (\text{A.6})$$

Fazendo a derivada desta função em relação a p_{tub}^G , tem-se:

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial p_{tub}^G} = \lambda_{tub}^G - \lambda_{tn} + \pi_{tub}^{Gmax} - \pi_{tub}^{Gmin}, \forall t, \forall n, \forall u \in G_n^J, \forall b \quad (\text{A.7})$$

A.1.3 Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a p_{tub}^G , em que u Pertence ao Conjunto \mathcal{T}

Por facilidade de visualização das derivadas das restrições que envolvem a variável p_{tub}^G , em que u pertence ao conjunto \mathcal{T} , seja a função lagrangiana associada a um exemplo em que são considerados somente quatro períodos de tempo, para uma mesma unidade termoeétrica e um bloco específico:

$$\begin{aligned} L(\cdot) := & -\gamma_{1u}^{Gup} \left(R_u^{Gup} + \sum_b (p_{1ub}^G - p_{2ub}^G) \right) - \gamma_{1u}^{Gdw} \left(R_u^{Gdw} + \sum_b (p_{2ub}^G - p_{1ub}^G) \right) \\ & -\gamma_{2u}^{Gup} \left(R_u^{Gup} + \sum_b (p_{2ub}^G - p_{3ub}^G) \right) - \gamma_{2u}^{Gdw} \left(R_u^{Gdw} + \sum_b (p_{3ub}^G - p_{2ub}^G) \right) \\ & -\gamma_{3u}^{Gup} \left(R_u^{Gup} + \sum_b (p_{3ub}^G - p_{4ub}^G) \right) - \gamma_{3u}^{Gdw} \left(R_u^{Gdw} + \sum_b (p_{4ub}^G - p_{3ub}^G) \right) \end{aligned} \quad (\text{A.8})$$

As derivadas em relação às variáveis p_{tub}^G para este exemplo serão:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L(\cdot)}{\partial p_{1ub}^G} &= -\gamma_{1u}^{Gup} + \gamma_{1u}^{Gdw} \\ \frac{\partial L(\cdot)}{\partial p_{2ub}^G} &= \gamma_{1u}^{Gup} - \gamma_{2u}^{Gup} + \gamma_{2u}^{Gdw} - \gamma_{1u}^{Gdw} \\ \frac{\partial L(\cdot)}{\partial p_{3ub}^G} &= \gamma_{2u}^{Gup} - \gamma_{3u}^{Gup} + \gamma_{3u}^{Gdw} - \gamma_{2u}^{Gdw} \\ \frac{\partial L(\cdot)}{\partial p_{4ub}^G} &= \gamma_{3u}^{Gup} - \gamma_{3u}^{Gdw} \end{aligned} \quad (\text{A.9})$$

Assim, a função Lagrangiana genérica associada à variável p_{tub}^G , é dada conforme:

$$\begin{aligned} L(\cdot) := & - \sum_{t:t \neq NT, u \in \mathcal{T}} \gamma_{tu}^{Gup} \left(R_u^{Gup} + \sum_b (p_{tub}^G - p_{(t+1)ub}^G) \right) + \\ & - \sum_{t:t \neq NT, u \in \mathcal{T}} \gamma_{tu}^{Gdw} \left(R_u^{Gdw} + \sum_b (p_{(t+1)ub}^G - p_{tub}^G) \right) \end{aligned} \quad (\text{A.10})$$

Com base no exemplo, verifica-se que a regra geral de construção das derivadas é dada conforme mostrado em:

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial p_{tub}^G} = \begin{cases} -\gamma_{tu}^{Gup} + \gamma_{tu}^{Gdw} & , \forall t : t = 1, \forall u \in \mathcal{T}, \forall b \\ \gamma_{(t-1)u}^{Gup} - \gamma_{tu}^{Gup} + \gamma_{tu}^{Gdw} - \gamma_{(t-1)u}^{Gdw} & , \forall t : t \neq 1, t \neq NT, \forall u \in \mathcal{T}, \forall b \\ \gamma_{(t-1)u}^{Gup} - \gamma_{(t-1)u}^{Gdw} & , \forall t : t = NT, \forall u \in \mathcal{T}, \forall b \end{cases} \quad (\text{A.11})$$

A.1.4 Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a p_{tub}^G , em que u Pertence ao Conjunto \mathcal{H}

Por facilidade, será construída uma função lagrangiana que envolve somente os termos do problema de otimização relacionados à variável p_{tub}^G , em que u pertence ao conjunto \mathcal{H} . A função Lagrangiana assim definida é dada por:

$$\begin{aligned} L(\cdot) := & - \sum_{tu \in \mathcal{H}} \alpha_{tu}^{Hmin} \sum_b p_{tub}^G - \sum_{tu \in \mathcal{H}} \alpha_{tu}^{Hmax} \left(p_{tu}^{max} - \sum_b p_{tub}^G \right) \\ & - \sum_{tru \in \mathcal{U}_r} \alpha_{tu} \left(\sum_{b \in \mathcal{B}} p_{tub}^G - k_u \eta_u^{TG} H_r^{Ef} q_{tu} \right) \end{aligned} \quad (\text{A.12})$$

As derivadas em relação à variável p_{tub}^G serão:

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial p_{tub}^G} = -\alpha_{tu}^{Hmin} + \alpha_{tu}^{Hmax} - \alpha_{tu}, \forall t, \forall r, \forall u \in \mathcal{U}_r, \forall b \quad (\text{A.13})$$

A.1.5 Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a p_{tub}^G , para Todas as Unidades u

Após ter sido deduzida todas as possíveis derivadas existentes em p_{tub}^G , tem-se agora a derivada completa da função Lagrangiana em função de p_{tub}^G , em que a partir dos conjuntos (A.1), (A.2), (A.3) e das equações (A.14) e (A.15), têm-se (A.16).

$$DH_{tru} = -\alpha_{tu}^{Hmin} + \alpha_{tu}^{Hmax} - \alpha_{tru}, \forall t, \forall r \in R, \forall u \in U_r \quad (\text{A.14})$$

$$DT_{tu} = \begin{cases} -\gamma_{tu}^{Gup} + \gamma_{tu}^{Gdw} & , \forall t : t = 1, \forall u \in \mathcal{T}, \forall b \\ \gamma_{(t-1)u}^{Gup} - \gamma_{tu}^{Gup} + \gamma_{tu}^{Gdw} - \gamma_{(t-1)u}^{Gdw} & , \forall t : t \neq 1, t \neq NT, \forall u \in \mathcal{T}, \forall b \\ \gamma_{(t-1)u}^{Gup} - \gamma_{(t-1)u}^{Gdw} & , \forall t : t = NT, \forall u \in \mathcal{T}, \forall b \end{cases} \quad (\text{A.15})$$

$$\frac{\partial L}{\partial p_{tub}^G} = \begin{cases} \lambda_{tub}^O - \lambda_{tn} + \pi_{tub}^{Gmax} - \pi_{tub}^{Gmin} + DH_{tru} = 0, \forall t, \forall n, \forall r \in R, \forall u \in U_{nr}^{HI}, \forall b \\ \lambda_{tub}^G - \lambda_{tn} + \pi_{tub}^{Gmax} - \pi_{tub}^{Gmin} + DH_{tru} = 0, \forall t, \forall n, \forall r \in R, \forall u \in U_{nr}^{HJ}, \forall b \\ \lambda_{tub}^O - \lambda_{tn} + \pi_{tub}^{Gmax} - \pi_{tub}^{Gmin} + DT_{tu} = 0, \forall t, \forall n, \forall u \in U_n^{LI}, \forall b \\ \lambda_{tub}^G - \lambda_{tn} + \pi_{tub}^{Gmax} - \pi_{tub}^{Gmin} + DT_{tu} = 0, \forall t, \forall n, \forall u \in U_n^{LJ}, \forall b \end{cases}, \quad (\text{A.16})$$

A.2 Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a p_{tkb}^C

Por facilidade, será construída uma função lagrangiana que envolve somente os termos do problema de otimização relacionados à variável p_{tkb}^C . A função Lagrangiana assim definida é dada por:

$$L(.) := - \sum_{tkb} \lambda_{tkb}^C p_{tkb}^C + \sum_{t(k \in G_n^C)n} \lambda_{tn} p_{tkb}^C - \sum_{tkb} \pi_{tkb}^{Cmin} p_{tkb}^C - \sum_{tkb} \pi_{tkb}^{Cmax} (P_{tkb}^{Cmax} - p_{tkb}^C) \quad (A.17)$$

Fazendo a derivada desta função em relação a p_{tkb}^C , tem-se:

$$\frac{\partial L(.)}{\partial p_{tkb}^C} = -\lambda_{tkb}^C + \lambda_{tn} + \pi_{tkb}^{Cmax} - \pi_{tkb}^{Cmin}, \forall t, \forall n, \forall k \in G_n^C, \forall b \quad (A.18)$$

A.3 Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a θ

Por facilidade, será construída uma função lagrangiana que envolve somente os termos do problema de otimização relacionados à variável θ . Para a melhor visualização da função lagrangiana e de suas derivadas, seja o exemplo a seguir:

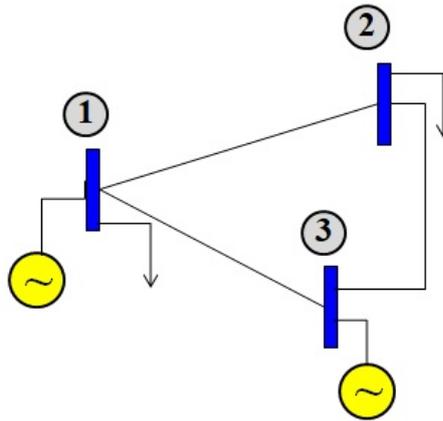


Figura A.1 – Sistema Exemplo de Três Barras.

Para esse sistema, e um período específico t , tem-se a seguinte função Lagrangiana:

$$\begin{aligned}
 L(\cdot) := & K - \lambda_{t1} (B_{12} (\theta_{t2} - \theta_{t1}) + B_{13} (\theta_{t3} - \theta_{t1})) \\
 & K - \lambda_{t2} (B_{21} (\theta_{t1} - \theta_{t2}) + B_{23} (\theta_{t3} - \theta_{t2})) \\
 & K - \lambda_{t3} (B_{31} (\theta_{t1} - \theta_{t3}) + B_{32} (\theta_{t2} - \theta_{t3})) \\
 & - \alpha_{t12}^{min} (B_{12} (\theta_{t1} - \theta_{t2}) + P_{12}^{max}) - \alpha_{t13}^{min} (B_{13} (\theta_{t1} - \theta_{t3}) + P_{13}^{max}) \\
 & - \alpha_{t21}^{min} (B_{21} (\theta_{t2} - \theta_{t1}) + P_{21}^{max}) - \alpha_{t23}^{min} (B_{23} (\theta_{t2} - \theta_{t3}) + P_{23}^{max}) \\
 & - \alpha_{t31}^{min} (B_{31} (\theta_{t3} - \theta_{t1}) + P_{31}^{max}) - \alpha_{t32}^{min} (B_{32} (\theta_{t3} - \theta_{t2}) + P_{32}^{max}) \\
 & - \alpha_{t12}^{max} (P_{12}^{max} - B_{12} (\theta_{t1} - \theta_{t2})) - \alpha_{t13}^{max} (P_{13}^{max} - B_{13} (\theta_{t1} - \theta_{t3})) \\
 & - \alpha_{t21}^{max} (P_{21}^{max} - B_{21} (\theta_{t2} - \theta_{t1})) - \alpha_{t23}^{max} (P_{23}^{max} - B_{23} (\theta_{t2} - \theta_{t3})) \\
 & - \alpha_{t31}^{max} (P_{31}^{max} - B_{31} (\theta_{t3} - \theta_{t1})) - \alpha_{t32}^{max} (P_{32}^{max} - B_{32} (\theta_{t3} - \theta_{t2})) \\
 & - \beta_{t1}^{min} (\theta_{t1} + \pi) - \beta_{t2}^{min} (\theta_{t2} + \pi) - \beta_{t3}^{min} (\theta_{t3} + \pi) \\
 & - \beta_{t1}^{max} (\pi - \theta_{t1}) - \beta_{t2}^{max} (\pi - \theta_{t2}) - \beta_{t3}^{max} (\pi - \theta_{t3}) \\
 & + \beta_t^0 \theta_{t1}
 \end{aligned} \tag{A.19}$$

Derivando em relação a θ_{t1} para um período específico t :

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial L(\cdot)}{\partial \theta_{t1}} = & + \lambda_{t1} B_{12} + \lambda_{t1} B_{13} - \lambda_{t2} B_{21} - \lambda_{t3} B_{31} \\
 & - \alpha_{t12}^{min} B_{12} - \alpha_{t13}^{min} B_{13} + \alpha_{t21}^{min} B_{21} + \alpha_{t31}^{min} B_{31} \\
 & + \alpha_{t12}^{max} B_{12} + \alpha_{t13}^{max} B_{13} - \alpha_{t21}^{max} B_{21} - \alpha_{t31}^{max} B_{31} \\
 & - \beta_{t1}^{min} + \beta_{t1}^{max} \\
 & + \beta_t^0,
 \end{aligned} \tag{A.20}$$

que pode ser reestruturado conforme:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial L(\cdot)}{\partial \theta_{t1}} = & B_{12} (\lambda_{t1} - \lambda_{t2}) + B_{13} (\lambda_{t1} - \lambda_{t3}) \\
 & B_{12} (\alpha_{t21}^{min} - \alpha_{t12}^{min}) + B_{13} (\alpha_{t31}^{min} - \alpha_{t13}^{min}) \\
 & B_{12} (\alpha_{t12}^{max} - \alpha_{t21}^{max}) + B_{13} (\alpha_{t13}^{max} - \alpha_{t31}^{max}) \\
 & - \beta_{t1}^{min} + \beta_{t1}^{max} \\
 & + \beta_t^0
 \end{aligned} \tag{A.21}$$

Assim, a função Lagrangiana genérica associada à variável θ para um período específico t é dada conforme:

$$\begin{aligned}
 L(\cdot) := & - \sum_{tn(m \in N_n)} \lambda_{tn} [B_{nm} (\theta_{tm} - \theta_{tn})] \\
 & - \sum_{tn(m \in N_n)} \alpha_{tnm}^{min} [B_{nm} (\theta_{tn} - \theta_{tm}) + P_{nm}^{max}] \\
 & - \sum_{tn(m \in N_n)} \alpha_{tnm}^{max} [P_{nm}^{max} - B_{nm} (\theta_{tn} - \theta_{tm})] \\
 & - \sum_{tn} \beta_{tn}^{min} (\theta_{tn} + \pi) - \sum_{tn} \beta_{tn}^{max} (\pi - \theta_{tn}) + \sum_t \beta_t^0 \theta_{t1}
 \end{aligned} \tag{A.22}$$

Com base no exemplo, verifica-se que a regra geral de construção das derivadas é dada conforme mostrado em:

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial \theta_{tn}} = \begin{cases} \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\lambda_{tn} - \lambda_{tm}) + \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\alpha_{tmn}^{\min} - \alpha_{tnm}^{\min}) \\ + \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\alpha_{tnm}^{\max} - \alpha_{tmn}^{\max}) - \beta_{tn}^{\min} + \beta_{tn}^{\max} + \beta_t^0 & , \forall t, n = 1 \\ \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\lambda_{tn} - \lambda_{tm}) + \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\alpha_{tmn}^{\min} - \alpha_{tnm}^{\min}) \\ + \sum_{m \in N_n} B_{nm} (\alpha_{tnm}^{\max} - \alpha_{tmn}^{\max}) - \beta_{tn}^{\min} + \beta_{tn}^{\max} & , \forall t, \forall n, n \neq 1 \end{cases} \quad (\text{A.23})$$

A.4 Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a \mathbf{q}

Por facilidade, será construída uma função lagrangiana que envolve somente os termos do problema de otimização relacionados à variável \mathbf{q} . Antes, porém, é importante reescrever a equação de balanço hidráulico, a qual tem mais elementos complicadores para a sua derivada, em sentença aberta, conforme mostrado em (A.24) e (A.25):

$$\begin{aligned} x_{tr} = & x_{(t-1)r} + 0.0036 \left(\Upsilon_{tr} + \sum_{f \in F_r: (t-D_{fr} \geq 1)} \sum_{a \in \mathcal{U}_f} (q_{(t-D_{fr})a} + s_{(t-D_{fr})f}) \right) \\ & + 0.0036 \left(\sum_{f \in F_r: (t-D_{fr} < 1)} U_{(NT+t-D_{fr})f}^Y - \left(\sum_{h \in \mathcal{U}_r} q_{th} + s_{tr} \right) \right), (v_{tr}) \\ & \forall t \in T : t \neq 1, \forall r \in R \end{aligned} \quad (\text{A.24})$$

$$\begin{aligned} x_{1r} = & X_{0r} + 0.0036 \left(\Upsilon_{1r} + \sum_{f \in F_r: (D_{fr}=0)} \sum_{a \in \mathcal{U}_f} (q_{1a} + s_{1f}) \right) \\ & + 0.0036 \left(+ \sum_{f \in F_r: (D_{fr}>0)} U_{(NT+1-D_{fr})f}^Y - \left(\sum_{h \in \mathcal{U}_r} q_{1h} + s_{1r} \right) \right), (v_{1r}) \\ & \forall r \in R \end{aligned} \quad (\text{A.25})$$

Assim, a função Lagrangiana genérica associada à variável \mathbf{q} para um período

específico t é dada conforme:

$$\begin{aligned}
 L(\cdot) := & 0.0036 \left(\sum_{t:t \neq 1} \sum_{r \in R} v_{tr} \left(\sum_{f \in F_r: (t-D_{fr} \geq 1)} \sum_{a \in \mathcal{U}_f} q_{(t-D_{fr})a} - \sum_{h \in \mathcal{U}_r} q_{th} \right) \right) \\
 & 0.0036 \left(\sum_{r \in R} v_{1r} \left(\sum_{f \in F_r: (D_{fr}=0)} \sum_{a \in \mathcal{U}_f} q_{1a} - \sum_{h \in \mathcal{U}_r} q_{1h} \right) \right) \\
 & - \sum_{tr} \left(\sum_{h \in \mathcal{U}_r} q_{th} + s_{tr} - U_r^{min} \right) \delta_{tr}^{U^{min}} - \sum_{tr} \left(U_r^{max} - \sum_{h \in \mathcal{U}_r} q_{th} - s_{tr} \right) \delta_{tr}^{U^{max}} \\
 & - \sum_{th} (q_{th} - Q_h^{min}) \delta_{th}^{Q^{min}} - \sum_{th} (q_h^{max} - q_{th}) \delta_{th}^{Q^{max}} \\
 & + \sum_{t \in T, u \in \mathcal{H}} k_u \eta_u^{TG} H_r^{Ef} \alpha_{tu} q_{tu}.
 \end{aligned} \tag{A.26}$$

Para uma melhor visualização da função lagrangiana e de suas derivadas, seja o exemplo mostrado na Figura A.2:

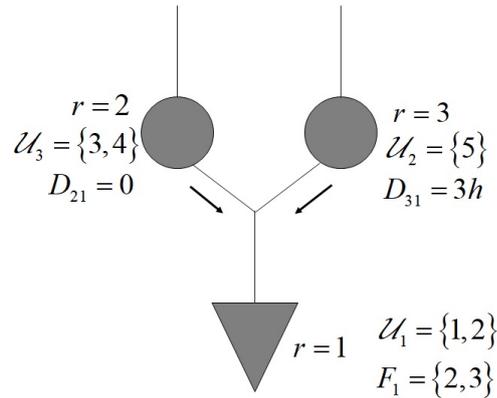


Figura A.2 – Sistema Exemplo de Três Barras.

Para o exemplo da Figura A.2, a primeira parcela da função Lagrangiana, aquela

associada ao balanço hídrico dos reservatórios, é esquematizada por:

$$L(.) := \left\{ \begin{array}{l} (r = 1) \left\{ \begin{array}{l} v_{11} \sum_{a \in \mathcal{U}_2} q_{1a} - v_{11} \sum_{h \in \mathcal{U}_1} q_{1h} \quad (t = 1) \\ v_{21} \sum_{a \in \mathcal{U}_2} q_{(2-D_{21})a} - v_{21} \sum_{h \in \mathcal{U}_1} q_{2h} \quad (t = 2) \\ v_{31} \sum_{a \in \mathcal{U}_2} q_{(3-D_{21})a} - v_{31} \sum_{h \in \mathcal{U}_1} q_{3h} \quad (t = 3) \\ v_{41} \sum_{a \in \mathcal{U}_2} q_{(4-D_{21})a} + v_{41} \sum_{a \in \mathcal{U}_3} q_{(4-D_{31})a} - v_{41} \sum_{h \in \mathcal{U}_1} q_{4h} \quad (t = 4) \\ \vdots \\ v_{NT1} \sum_{a \in \mathcal{U}_2} q_{(NT-D_{21})a} + v_{NT1} \sum_{a \in \mathcal{U}_3} q_{(NT-D_{31})a} - v_{NT1} \sum_{h \in \mathcal{U}_1} q_{NT h} \quad (t = NT) \end{array} \right. \\ (r = 2) \left\{ \begin{array}{l} -v_{12} \sum_{h \in \mathcal{U}_2} q_{1h} \quad (t = 1) \\ -v_{22} \sum_{h \in \mathcal{U}_2} q_{2h} \quad (t = 2) \\ \vdots \\ -v_{NT2} \sum_{h \in \mathcal{U}_2} q_{NT h} \quad (t = NT) \end{array} \right. \\ (r = 3) \left\{ \begin{array}{l} -v_{13} \sum_{h \in \mathcal{U}_3} q_{1h} \quad (t = 1) \\ -v_{23} \sum_{h \in \mathcal{U}_3} q_{2h} \quad (t = 2) \\ \vdots \\ -v_{NT3} \sum_{h \in \mathcal{U}_3} q_{NT h} \quad (t = NT) \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (\text{A.27})$$

Abrindo os somatórios para as unidades dos conjuntos, \mathcal{U}_1 , \mathcal{U}_2 e \mathcal{U}_3 em (A.27)

tem-se:

$$L(.) := \left\{ \begin{array}{l} (r = 1) \left\{ \begin{array}{l} v_{11} (q_{13} + q_{14}) - v_{11} (q_{11} + q_{12}) \quad (t = 1) \\ v_{21} (q_{23} + q_{24}) - v_{21} (q_{21} + q_{22}) \quad (t = 2) \\ v_{31} (q_{33} + q_{34}) - v_{31} (q_{31} + q_{32}) \quad (t = 3) \\ v_{41} (q_{43} + q_{44}) + v_{41} (q_{15}) - v_{41} (q_{41} + q_{42}) \quad (t = 4) \\ \vdots \quad \vdots \\ v_{NT1} (q_{(NT-0)3} + q_{(NT-0)4}) + v_{NT1} (q_{(NT-3)5}) - v_{NT1} (q_{NT1} + q_{NT2}) \quad (t = NT) \end{array} \right. \\ (r = 2) \left\{ \begin{array}{l} -v_{12} (q_{13} + q_{14}) \quad (t = 1) \\ -v_{22} (q_{23} + q_{24}) \quad (t = 2) \\ \vdots \quad \vdots \\ -v_{NT2} (q_{NT3} + q_{NT4}) \quad (t = NT) \end{array} \right. \\ (r = 3) \left\{ \begin{array}{l} -v_{13} (q_{15}) \quad (t = 1) \\ -v_{23} (q_{25}) \quad (t = 2) \\ -v_{33} (q_{35}) \quad (t = 3) \\ -v_{43} (q_{45}) \quad (t = 4) \\ \vdots \quad \vdots \\ -v_{NT3} (q_{NT5}) \quad (t = NT) \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (\text{A.28})$$

Na esquematização mostrada em (A.28), destacam-se as derivadas envolvendo as variáveis, q_{13} , q_{14} e q_{15} . As derivadas da função lagrangiana com relação a estas variáveis, bem como as derivadas em relação a q_{11} , q_{12} são dadas em:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L(.)}{\partial q_{11}} &= -v_{11} \\ \frac{\partial L(.)}{\partial q_{12}} &= -v_{11} \\ \frac{\partial L(.)}{\partial q_{13}} &= v_{11} - v_{12} \\ \frac{\partial L(.)}{\partial q_{14}} &= v_{11} - v_{12} \\ \frac{\partial L(.)}{\partial q_{15}} &= v_{41} - v_{13} \end{aligned} \quad (\text{A.29})$$

Fazendo as derivadas para o período de tempo $t = 3$ ou seja, em relação a q_{31} , q_{32} , q_{33} , q_{34} , q_{35} :

$$\begin{aligned} \frac{\partial L(.)}{\partial q_{31}} &= -v_{31} \\ \frac{\partial L(.)}{\partial q_{32}} &= -v_{31} \\ \frac{\partial L(.)}{\partial q_{33}} &= v_{31} - v_{32} \\ \frac{\partial L(.)}{\partial q_{34}} &= v_{31} - v_{32} \\ \frac{\partial L(.)}{\partial q_{35}} &= v_{61} - v_{33} \end{aligned} \quad (\text{A.30})$$

Na regra geral de construção da derivada, nota-se que para as unidades 1 e 2, que pertencem a reservatório 1, existe apenas um termo na derivada, pois não existem

reservatórios a jusante do reservatório 1. Para as usinas 3 e 4 do reservatório 2, aparecem dois termos nas derivadas, um associado ao próprio reservatório 2, e outro relacionado ao reservatório imediatamente a jusante (reservatório 1). Isso ocorre porque as vazões defluentes do reservatório 2 aparecem na equação de balanço de águas do reservatório 1, mas com os devidos atrasos. Assim, generalizando as derivadas associadas somente às equações de balanço de água tem-se:

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial q_{th}} = 0.0036 \left(\sum_{l \in \mathcal{T}_r: t+D_{rl} \leq NT} (v_{(t+D_{rl})l}) - v_{tr} \right), \forall r \in R, \forall h \in \mathcal{U}_r, \forall t \in T, \quad (\text{A.31})$$

em que \mathcal{T}_r é o conjunto de reservatórios que estão a jusante do reservatório r .

Generalizando-se as derivadas em relação a \mathbf{q} para todas as restrições têm-se:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L(\cdot)}{\partial q_{tu}} = 0.0036 \left(\sum_{l \in \mathcal{T}_r: t+D_{rl} \leq NT} (v_{(t+D_{rl})l}) - v_{tr} \right) - \delta_{tr}^{Umin} + \delta_{tr}^{Umax} - \delta_{tu}^{Qmin} \\ + \delta_{tu}^{Qmax} + k_u \eta_{tu}^{TG} H_r^{Ej} \alpha_{tu}, \forall t \in T, \forall r \in R, \forall u \in \mathcal{U}_r \end{aligned} \quad (\text{A.32})$$

A.5 Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a \mathbf{s}

Por facilidade, será construída uma função lagrangiana que envolve somente os termos do problema de otimização relacionados à variável \mathbf{s} . Antes, porém, é importante reescrever a equação de balanço hidráulico, que possui mais elementos complicadores para a sua derivada, em sentença aberta, conforme mostrado em (A.33) e (A.34):

$$\begin{aligned} x_{tr} = & x_{(t-1)r} + 0.0036 \left(\Upsilon_{tr} + \sum_{f \in F_r: (t-D_{fr} \geq 1)} \sum_{a \in \mathcal{U}_{rf}} (q_{(t-D_{fr})a} + s_{(t-D_{fr})f}) \right) \\ & + 0.0036 \left(\sum_{f \in F_r: (t-D_{fr} < 1)} U_{(NT+t-D_{fr})f}^Y - \left(\sum_{h \in \mathcal{U}_r} q_{th} + s_{tr} \right) \right), (v_{tr}) \\ & \forall t \in T : t \neq 1, \forall r \in R \end{aligned} \quad (\text{A.33})$$

$$\begin{aligned} x_{1r} = & X_{0r} + 0.0036 \left(\Upsilon_{1r} + \sum_{f \in F_r: (D_{fr}=0)} \sum_{a \in \mathcal{U}_f} (q_{1a} + s_{1f}) \right) \\ & + 0.0036 \left(+ \sum_{f \in F_r: (D_{fr}>0)} U_{(NT+1-D_{fr})f}^Y - \left(\sum_{h \in \mathcal{U}_r} q_{1h} + s_{1r} \right) \right), (v_{1r}) \\ & \forall r \in R. \end{aligned} \quad (\text{A.34})$$

Assim, a função Lagrangiana genérica associada à variável \mathbf{q} para um período

específico t é dada conforme:

$$\begin{aligned}
 L(.) := & \sum_{r \in R} 0.0036 \left(v_{1r} \left(\sum_{f \in F_r: D_{fr}=0} (s_{1f}) - s_{1r} \right) \right) \\
 & \sum_{t: t \neq 1} \sum_{r \in R} 0.0036 \left(v_{tr} \left(\sum_{f \in F_r: t - D_{fr} \geq 1} (s_{(t-D_{fr})f}) - s_{tr} \right) \right) \\
 & - \sum_{tr} \left(\sum_{h \in \mathcal{U}_r} q_{th} + s_{tr} - U_r^{min} \right) \delta_{tr}^{U^{min}} - \sum_{tr} \left(U_r^{max} - \sum_{h \in \mathcal{U}_r} q_{th} - s_{tr} \right) \delta_{tr}^{U^{max}}.
 \end{aligned} \tag{A.35}$$

Para o exemplo da Figura A.2, a primeira parcela da função Lagrangiana, aquela associada ao balanço hídrico dos reservatórios, é esquematizada por:

$$L(.) := \left\{ \begin{array}{l} (r = 1) \left\{ \begin{array}{ll} -u_{11}s_{11} & (t = 1) \\ -u_{21}s_{21} & (t = 2) \\ v_{31}s_{(3-D_{31})3} - v_{31}s_{31} & (t = 3) \\ v_{41}s_{(4-D_{21})2} + v_{41}s_{(4-D_{31})3} - v_{41}s_{41} & (t = 4) \\ \vdots & \vdots \\ v_{NT1}s_{(NT-D_{21})2} + v_{NT1}s_{(NT-D_{31})3} - v_{NT1}s_{NT1} & (t = NT) \end{array} \right. \\ (r = 2) \left\{ \begin{array}{ll} -u_{12}s_{12} & (t = 1) \\ -u_{22}s_{22} & (t = 2) \\ \vdots & \vdots \\ -u_{NT2}s_{NT2} & (t = NT) \end{array} \right. \\ (r = 3) \left\{ \begin{array}{ll} -u_{13}s_{13} & (t = 1) \\ -u_{23}s_{23} & (t = 2) \\ \vdots & \vdots \\ -u_{NT3}s_{NT3} & (t = NT) \end{array} \right. \end{array} \right. \tag{A.36}$$

Substituindo-se os valores de atraso nas equações (A.36), tem-se:

$$L(.) := \left\{ \begin{array}{l} (r = 1) \left\{ \begin{array}{l} -v_{11}s_{11} \quad (t = 1) \\ -v_{21}s_{21} \quad (t = 2) \\ v_{31}s_{13} - v_{31}s_{31} \quad (t = 3) \\ v_{41}s_{12} + v_{41}s_{23} - v_{41}s_{41} \quad (t = 4) \\ v_{51}s_{22} + v_{51}s_{33} - v_{51}s_{51} \quad (t = 5) \\ v_{61}s_{32} + v_{61}s_{43} - v_{61}s_{61} \quad (t = 6) \\ \vdots \quad \vdots \\ v_{NT1}s_{(NT-3)2} + v_{NT1}s_{(NT-2)3} - v_{NT1}s_{NT1} \quad (t = NT) \end{array} \right. \\ (r = 2) \left\{ \begin{array}{l} -v_{12}s_{12} \quad (t = 1) \\ -v_{22}s_{22} \quad (t = 2) \\ \vdots \quad \vdots \\ -v_{NT2}s_{NT2} \quad (t = NT) \end{array} \right. \\ (r = 3) \left\{ \begin{array}{l} -v_{13}s_{13} \quad (t = 1) \\ -v_{23}s_{23} \quad (t = 2) \\ \vdots \quad \vdots \\ -v_{NT3}s_{NT3} \quad (t = NT) \end{array} \right. \end{array} \quad (A.37)$$

Fazendo as derivadas para $t = 1$ em relação a s_{11}, s_{12}, s_{13} , tem-se:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L(.)}{\partial s_{11}} &= -v_{11} \\ \frac{\partial L(.)}{\partial s_{12}} &= v_{41} - v_{12} \\ \frac{\partial L(.)}{\partial s_{13}} &= v_{31} - v_{13} \end{aligned} \quad (A.38)$$

Fazendo as derivadas para o período de tempo $t = 3$, ou seja, em relação a s_{31}, s_{32}, s_{33} :

$$\begin{aligned} \frac{\partial L(.)}{\partial s_{31}} &= -v_{31} \\ \frac{\partial L(.)}{\partial s_{32}} &= v_{61} - v_{32} \\ \frac{\partial L(.)}{\partial s_{33}} &= v_{51} - v_{33} \end{aligned} \quad (A.39)$$

Na regra geral de construção desta derivada, nota-se que para o reservatório 1, existe apenas um termo na derivada, pois não existem reservatórios a jusante do reservatório 1. Para o reservatório 2, aparecem dois termos nas derivadas, um associado ao próprio reservatório 2, e outro relacionado ao reservatório imediatamente a jusante (reservatório 1). O mesmo ocorre para o reservatório 3. Isso ocorre porque as vazões defluentes do reservatório 3 aparecem na equação de balanço de águas do reservatório 1, mas com os devidos atrasos.

$$\begin{aligned} \frac{\partial L(.)}{\partial s_{tr}} &= 0.0036 \left(\sum_{l \in \mathcal{T}_r: (t+D_{rl}) \leq NT} (v_{(t+D_{rl})l}) - v_{tr} \right) - \delta_{tr}^{Umin} \\ &\quad + \delta_{tr}^{Umax} \\ &\quad \forall t \in T, \forall r \in R \end{aligned} \quad (A.40)$$

A.6 Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a \mathbf{q}^{\max}

Por facilidade, será construída uma função lagrangiana que envolve somente os termos do problema de otimização relacionados à variável \mathbf{q}^{\max} .

$$\begin{aligned}
 L(\cdot) := & - \sum_{th} (q_{th}^{\max} - q_{th}) \delta_{th}^{Q^{\max}} \\
 & - \sum_{th} (q_{th}^{\max}) \delta_{th}^{Efmin} - \sum_{th} (Q_h^{Ef} - q_{th}^{\max}) \delta_{th}^{Efmax} \\
 & - \sum_{trh \in \mathcal{U}_r} (Q_h^{T0} + Q_h^{T1} h_{tr} - q_{th}^{\max}) \delta_{trh}^{Tmax} \\
 & - \sum_{trh \in \mathcal{U}_r} (Q_h^{G0} + Q_h^{G1} h_{tr} - q_{th}^{\max}) \delta_{trh}^{Gmax}
 \end{aligned} \tag{A.41}$$

A derivada em relação a \mathbf{q}^{\max} fica da forma:

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial q_{th}^{\max}} = -\delta_{th}^{Q^{\max}} - \delta_{th}^{Efmin} + \delta_{th}^{Efmax} + \delta_{trh}^{Tmax} + \delta_{trh}^{Gmax}, \forall t, \forall r, \forall h \in \mathcal{U}_r \tag{A.42}$$

A.7 Derivada Parcial da Função Lagrangiana em Relação a \mathbf{x}

Por facilidade, será construída uma função lagrangiana que envolve somente os termos do problema de otimização relacionados à variável \mathbf{x} .

$$\begin{aligned}
 L(\cdot) := & - \sum_{tr} (x_{tr} - X_r^{\min}) \sigma_{tr}^{\min} \\
 & - \sum_{tr} (X_r^{\max} - x_{tr}) \sigma_{tr}^{\max} \\
 & + \sum_r (X_{0r} - x_{1r}) v_{1r} \\
 & + \sum_{t:t \neq 1r} (x_{(t-1)r} - x_{tr}) v_{tr}
 \end{aligned} \tag{A.43}$$

Para facilitar a derivada em relação a \mathbf{x} , seja o exemplo em que $NT = 3$ e temos $t \in \{1, \dots, 3\}$ fica da forma:

$$\begin{aligned}
 L(\cdot) := & - (x_{1r} - X_r^{\min}) \sigma_{1r}^{\min} - (x_{2r} - X_r^{\min}) \sigma_{2r}^{\min} - (x_{3r} - X_r^{\min}) \sigma_{3r}^{\min} \\
 & - (X_r^{\max} - x_{1r}) \sigma_{1r}^{\max} - (X_r^{\max} - x_{2r}) \sigma_{2r}^{\max} - (X_r^{\max} - x_{3r}) \sigma_{3r}^{\max} \\
 & + (X_{0r} - x_{1r}) v_{1r} \\
 & + (x_{1r} - x_{2r}) v_{2r} + (x_{2r} - x_{3r}) v_{3r}
 \end{aligned} \tag{A.44}$$

derivando em relação às variáveis x_{1r}, x_{2r}, x_{3r} , temos:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial L(\cdot)}{\partial x_{1r}} &= -\sigma_{1r}^{\min} - v_{1r} + v_{2r}, & \forall r \\
 \frac{\partial L(\cdot)}{\partial x_{2r}} &= -\sigma_{2r}^{\min} + \sigma_{2r}^{\max} - v_{2r} + v_{3r}, & \forall r \\
 \frac{\partial L(\cdot)}{\partial x_{3r}} &= -\sigma_{3r}^{\min} + \sigma_{3r}^{\max} - v_{3r}, & \forall r
 \end{aligned} \tag{A.45}$$

A regra geral de construção desta derivada é fornecida em:

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial x_{tr}} = \begin{cases} -\sigma_{tr}^{min} - v_{tr} + v_{(t+1)r}, & \forall t : t \neq NT, \forall r \\ -\sigma_{tr}^{min} - v_{tr} & \forall t : t = NT, \forall r \end{cases} \quad (\text{A.46})$$

APÊNDICE B – DADOS PARA O SISTEMA HIDROTÉRMICO UTILIZADO NOS RESULTADOS

B.1 Introdução

Esse Apêndice possui o intuito de descrever os dados de entrada utilizados para simular os testes realizados no capítulo 6. A Seção B.2 propõe um sistema teste e descreve os principais parâmetros referente a transmissão. A Seção B.3 a bacia hidrográfica em que as unidades estão dispostas, sem entrar em muitos detalhes em parâmetros. A Seção B.5 descreve os principais parâmetros referente as unidades termoelétricas do sistema.

B.2 Dados de Transmissão

Neste trabalho o sistema utilizado para a simulação dos resultados é construído com base em informações de sistemas reais. O sistema final, entretanto, é fictício, porém adota parâmetros que são viáveis, na prática. A ideia geral consiste em adaptar o sistema de IEEE de 24 barras descrito em (WONG et al., 1999) e (CONEJO; CARRIÓN; MORALES, 2010), mostrado na Figura B.1, de forma que a maioria das unidades geradoras deste sistema sejam substituídas por usinas hidrelétricas.

A Tabela B.1 mostra as informações das linhas de transmissão do sistema IEEE 24 barras, onde são mostradas as reatâncias e as capacidades, associada a cada linha.

Tabela B.2, referente-se as unidades atrelados ao sistema de transmissão.

B.3 Dados de Usinas e Unidades Hidrelétricas

As usinas hidrelétricas foram escolhidas de modo que suas potências nominais estivessem o mais próximo possível dos valores nominais originais fornecidos em (CONEJO; CARRIÓN; MORALES, 2010). Com base nesta ideia, foram utilizadas as cascatas hidráulicas associadas aos rios Araguari, Corumbá e Paranaíba, conforme mostrado na Figura B.2:

As unidades geradoras 1, 3–10 e 12, foram substituídas pelas usinas de Corumbá

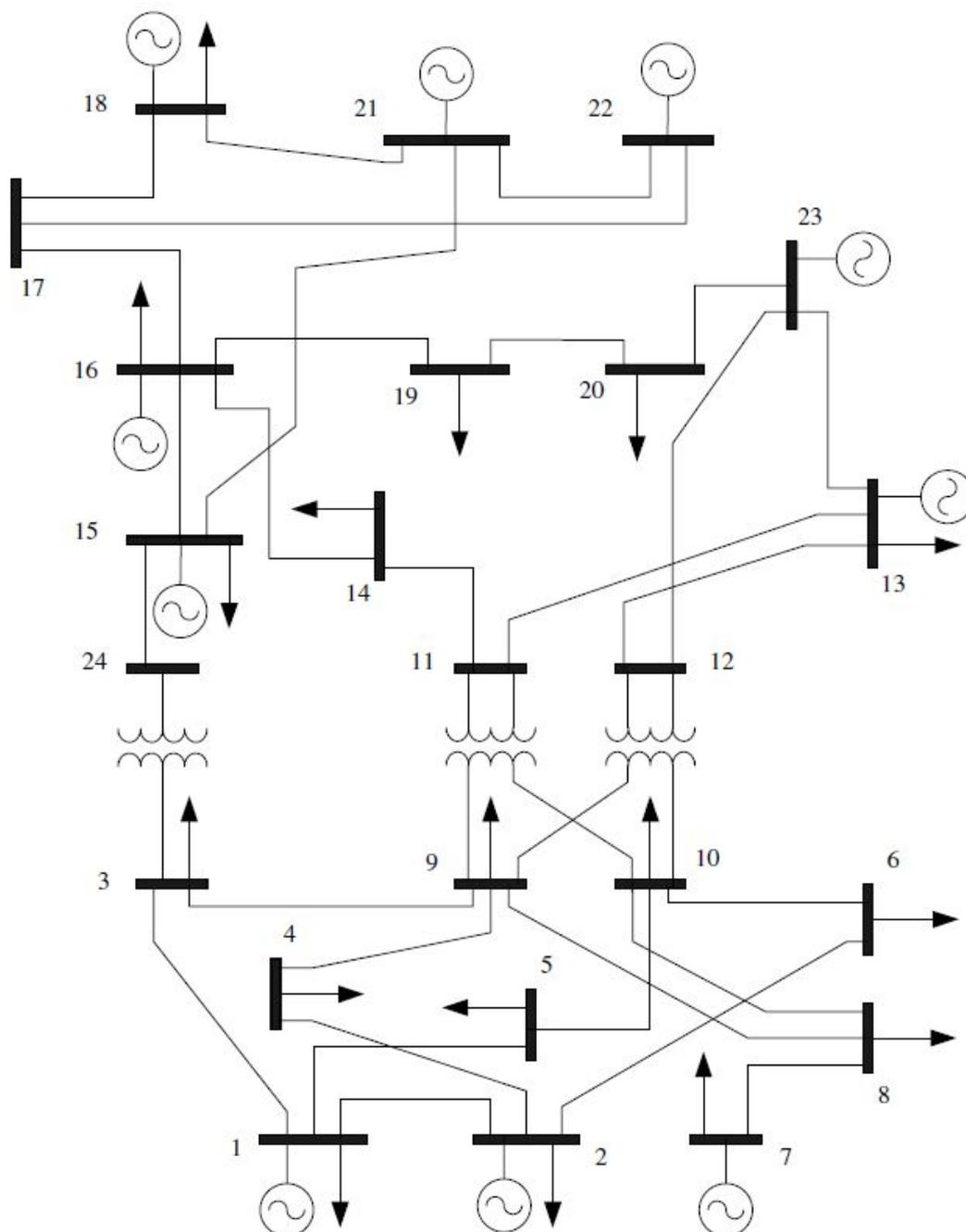


Figura B.1 – Sistema de Transmissão - IEEE 24 Barras.
 Fonte: (CONEJO; CARRIÓN; MORALES, 2010).

IV, Itumbiara, Cachoeira Dourada, Corumbá III, Capim Branco II, Capim Branco I, Nova Ponte, Miranda, Emborcação e Corumbá I, respectivamente. Foi utilizada somente uma unidade geradora para as usinas de Emborcação e Itumbiara, e duas unidades na usina de Capim Branco I, de modo que as potências destas usinas estivessem na mesma ordem de grandeza dos valores de potência nominais dados para as termoeletricas correspondentes (unidades 10 e 3) descritas em (WONG et al., 1999). As demais usinas tiveram todas as suas unidades consideradas.

Tabela B.1 – Dados de reatâncias e capacidades das linhas de transmissão.

Nó inicial	Nó final	Reatância [pu]	Capacidade [MW]
1	2	0.0146	175
1	3	0.2253	175
1	5	0.0907	175
2	4	0.1356	175
2	6	0.205	175
3	9	0.1271	175
3	24	0.084	400
4	9	0.111	175
5	10	0.094	175
6	10	0.0642	175
7	8	0.0652	175
8	9	0.1762	175
8	10	0.1762	175
9	11	0.084	400
9	12	0.084	400
10	11	0.084	400
10	12	0.084	400
11	13	0.0488	500
11	14	0.0426	500
12	13	0.0488	500
12	23	0.0985	500
13	23	0.0884	500
14	16	0.0594	500
15	16	0.0172	500
15	21	0.0249	1000
15	24	0.0529	500
16	17	0.0263	500
16	19	0.0234	500
17	18	0.0143	500
17	22	0.1069	500
18	21	0.0132	1000
19	20	0.0203	1000
20	23	0.0112	1000
21	22	0.0692	500

As unidades termoelétricas 2 e 11 da referência (CONEJO; CARRIÓN; MORALES, 2010), foram mantidas como unidades termoelétricas no sistema aqui descrito, com os mesmos dados fornecidos naquela referência, porém com os números de unidade alterados para 31 e 32, respectivamente. Os dados envolvendo a geração de unidades termoelétricas são detalhados na Seção.

Tabela B.2 – Unidades geradoras e consumidoras atreladas as barras do sistema de transmissão

Barras	Unidades Geradoras	Unidades Consumidoras
1	1, 2	1
2	31	2
3	-	3
4	-	4
5	-	5
6	-	6
7	20	7
8	-	8
9	-	9
10	-	10
11	-	-
12	-	-
13	21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30	11
14	-	12
15	3, 4, 17, 18, 19	13
16	15, 16	14
17	-	-
18	9, 10, 11	15
19	-	16
20	-	17
21	12, 13, 14	-
22	8	-
23	5, 6, 7, 32	-
24	-	-

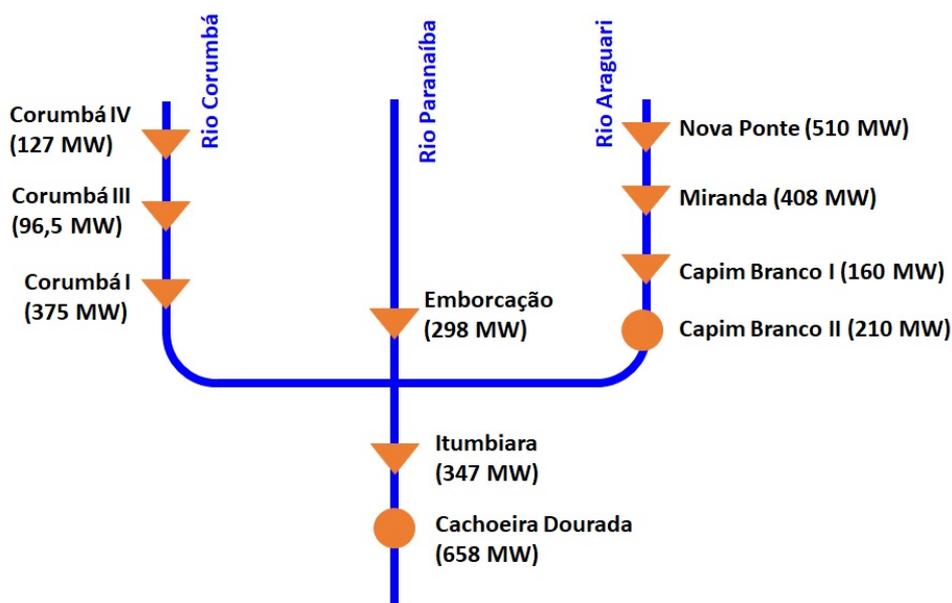


Figura B.2 – Trecho da cascata hidráulica dos rios Araguari, Corumbá e Paranaíba do sistema elétrico brasileiro.

Tabela B.3 – Relação Nome e número das usinas hidrelétricas.

Nome	Número
Corumbá IV	1
Corumbá III	2
Corumbá I	3
Emborcação	4
Nova Ponte	5
Miranda	6
Capim Branco I	7
Capim Branco II	8
Itumbiara	9
Cachoeira Dourada	10

Tabela B.4 – Blocos de potências máximas geradas (P^{Gmax}).

Unidades	Bloco 1 [MW]	Bloco 2 [MW]	Bloco 3 [MW]	Bloco 4 [MW]
1	25,4	19,05	9,52	9,52
2	25,4	19,05	9,52	9,52
3	19,1	14,34	7,17	7,17
4	19,4	14,58	7,29	7,29
5	50,0	37,5	18,7	18,7
6	50,0	37,5	18,7	18,7
7	50,0	37,5	18,7	18,7
8	119,2	89,4	44,7	44,7
9	68,0	51	25,5	25,5
10	68,0	51	25,5	25,5
11	68,0	51	25,5	25,5
12	54,4	40,8	20,4	20,4
13	54,4	40,8	20,4	20,4
14	54,4	40,8	20,4	20,4
15	32,0	24	12	12
16	32,0	24	12	12
17	28,0	21	10,5	10,5
18	28,0	21	10,5	10,5
19	28,0	21	10,5	10,5
20	138,8	104,1	52,0	52,0
21	6,8	5,1	2,55	2,55
22	6,8	5,1	2,55	2,55
23	21,6	16,2	8,1	8,1
24	21,6	16,2	8,1	8,1
25	21,6	16,2	8,1	8,1
26	33,6	25,2	12,6	12,6
27	33,6	25,2	12,6	12,6
28	33,6	25,2	12,6	12,6
29	42,0	31,5	15,7	15,7
30	42,0	31,5	15,7	15,7
31	60,8	45,6	22,8	22,8
32	124,0	93	46,5	46,5

A tabela B.5 dentre as unidades 15-30 e 32 referem-se aos preços ofertados pelas demais companhias, as demais unidades pertencem à companhia *price-maker* a qual não oferta lances no COE proposto nesse trabalho, os dados, ai deduzidos são utilizados em um leilão simples de modo a demonstrar o quanto há de ganho entre o modelo de COE em detrimento de um leilão em que nenhuma companhia atue de forma estratégica.

Tabela B.5 – Blocos de preços não estratégicos ofertados pelas unidades da companhia *price-maker* e blocos de preços das unidades das demais companhias (λ^O).

Unidades	Bloco 1 [\$/MW]	Bloco 2 [\$/MW]	Bloco 3 [\$/MW]	Bloco 4 [\$/MW]
1	90,0	93,6	97,2	99,0
2	90,0	93,6	97,2	99,0
3	93,0	96,7	100,4	102,3
4	93,0	96,7	100,4	102,3
5	96,0	99,8	103,7	105,6
6	96,0	99,8	103,7	105,6
7	96,0	99,8	103,7	105,6
8	80,0	83,2	86,4	88,0
9	91,0	94,6	98,3	100,1
10	91,0	94,6	98,3	100,1
11	91,0	94,6	98,3	100,1
12	94,0	97,8	101,5	103,4
13	94,0	97,8	101,5	103,4
14	94,0	97,8	101,5	103,4
15	90,0	93,6	97,2	99,0
16	90,0	93,6	97,2	99,0
17	85,0	88,4	91,8	93,5
18	85,0	88,4	91,8	93,5
19	85,0	88,4	91,8	93,5
20	110,0	114,4	118,8	121,0
21	82,0	85,3	88,6	90,2
22	82,0	85,3	88,6	90,2
23	82,0	85,3	88,6	90,2
24	82,0	85,3	88,6	90,2
25	82,0	85,3	88,6	90,2
26	82,0	85,3	88,6	90,2
27	82,0	85,3	88,6	90,2
28	82,0	85,3	88,6	90,2
29	82,0	85,3	88,6	90,2
30	82,0	85,3	88,6	90,2
31	120,0	124,8	129,6	132,0
32	115,0	119,6	124,2	126,5

Os lances máximos (P^{Cmax}) em blocos de demanda dos 17 consumidores são obtidos em base horária em que para cada período a demanda agregada da tabela B.8 é multiplicado pelo percentual da carga de cada consumidor localizado em sua respectiva

barra ‘vide’ tabela B.9 acrescidos em 120% desse valor total por consumidor, os valores são discretizados em 4 blocos, sendo que o primeiro bloco de cada consumidor, ofertará 40% do total, o segundo 30%, o terceiro 15% e o quarto também 15% assim totalizando os 100% dos lances de demanda máxima de cada consumidor. O perfil de carga foi levantado de acordo com o perfil de carga Europeu de acordo com o perfil descrito em (CONEJO; CARRIÓN; MORALES, 2010).

Os lances de preços dados pelos consumidores são obtidos em base horária e discretizados em 4 blocos. Esses preços são obtidos parametrizados em função do preço da hora 18 no bloco 1 de cada consumidor como mostrado na tabela B.6. Em seguida esses preços são dados em base horária obedecendo o percentual dado na tabela B.7, com isso é obtido os lances horários de cada consumidor para o bloco 1 (bloco mais caro), a partir do bloco 1 é obtido os preços do bloco 2 que representa 90% dos preços do bloco 1, do bloco 3 que representa 80% dos preços do bloco 1 e do bloco 4 que representam 70% dos preços do bloco 1. Ao final todos esses blocos são acrescidos em 160% de seus valores originais.

Tabela B.6 – Preços do Primeiro Bloco Demandados pelas Unidades Consumidoras no tempo 18 (λ^C).

Consumidor	Preço [\$/MW]
1	132,00
2	110,00
3	105,00
4	115,00
5	120,00
6	125,00
7	100,00
8	98,00
9	99,00
10	101,00
11	110,00
12	100,00
13	115,00
14	105,00
15	100,00
16	102,00
17	130,00

Tabela B.7 – Percentuais Horários sobre os Preços do Bloco 1 na hora 18.

Tempo	%
1	0,67
2	0,63
3	0,6
4	0,59
5	0,59
6	0,6
7	0,74
8	0,86
9	0,95
10	0,96
11	0,96
12	0,95
13	0,95
14	0,95
15	0,93
16	0,93
17	0,99
18	1
19	1
20	0,96
21	0,91
22	0,83
23	0,73
24	0,63

Tabela B.8 – Demanda Agregada pelo Tempo.

Tempo	Demanda Agregada
1	1.775,84
2	1.669,82
3	1.590,30
4	1.563,80
5	1.563,80
6	1.590,30
7	1.961,37
8	2.279,43
9	2.517,98
10	2.544,48
11	2.544,48
12	2.517,98
13	2.517,98
14	2.517,98
15	2.464,97
16	2.464,97
17	2.624,00
18	2.650,50
19	2.650,50
20	2.544,48
21	2.411,96
22	2.199,92
23	1.934,87
24	1.669,82

Tabela B.9 – Carga disponível.

Carga	Barra	[%]
1	1	3,80
2	2	3,40
3	3	6,30
4	4	2,60
5	5	2,50
6	6	4,80
7	7	4,40
8	8	6,00
9	9	6,10
10	10	6,80
11	13	9,30
12	14	6,80
13	15	11,10
14	16	3,50
15	18	11,70
16	19	6,40
17	20	4,50

B.4 Dados de Unidades Hidrelétricas

A Tabela B.10 mostra os dados referentes aos reservatórios do sistema, em que se considera (para algumas constantes dos reservatórios) que os dados são referentes ao mês de agosto de 2018. Assumiu-se que os volumes iniciais estão em 20% acima dos volumes mínimos de cada reservatório. Assumiu-se ainda que as metas de volume de cada reservatório são de 90% dos volumes iniciais, dado que as vazões afluentes são muito baixas no mês de agosto, ou seja, espera-se que ocorram reduções nos volumes dos reservatórios durante o dia.

Usina	U_r^{min} [m ³ /s]	U_r^{max} [m ³ /s]	X_r^{min} [hm ³]	X_r^{max} [hm ³]	Υ_{tr} [m ³ /s]	X_{0r} [hm ³]
1	22	624	2.916,74	3.833,63	32	3191,80
2	27	834	683,29	942,99	39	761,20
3	74	1710	471,55	1.496,44	109	779,02
4	73	3144	4.669,00	17.724,72	98	8585,72
5	53	1728	2.412,00	12.792,00	76	5526,00
6	64	2025	974,40	1.120,00	79	1018,08
7	65	1485	228,27	241,13	80	232,13
8	68	1611	859,63	872,83	81	863,59
9	261	8820	4.573,00	17.027,00	367	8309,20
10	273	7539	301,81	522,68	395	368,07

Tabela B.10 – Limites mínimos e máximos associados aos reservatórios.

A tabela B.11 possui a quantidade mínima e efetiva que cada unidade hidroelétrica do sistema pode turbinar, a constante utilizada na função de produção hidráulica, a potência efetiva hidráulica de cada unidade, e a quantidade de água afluentes laterais.

<i>Unidades</i>	Q_u^{min}	Q_u^{Ef}	k_u	P_u^{Ef}	U_{tu}^Y	η_u^{TG}
1	94,83	104	0,009123	63,5	0	0,95
2	94,83	104	0,009123	63,5	0	0,95
3	119,57	138	0,009086	47,8	0	0,95
4	121,3	140	0,009086	48,6	0	0,95
5	134,98	190	0,008928	125	0	0,95
6	134,98	190	0,008928	125	0	0,95
7	134,98	190	0,008928	125	0	0,95
8	181,82	262	0,008731	298	0	0,95
9	151,06	192	0,009223	170	0	0,95
10	151,06	192	0,009223	170	0	0,95
11	151,06	192	0,009223	170	0	0,95
12	197,39	225	0,009116	136	0	0,95
13	197,39	225	0,009116	136	0	0,95
14	197,39	225	0,009116	136	0	0,95
15	152,87	165	0,008829	80	0	0,95
16	152,87	165	0,008829	80	0	0,95
17	166,27	179	0,008829	70	0	0,95
18	166,27	179	0,008829	70	0	0,95
19	166,27	179	0,008829	70	0	0,95
20	197,4	490	0,008829	347	0	0,95
21	59,129	65	0,00873	17	0	0,95
22	59,129	65	0,00873	17	0	0,95
23	186,88	206	0,00873	54	0	0,95
24	186,88	206	0,00873	54	0	0,95
25	186,88	206	0,00873	54	0	0,95
26	281,25	321	0,00873	84	0	0,95
27	281,25	321	0,00873	84	0	0,95
28	281,25	321	0,00873	84	0	0,95
29	358,04	401	0,00873	105	0	0,95
30	358,04	401	0,00873	105	0	0,95

Tabela B.11 – Limites mínimos e máximos associados as unidades hidroelétricas.

B.5 Dados de Unidades Termoelétricas

A presente seção expressa os dados pertinentes as unidades termoelétricas 31 e 32, em que a tabela B.12, expressa as capacidades máximas e os limites de tomada e alívio de carga (rampa de subida e de descida).

Tabela B.12 – Limites mínimos e máximos das quantidades.

Unidade	Capacidade	Rampa <i>up</i>	Rampa <i>down</i>
31	152	152	152
32	310	310	310

APÊNDICE C – RESULTADOS COMPLETOS OBTIDOS NA ANÁLISE DO DESEMPENHO ECONÔMICO DO COE

Esse Apêndice possui o intuito de descrever os resultados obtidos no Capítulo 6 referente às quantidades e aos preços que devam ser ofertados pela companhia *price-maker* ao final da resolução do cálculo das ofertas estratégicas, pelo fato de se tratar de um grande volume de informação, por conta dos resultados estarem retratados em base horária para cada bloco de cada unidade da companhia *price-make*. A Seção C.1 destaca os resultados obtidos na Subseção 6.3.1 referentes o caso 1. A Subseção C.2 destaca os resultados obtidos na Seção 6.3.2 referentes o caso 2. A Seção C.3 os resultados obtidos através dos testes realizados na Subseção 6.3.3 referentes ao caso 3.

C.1 Caso 1 - Transmissão Não Congestionada para Sistema Termoelétrico

As Tabelas de C.1 — C.24 descrevem as quantidades e os preços que devam ser ofertados pela companhia *price-maker* ao final da resolução do cálculo das ofertas estratégicas.

Tabela C.1 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 1

Tempo 1								
Unidades	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	79,84	19,05	79,84	9,53	79,84	9,53	79,84
2	25,40	79,84	19,05	79,84	9,53	79,84	9,53	79,84
3	19,12	79,84	14,34	79,84	7,17	79,84	7,17	79,84
4	19,44	79,84	14,58	79,84	7,29	79,84	7,29	79,84
5	50,00	79,84	37,50	79,84	18,75	79,84	18,75	79,84
6	50,00	79,84	37,50	79,84	18,75	79,84	18,75	79,84
7	50,00	79,84	37,50	79,84	18,75	79,84	10,21	79,84
8	119,20	79,84	89,40	79,84	44,70	79,84	44,70	79,84
9	68,00	79,84	51,00	79,84	25,50	79,84	25,50	79,84
10	68,00	79,84	51,00	79,84	25,50	79,84	25,50	79,84
11	68,00	79,84	51,00	79,84	25,50	79,84	25,50	79,84
12	54,40	79,84	40,80	79,84	20,40	79,84	20,40	79,84
13	54,40	79,84	40,80	79,84	20,40	79,84	20,40	79,84
14	54,40	79,84	40,80	79,84	20,40	79,84	20,40	79,84
31	32,00	79,84	24,00	79,84	12,00	79,84	12,00	79,84

Tabela C.2 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 2

Tempo 2								
Unidades	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	73,92	19,05	73,92	9,53	73,92	9,53	73,92
2	25,40	73,92	19,05	73,92	9,53	73,92	9,53	73,92
3	19,12	73,92	14,34	73,92	7,17	73,92	7,17	73,92
4	19,44	73,92	14,58	73,92	7,29	73,92	7,29	73,92
5	50,00	73,92	37,50	73,92	18,75	73,92	18,75	73,92
6	50,00	73,92	37,50	73,92	18,75	73,92	18,75	73,92
7	50,00	73,92	10,05	73,92	0,00	73,92	0,00	73,92
8	119,20	73,92	89,40	73,92	44,70	73,92	44,70	73,92
9	68,00	73,92	51,00	73,92	25,50	73,92	25,50	73,92
10	68,00	73,92	51,00	73,92	25,50	73,92	25,50	73,92
11	68,00	73,92	51,00	73,92	25,50	73,92	25,50	73,92
12	54,40	73,92	40,80	73,92	20,40	73,92	20,40	73,92
13	54,40	73,92	40,80	73,92	20,40	73,92	20,40	73,92
14	54,40	73,92	40,80	73,92	20,40	73,92	20,40	73,92
31	32,00	73,92	24,00	73,92	12,00	73,92	12,00	73,92

Tabela C.3 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 3

Tempo 3								
Unidades	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	72,69	19,05	72,69	9,53	72,69	9,53	72,69
2	25,40	72,69	19,05	72,69	9,53	72,69	9,53	72,69
3	19,12	72,69	5,18	72,69	0,00	72,69	0,00	72,69
4	0,00	72,69	0,00	72,69	0,00	72,69	0,00	72,69
5	50,00	72,69	37,50	72,69	18,75	72,69	18,75	72,69
6	50,00	72,69	37,50	72,69	18,75	72,69	18,75	72,69
7	50,00	72,69	37,50	72,69	18,75	72,69	18,75	72,69
8	119,20	72,69	89,40	72,69	44,70	72,69	44,70	72,69
9	68,00	72,69	51,00	72,69	25,50	72,69	25,50	72,69
10	68,00	72,69	51,00	72,69	25,50	72,69	25,50	72,69
11	68,00	72,69	51,00	72,69	25,50	72,69	25,50	72,69
12	54,40	72,69	40,80	72,69	20,40	72,69	20,40	72,69
13	54,40	72,69	40,80	72,69	20,40	72,69	20,40	72,69
14	54,40	72,69	40,80	72,69	20,40	72,69	20,40	72,69
31	0,00	72,69	0,00	72,69	0,00	72,69	0,00	72,69

Tabela C.4 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 4

Tempo 4								
Unidades	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	72,69	19,05	72,69	9,53	72,69	9,53	72,69
2	25,40	72,69	19,05	72,69	9,53	72,69	9,53	72,69
3	19,12	72,69	14,34	72,69	7,17	72,69	7,17	72,69
4	19,44	72,69	14,58	72,69	7,29	72,69	7,29	72,69
5	50,00	72,69	37,50	72,69	18,75	72,69	18,75	72,69
6	50,00	72,69	37,50	72,69	18,75	72,69	18,75	72,69
7	50,00	72,69	37,50	72,69	18,75	72,69	18,75	72,69
8	119,20	72,69	89,40	72,69	44,70	72,69	44,70	72,69
9	68,00	72,69	51,00	72,69	25,50	72,69	25,50	72,69
10	68,00	72,69	51,00	72,69	25,50	72,69	25,50	72,69
11	68,00	72,69	51,00	72,69	25,50	72,69	25,50	72,69
12	54,40	72,69	40,80	72,69	20,40	72,69	20,40	72,69
13	54,40	72,69	36,49	72,69	0,00	72,69	0,00	72,69
14	0,00	72,69	0,00	72,69	0,00	72,69	0,00	72,69
31	32,00	72,69	24,00	72,69	12,00	72,69	12,00	72,69

Tabela C.5 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 5

Tempo 5								
Unidades	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	73,92	19,05	73,92	9,53	73,92	9,53	73,92
2	25,40	73,92	19,05	73,92	9,53	73,92	9,53	73,92
3	19,12	73,92	14,34	73,92	7,17	73,92	7,17	73,92
4	19,44	73,92	14,58	73,92	7,29	73,92	7,29	73,92
5	50,00	73,92	37,50	73,92	18,75	73,92	18,75	73,92
6	50,00	73,92	37,50	73,92	18,75	73,92	18,75	73,92
7	50,00	73,92	37,50	73,92	18,75	73,92	18,75	73,92
8	119,20	73,92	89,40	73,92	44,70	73,92	44,70	73,92
9	68,00	73,92	51,00	73,92	25,50	73,92	25,50	73,92
10	68,00	73,92	51,00	73,92	25,50	73,92	14,39	73,92
11	0,00	73,92	0,00	73,92	0,00	73,92	0,00	73,92
12	54,40	73,92	40,80	73,92	20,40	73,92	20,40	73,92
13	54,40	73,92	40,80	73,92	20,40	73,92	20,40	73,92
14	54,40	73,92	40,80	73,92	20,40	73,92	20,40	73,92
31	32,00	73,92	24,00	73,92	12,00	73,92	12,00	73,92

Tabela C.6 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 6

Tempo 6								
Unidades	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	82,00	19,05	82,00	9,53	82,00	9,53	82,00
2	25,40	82,00	19,05	82,00	9,53	82,00	9,53	82,00
3	19,12	82,00	14,34	82,00	7,17	82,00	7,17	82,00
4	19,44	82,00	14,58	82,00	7,29	82,00	7,29	82,00
5	50,00	82,00	37,50	82,00	18,75	82,00	18,75	82,00
6	50,00	82,00	37,50	82,00	18,75	82,00	18,75	82,00
7	50,00	82,00	37,50	82,00	18,75	82,00	15,51	82,00
8	119,20	82,00	89,40	82,00	44,70	82,00	44,70	82,00
9	68,00	82,00	51,00	82,00	25,50	82,00	25,50	82,00
10	68,00	82,00	51,00	82,00	25,50	82,00	25,50	82,00
11	68,00	82,00	51,00	82,00	25,50	82,00	25,50	82,00
12	54,40	82,00	40,80	82,00	20,40	82,00	20,40	82,00
13	54,40	82,00	40,80	82,00	20,40	82,00	20,40	82,00
14	54,40	82,00	40,80	82,00	20,40	82,00	20,40	82,00
31	32,00	82,00	24,00	82,00	12,00	82,00	12,00	82,00

Tabela C.7 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 7

Tempo 7								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	85,00	19,05	85,00	9,53	85,00	9,53	85,00
2	25,40	85,00	19,05	85,00	9,53	85,00	9,53	85,00
3	19,12	85,00	14,34	85,00	7,17	85,00	7,17	85,00
4	19,44	85,00	14,58	85,00	7,29	85,00	7,29	85,00
5	50,00	85,00	37,50	85,00	18,75	85,00	18,75	85,00
6	50,00	85,00	37,50	85,00	18,75	85,00	18,75	85,00
7	50,00	85,00	37,50	85,00	18,75	85,00	18,75	85,00
8	119,20	85,00	89,40	85,00	44,70	85,00	44,70	85,00
9	68,00	85,00	51,00	85,00	25,50	85,00	25,50	85,00
10	68,00	85,00	51,00	85,00	25,50	85,00	25,50	85,00
11	68,00	85,00	51,00	85,00	25,50	85,00	25,50	85,00
12	54,40	85,00	40,80	85,00	20,40	85,00	20,40	85,00
13	54,40	85,00	40,80	85,00	20,40	85,00	20,40	85,00
14	54,40	85,00	40,80	85,00	20,40	85,00	20,40	85,00
31	32,00	85,00	24,00	85,00	12,00	85,00	12,00	85,00

Tabela C.8 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 8

Tempo 8								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	88,40	19,05	88,40	9,53	88,40	9,53	88,40
2	25,40	88,40	19,05	88,40	9,53	88,40	9,53	88,40
3	19,12	88,40	14,34	88,40	7,17	88,40	7,17	88,40
4	19,44	88,40	14,58	88,40	7,29	88,40	7,29	88,40
5	50,00	88,40	37,50	88,40	18,75	88,40	18,75	88,40
6	50,00	88,40	37,50	88,40	18,75	88,40	18,75	88,40
7	50,00	88,40	37,50	88,40	18,75	88,40	18,75	88,40
8	119,20	88,40	89,40	88,40	44,70	88,40	44,70	88,40
9	68,00	88,40	51,00	88,40	25,50	88,40	25,50	88,40
10	68,00	88,40	51,00	88,40	25,50	88,40	25,50	88,40
11	68,00	88,40	51,00	88,40	25,50	88,40	25,50	88,40
12	54,40	88,40	40,80	88,40	20,40	88,40	20,40	88,40
13	54,40	88,40	40,80	88,40	20,40	88,40	20,40	88,40
14	54,40	88,40	40,80	88,40	20,40	88,40	20,40	88,40
31	32,00	88,40	24,00	88,40	12,00	88,40	12,00	88,40

Tabela C.9 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 9

Tempo 9								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	90,20	19,05	90,20	9,53	90,20	9,53	90,20
2	25,40	90,20	19,05	90,20	9,53	90,20	9,53	90,20
3	19,12	90,20	14,34	90,20	7,17	90,20	7,17	90,20
4	19,44	90,20	14,58	90,20	7,29	90,20	7,29	90,20
5	50,00	90,20	37,50	90,20	18,75	90,20	18,75	90,20
6	50,00	90,20	37,50	90,20	18,75	90,20	18,75	90,20
7	50,00	90,20	37,50	90,20	18,75	90,20	18,75	90,20
8	119,20	90,20	89,40	90,20	44,70	90,20	44,70	90,20
9	68,00	90,20	51,00	90,20	25,50	90,20	25,50	90,20
10	68,00	90,20	51,00	90,20	25,50	90,20	25,50	90,20
11	68,00	90,20	51,00	90,20	25,50	90,20	25,50	90,20
12	54,40	90,20	40,80	90,20	20,40	90,20	20,40	90,20
13	54,40	90,20	40,80	90,20	20,40	90,20	20,40	90,20
14	54,40	90,20	40,80	90,20	20,40	90,20	20,40	90,20
31	32,00	90,20	24,00	90,20	12,00	90,20	12,00	90,20

Tabela C.10 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 10

Tempo 10								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	105,38	19,05	105,38	9,53	105,38	9,53	105,38
2	25,40	105,38	19,05	105,38	9,53	105,38	9,53	105,38
3	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38
4	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38
5	50,00	105,38	37,50	105,38	18,75	105,38	18,75	105,38
6	50,00	105,38	37,50	105,38	18,75	105,38	18,75	105,38
7	50,00	105,38	37,50	105,38	18,75	105,38	18,75	105,38
8	119,20	105,38	89,40	105,38	44,70	105,38	44,70	105,38
9	68,00	105,38	51,00	105,38	25,50	105,38	25,50	105,38
10	68,00	105,38	51,00	105,38	25,50	105,38	25,50	105,38
11	68,00	105,38	51,00	105,38	25,50	105,38	25,50	105,38
12	54,40	105,38	40,80	105,38	20,40	105,38	20,40	105,38
13	54,40	105,38	40,80	105,38	2,16	105,38	0,00	105,38
14	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38
31	32,00	105,38	24,00	105,38	12,00	105,38	12,00	105,38

Tabela C.11 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 11

Tempo 11								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	90,20	19,05	90,20	9,53	90,20	9,53	90,20
2	25,40	90,20	19,05	90,20	9,53	90,20	9,53	90,20
3	19,12	90,20	14,34	90,20	7,17	90,20	7,17	90,20
4	19,44	90,20	14,58	90,20	7,29	90,20	7,29	90,20
5	50,00	90,20	37,50	90,20	18,75	90,20	18,75	90,20
6	50,00	90,20	37,50	90,20	18,75	90,20	18,75	90,20
7	50,00	90,20	37,50	90,20	18,75	90,20	18,75	90,20
8	119,20	90,20	89,40	90,20	44,70	90,20	44,70	90,20
9	68,00	90,20	51,00	90,20	25,50	90,20	25,50	90,20
10	68,00	90,20	51,00	90,20	25,50	90,20	25,50	90,20
11	68,00	90,20	51,00	90,20	25,50	90,20	25,50	90,20
12	54,40	90,20	40,80	90,20	20,40	90,20	20,40	90,20
13	54,40	90,20	40,80	90,20	20,40	90,20	20,40	90,20
14	54,40	90,20	40,80	90,20	20,40	90,20	20,40	90,20
31	32,00	90,20	24,00	90,20	12,00	90,20	12,00	90,20

Tabela C.12 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 12

Tempo 12								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	90,20	19,05	90,20	9,53	90,20	9,53	90,20
2	25,40	90,20	19,05	90,20	9,53	90,20	9,53	90,20
3	19,12	90,20	14,34	90,20	7,17	90,20	7,17	90,20
4	19,44	90,20	14,58	90,20	7,29	90,20	7,29	90,20
5	50,00	90,20	37,50	90,20	18,75	90,20	18,75	90,20
6	50,00	90,20	37,50	90,20	18,75	90,20	18,75	90,20
7	50,00	90,20	37,50	90,20	18,75	90,20	18,75	90,20
8	119,20	90,20	89,40	90,20	44,70	90,20	44,70	90,20
9	68,00	90,20	51,00	90,20	25,50	90,20	25,50	90,20
10	68,00	90,20	51,00	90,20	25,50	90,20	25,50	90,20
11	68,00	90,20	51,00	90,20	25,50	90,20	25,50	90,20
12	54,40	90,20	40,80	90,20	20,40	90,20	20,40	90,20
13	54,40	90,20	40,80	90,20	20,40	90,20	20,40	90,20
14	54,40	90,20	40,80	90,20	20,40	90,20	20,40	90,20
31	32,00	90,20	24,00	90,20	12,00	90,20	12,00	90,20

Tabela C.13 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 13

Tempo 13								
Unidades	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	90,20	19,05	90,20	9,53	90,20	9,53	90,20
2	25,40	90,20	19,05	90,20	9,53	90,20	9,53	90,20
3	19,12	90,20	14,34	90,20	7,17	90,20	7,17	90,20
4	19,44	90,20	14,58	90,20	7,29	90,20	7,29	90,20
5	50,00	90,20	37,50	90,20	18,75	90,20	18,75	90,20
6	50,00	90,20	37,50	90,20	18,75	90,20	18,75	90,20
7	50,00	90,20	37,50	90,20	18,75	90,20	18,75	90,20
8	119,20	90,20	89,40	90,20	44,70	90,20	44,70	90,20
9	68,00	90,20	51,00	90,20	25,50	90,20	25,50	90,20
10	68,00	90,20	51,00	90,20	25,50	90,20	25,50	90,20
11	68,00	90,20	51,00	90,20	25,50	90,20	25,50	90,20
12	54,40	90,20	40,80	90,20	20,40	90,20	20,40	90,20
13	54,40	90,20	40,80	90,20	20,40	90,20	20,40	90,20
14	54,40	90,20	40,80	90,20	20,40	90,20	20,40	90,20
31	32,00	90,20	24,00	90,20	12,00	90,20	12,00	90,20

Tabela C.14 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 14

Tempo 14								
Unidades	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	90,20	19,05	90,20	9,53	90,20	9,53	90,20
2	25,40	90,20	19,05	90,20	9,53	90,20	9,53	90,20
3	19,12	90,20	14,34	90,20	7,17	90,20	7,17	90,20
4	19,44	90,20	14,58	90,20	7,29	90,20	7,29	90,20
5	50,00	90,20	37,50	90,20	18,75	90,20	18,75	90,20
6	50,00	90,20	37,50	90,20	18,75	90,20	18,75	90,20
7	50,00	90,20	37,50	90,20	18,75	90,20	18,75	90,20
8	119,20	90,20	89,40	90,20	44,70	90,20	44,70	90,20
9	68,00	90,20	51,00	90,20	25,50	90,20	25,50	90,20
10	68,00	90,20	51,00	90,20	25,50	90,20	25,50	90,20
11	68,00	90,20	51,00	90,20	25,50	90,20	25,50	90,20
12	54,40	90,20	40,80	90,20	20,40	90,20	20,40	90,20
13	54,40	90,20	40,80	90,20	20,40	90,20	20,40	90,20
14	54,40	90,20	40,80	90,20	20,40	90,20	20,40	90,20
31	32,00	90,20	24,00	90,20	12,00	90,20	12,00	90,20

Tabela C.15 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 15

Tempo 15								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	90,00	19,05	90,00	9,53	90,00	9,53	90,00
2	25,40	90,00	19,05	90,00	9,53	90,00	9,53	90,00
3	19,12	90,00	14,34	90,00	7,17	90,00	7,17	90,00
4	19,44	90,00	14,58	90,00	7,29	90,00	7,29	90,00
5	50,00	90,00	37,50	90,00	18,75	90,00	18,75	90,00
6	50,00	90,00	37,50	90,00	18,75	90,00	18,75	90,00
7	50,00	90,00	37,50	90,00	18,75	90,00	18,75	90,00
8	119,20	90,00	89,40	90,00	44,70	90,00	44,70	90,00
9	68,00	90,00	51,00	90,00	25,50	90,00	25,50	90,00
10	68,00	90,00	51,00	90,00	25,50	90,00	25,50	90,00
11	68,00	90,00	51,00	90,00	25,50	90,00	25,50	90,00
12	54,40	90,00	40,80	90,00	20,40	90,00	20,40	90,00
13	54,40	90,00	40,80	90,00	20,40	90,00	20,40	90,00
14	54,40	90,00	40,80	90,00	20,40	90,00	20,40	90,00
31	32,00	90,00	24,00	90,00	12,00	90,00	12,00	90,00

Tabela C.16 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 16

Tempo 16								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	90,00	19,05	90,00	9,53	90,00	9,53	90,00
2	25,40	90,00	19,05	90,00	9,53	90,00	9,53	90,00
3	19,12	90,00	14,34	90,00	7,17	90,00	7,17	90,00
4	19,44	90,00	14,58	90,00	7,29	90,00	7,29	90,00
5	50,00	90,00	37,50	90,00	18,75	90,00	18,75	90,00
6	50,00	90,00	37,50	90,00	18,75	90,00	18,75	90,00
7	50,00	90,00	37,50	90,00	18,75	90,00	18,75	90,00
8	119,20	90,00	89,40	90,00	44,70	90,00	44,70	90,00
9	68,00	90,00	51,00	90,00	25,50	90,00	25,50	90,00
10	68,00	90,00	51,00	90,00	25,50	90,00	25,50	90,00
11	68,00	90,00	51,00	90,00	25,50	90,00	25,50	90,00
12	54,40	90,00	40,80	90,00	20,40	90,00	20,40	90,00
13	54,40	90,00	40,80	90,00	20,40	90,00	20,40	90,00
14	54,40	90,00	40,80	90,00	20,40	90,00	20,40	90,00
31	32,00	90,00	24,00	90,00	12,00	90,00	12,00	90,00

Tabela C.17 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 17

Tempo 17								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	109,76	19,05	109,76	9,53	109,76	9,53	109,76
2	25,40	109,76	19,05	109,76	9,53	109,76	9,53	109,76
3	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76
4	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76
5	50,00	109,76	37,50	109,76	18,75	109,76	18,75	109,76
6	50,00	109,76	37,50	109,76	18,75	109,76	18,75	109,76
7	50,00	109,76	37,50	109,76	18,75	109,76	18,75	109,76
8	119,20	109,76	89,40	109,76	44,70	109,76	44,70	109,76
9	68,00	109,76	51,00	109,76	25,50	109,76	25,50	109,76
10	68,00	109,76	51,00	109,76	25,50	109,76	25,50	109,76
11	68,00	109,76	51,00	109,76	25,50	109,76	25,50	109,76
12	54,40	109,76	40,80	109,76	20,40	109,76	20,40	109,76
13	54,40	109,76	40,80	109,76	20,40	109,76	20,40	109,76
14	54,40	109,76	2,35	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76
31	32,00	109,76	24,00	109,76	12,00	109,76	12,00	109,76

Tabela C.18 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 18

Tempo 18								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	109,76	19,05	109,76	9,53	109,76	9,53	109,76
2	25,40	109,76	19,05	109,76	9,53	109,76	9,53	109,76
3	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76
4	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76
5	50,00	109,76	37,50	109,76	18,75	109,76	18,75	109,76
6	50,00	109,76	37,50	109,76	18,75	109,76	18,75	109,76
7	50,00	109,76	37,50	109,76	18,75	109,76	18,75	109,76
8	119,20	109,76	89,40	109,76	44,70	109,76	44,70	109,76
9	68,00	109,76	51,00	109,76	25,50	109,76	25,50	109,76
10	68,00	109,76	51,00	109,76	25,50	109,76	25,50	109,76
11	68,00	109,76	51,00	109,76	25,50	109,76	25,50	109,76
12	54,40	109,76	40,80	109,76	20,40	109,76	20,40	109,76
13	54,40	109,76	40,80	109,76	20,40	109,76	20,40	109,76
14	54,40	109,76	34,21	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76
31	32,00	109,76	24,00	109,76	12,00	109,76	12,00	109,76

Tabela C.19 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 19

Tempo 19								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	109,76	19,05	109,76	9,53	109,76	9,53	109,76
2	25,40	109,76	19,05	109,76	9,53	109,76	9,53	109,76
3	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76
4	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76
5	50,00	109,76	37,50	109,76	18,75	109,76	18,75	109,76
6	50,00	109,76	37,50	109,76	18,75	109,76	18,75	109,76
7	50,00	109,76	37,50	109,76	18,75	109,76	18,75	109,76
8	119,20	109,76	89,40	109,76	44,70	109,76	44,70	109,76
9	68,00	109,76	51,00	109,76	25,50	109,76	25,50	109,76
10	68,00	109,76	51,00	109,76	25,50	109,76	25,50	109,76
11	68,00	109,76	51,00	109,76	25,50	109,76	25,50	109,76
12	54,40	109,76	40,80	109,76	20,40	109,76	20,40	109,76
13	54,40	109,76	40,80	109,76	20,40	109,76	20,40	109,76
14	54,40	109,76	34,21	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76
31	32,00	109,76	24,00	109,76	12,00	109,76	12,00	109,76

Tabela C.20 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 20

Tempo 20								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	105,38	19,05	105,38	9,53	105,38	9,53	105,38
2	25,40	105,38	19,05	105,38	9,53	105,38	9,53	105,38
3	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38
4	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38
5	50,00	105,38	37,50	105,38	18,75	105,38	18,75	105,38
6	50,00	105,38	37,50	105,38	18,75	105,38	18,75	105,38
7	50,00	105,38	37,50	105,38	18,75	105,38	18,75	105,38
8	119,20	105,38	89,40	105,38	44,70	105,38	44,70	105,38
9	68,00	105,38	51,00	105,38	25,50	105,38	25,50	105,38
10	68,00	105,38	51,00	105,38	25,50	105,38	25,50	105,38
11	68,00	105,38	51,00	105,38	25,50	105,38	25,50	105,38
12	54,40	105,38	40,80	105,38	20,40	105,38	20,40	105,38
13	54,40	105,38	40,80	105,38	2,16	105,38	0,00	105,38
14	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38
31	32,00	105,38	24,00	105,38	12,00	105,38	12,00	105,38

Tabela C.21 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 21

Tempo 21								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	90,00	19,05	90,00	9,53	90,00	9,53	90,00
2	25,40	90,00	19,05	90,00	9,53	90,00	9,53	90,00
3	19,12	90,00	14,34	90,00	7,17	90,00	7,17	90,00
4	19,44	90,00	14,16	90,00	0,00	90,00	0,00	90,00
5	50,00	90,00	37,50	90,00	18,75	90,00	18,75	90,00
6	50,00	90,00	37,50	90,00	18,75	90,00	18,75	90,00
7	50,00	90,00	37,50	90,00	18,75	90,00	18,75	90,00
8	119,20	90,00	89,40	90,00	44,70	90,00	44,70	90,00
9	68,00	90,00	51,00	90,00	25,50	90,00	25,50	90,00
10	68,00	90,00	51,00	90,00	25,50	90,00	25,50	90,00
11	68,00	90,00	51,00	90,00	25,50	90,00	25,50	90,00
12	54,40	90,00	40,80	90,00	20,40	90,00	20,40	90,00
13	54,40	90,00	40,80	90,00	20,40	90,00	20,40	90,00
14	54,40	90,00	40,80	90,00	20,40	90,00	20,40	90,00
31	32,00	90,00	24,00	90,00	12,00	90,00	12,00	90,00

Tabela C.22 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 22

Tempo 22								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	88,40	19,05	88,40	9,53	88,40	9,53	88,40
2	25,40	88,40	19,05	88,40	9,53	88,40	9,53	88,40
3	19,12	88,40	14,34	88,40	7,17	88,40	7,17	88,40
4	19,44	88,40	14,58	88,40	7,29	88,40	2,99	88,40
5	50,00	88,40	37,50	88,40	18,75	88,40	18,75	88,40
6	50,00	88,40	37,50	88,40	18,75	88,40	18,75	88,40
7	50,00	88,40	37,50	88,40	18,75	88,40	18,75	88,40
8	119,20	88,40	89,40	88,40	44,70	88,40	44,70	88,40
9	68,00	88,40	51,00	88,40	25,50	88,40	25,50	88,40
10	68,00	88,40	51,00	88,40	25,50	88,40	25,50	88,40
11	68,00	88,40	51,00	88,40	25,50	88,40	25,50	88,40
12	54,40	88,40	40,80	88,40	20,40	88,40	20,40	88,40
13	54,40	88,40	40,80	88,40	20,40	88,40	20,40	88,40
14	54,40	88,40	40,80	88,40	20,40	88,40	20,40	88,40
31	32,00	88,40	24,00	88,40	12,00	88,40	12,00	88,40

Tabela C.23 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 23

Tempo 23								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	85,00	19,05	85,00	9,53	85,00	9,53	85,00
2	25,40	85,00	19,05	85,00	9,53	85,00	9,53	85,00
3	19,12	85,00	14,34	85,00	5,34	85,00	0,00	85,00
4	0,00	85,00	0,00	85,00	0,00	85,00	0,00	85,00
5	50,00	85,00	37,50	85,00	18,75	85,00	18,75	85,00
6	50,00	85,00	37,50	85,00	18,75	85,00	18,75	85,00
7	50,00	85,00	37,50	85,00	18,75	85,00	18,75	85,00
8	119,20	85,00	89,40	85,00	44,70	85,00	44,70	85,00
9	68,00	85,00	51,00	85,00	25,50	85,00	25,50	85,00
10	68,00	85,00	51,00	85,00	25,50	85,00	25,50	85,00
11	68,00	85,00	51,00	85,00	25,50	85,00	25,50	85,00
12	54,40	85,00	40,80	85,00	20,40	85,00	20,40	85,00
13	54,40	85,00	40,80	85,00	20,40	85,00	20,40	85,00
14	54,40	85,00	40,80	85,00	20,40	85,00	20,40	85,00
31	32,00	85,00	24,00	85,00	12,00	85,00	12,00	85,00

Tabela C.24 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 24

Tempo 24								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	77,62	19,05	77,62	9,53	77,62	9,53	77,62
2	25,40	77,62	19,05	77,62	9,53	77,62	9,53	77,62
3	19,12	77,62	14,34	77,62	7,17	77,62	7,17	77,62
4	19,44	77,62	14,58	77,62	7,29	77,62	7,29	77,62
5	50,00	77,62	37,50	77,62	18,75	77,62	18,75	77,62
6	50,00	77,62	37,50	77,62	18,75	77,62	18,75	77,62
7	50,00	77,62	10,05	77,62	0,00	77,62	0,00	77,62
8	119,20	77,62	89,40	77,62	44,70	77,62	44,70	77,62
9	68,00	77,62	51,00	77,62	25,50	77,62	25,50	77,62
10	68,00	77,62	51,00	77,62	25,50	77,62	25,50	77,62
11	68,00	77,62	51,00	77,62	25,50	77,62	25,50	77,62
12	54,40	77,62	40,80	77,62	20,40	77,62	20,40	77,62
13	54,40	77,62	40,80	77,62	20,40	77,62	20,40	77,62
14	54,40	77,62	40,80	77,62	20,40	77,62	20,40	77,62
31	32,00	77,62	24,00	77,62	12,00	77,62	12,00	77,62

C.2 Caso 2 - Transmissão Congestionada para Sistema Termelétrico

As Tabelas de C.25 — C.48 descrevem as quantidades e os preços que devam ser ofertados pela companhia *price-maker* ao final da resolução do cálculo das ofertas

estratégicas.

Tabela C.25 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 1

Tempo 1								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	82,09	19,05	82,09	9,53	82,09	9,53	82,09
2	25,40	82,09	19,05	82,09	9,53	82,09	9,53	82,09
3	19,12	82,45	14,34	82,45	7,17	82,45	7,17	82,45
4	19,44	82,45	14,58	82,45	7,29	82,45	7,29	82,45
5	50,00	81,97	37,50	81,97	18,75	81,97	18,75	81,97
6	50,00	81,97	37,50	81,97	18,75	81,97	18,75	81,97
7	50,00	81,97	37,50	81,97	18,75	81,97	18,75	81,97
8	119,20	80,57	89,40	80,57	44,70	80,57	44,70	80,57
9	68,00	80,64	51,00	80,64	25,50	80,64	25,50	80,64
10	68,00	80,64	51,00	80,64	25,50	80,64	25,50	80,64
11	68,00	80,64	51,00	80,64	25,50	80,64	25,50	80,64
12	54,40	80,26	40,80	80,26	20,40	80,26	20,40	80,26
13	29,62	80,26	0,00	80,26	0,00	80,26	0,00	80,26
14	0,00	80,26	0,00	80,26	0,00	80,26	0,00	80,26
31	32,00	82,08	24,00	82,08	12,00	82,08	12,00	82,08

Tabela C.26 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 2

Tempo 2								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	80,33	19,05	80,33	9,53	80,33	9,53	80,33
2	25,40	80,33	19,05	80,33	9,53	80,33	9,53	80,33
3	19,12	81,23	14,34	81,23	7,17	81,23	7,17	81,23
4	19,44	81,23	14,58	81,23	7,29	81,23	2,81	81,23
5	50,00	80,04	37,50	80,04	18,75	80,04	18,75	80,04
6	50,00	80,04	37,50	80,04	18,75	80,04	18,75	80,04
7	50,00	80,04	37,50	80,04	18,75	80,04	18,75	80,04
8	119,20	76,63	89,40	76,63	44,70	76,63	44,70	76,63
9	68,00	76,63	51,00	76,63	25,50	76,63	25,50	76,63
10	68,00	76,63	51,00	76,63	25,50	76,63	25,50	76,63
11	68,00	76,63	51,00	76,63	25,50	76,63	25,50	76,63
12	54,40	75,88	40,80	75,88	20,40	75,88	20,40	75,88
13	22,48	75,88	0,00	75,88	0,00	75,88	0,00	75,88
14	0,00	75,88	0,00	75,88	0,00	75,88	0,00	75,88
31	32,00	80,32	24,00	80,32	12,00	80,32	12,00	80,32

Tabela C.27 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 3

Tempo 3								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	75,90	19,05	75,90	9,53	75,90	9,53	75,90
2	25,40	75,90	19,05	75,90	9,53	75,90	9,53	75,90
3	19,12	76,00	14,34	76,00	7,17	76,00	7,17	76,00
4	19,44	76,00	14,58	76,00	7,29	76,00	2,81	76,00
5	50,00	75,87	37,50	75,87	18,75	75,87	18,75	75,87
6	50,00	75,87	37,50	75,87	18,75	75,87	18,75	75,87
7	50,00	75,87	37,50	75,87	18,75	75,87	18,75	75,87
8	119,20	75,50	89,40	75,50	44,70	75,50	44,70	75,50
9	68,00	75,52	51,00	75,52	25,50	75,52	25,50	75,52
10	68,00	75,52	51,00	75,52	25,50	75,52	25,50	75,52
11	68,00	75,52	51,00	75,52	25,50	75,52	25,50	75,52
12	54,40	75,42	40,80	75,42	20,40	75,42	20,40	75,42
13	12,54	75,42	0,00	75,42	0,00	75,42	0,00	75,42
14	0,00	75,42	0,00	75,42	0,00	75,42	0,00	75,42
31	32,00	75,90	24,00	75,90	12,00	75,90	12,00	75,90

Tabela C.28 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 4

Tempo 4								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	75,52	19,05	75,52	9,53	75,52	9,53	75,52
2	25,40	75,52	19,05	75,52	9,53	75,52	9,53	75,52
3	19,12	75,52	14,34	75,52	7,17	75,52	7,17	75,52
4	19,44	75,52	14,58	75,52	7,29	75,52	7,29	75,52
5	50,00	75,52	37,50	75,52	18,75	75,52	18,75	75,52
6	50,00	75,52	37,50	75,52	18,75	75,52	18,75	75,52
7	50,00	75,52	37,50	75,52	18,75	75,52	18,75	75,52
8	119,20	75,52	89,40	75,52	44,70	75,52	44,70	75,52
9	68,00	75,52	51,00	75,52	25,50	75,52	25,50	75,52
10	68,00	75,52	51,00	75,52	25,50	75,52	25,50	75,52
11	68,00	75,52	51,00	75,52	25,50	75,52	25,50	75,52
12	54,40	75,52	40,80	75,52	20,40	75,52	20,40	75,52
13	10,53	75,52	0,00	75,52	0,00	75,52	0,00	75,52
14	0,00	75,52	0,00	75,52	0,00	75,52	0,00	75,52
31	32,00	75,52	24,00	75,52	12,00	75,52	12,00	75,52

Tabela C.29 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 5

Tempo 5								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	76,80	19,05	76,80	9,53	76,80	9,53	76,80
2	25,40	76,80	19,05	76,80	9,53	76,80	9,53	76,80
3	19,12	76,80	14,34	76,80	7,17	76,80	7,17	76,80
4	19,44	76,80	14,58	76,80	7,29	76,80	7,29	76,80
5	50,00	76,80	37,50	76,80	18,75	76,80	18,75	76,80
6	50,00	76,80	37,50	76,80	18,75	76,80	18,75	76,80
7	50,00	76,80	37,50	76,80	18,75	76,80	18,75	76,80
8	119,20	76,80	89,40	76,80	44,70	76,80	44,70	76,80
9	68,00	76,80	51,00	76,80	25,50	76,80	25,50	76,80
10	68,00	76,80	51,00	76,80	25,50	76,80	25,50	76,80
11	68,00	76,80	51,00	76,80	25,50	76,80	25,50	76,80
12	54,40	76,80	40,80	76,80	20,40	76,80	20,40	76,80
13	10,53	76,80	0,00	76,80	0,00	76,80	0,00	76,80
14	0,00	76,80	0,00	76,80	0,00	76,80	0,00	76,80
31	32,00	76,80	24,00	76,80	12,00	76,80	12,00	76,80

Tabela C.30 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 6

Tempo 6								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	82,57	19,05	82,57	9,53	82,57	9,53	82,57
2	25,40	82,57	19,05	82,57	9,53	82,57	9,53	82,57
3	19,12	85,00	14,34	85,00	7,17	85,00	7,17	85,00
4	19,44	85,00	14,58	85,00	7,29	85,00	7,29	85,00
5	50,00	81,77	37,50	81,77	18,75	81,77	18,75	81,77
6	50,00	81,77	37,50	81,77	18,75	81,77	18,75	81,77
7	50,00	81,77	37,50	81,77	18,75	81,77	18,75	81,77
8	119,20	72,56	89,40	72,56	44,70	72,56	44,70	72,56
9	68,00	73,01	51,00	73,01	25,50	73,01	25,50	73,01
10	68,00	73,01	51,00	73,01	25,50	73,01	25,50	73,01
11	68,00	73,01	51,00	73,01	25,50	73,01	25,50	73,01
12	54,40	70,52	40,80	70,52	20,40	70,52	20,40	70,52
13	54,40	70,52	25,18	70,52	0,00	70,52	0,00	70,52
14	0,00	70,52	0,00	70,52	0,00	70,52	0,00	70,52
31	32,00	82,54	24,00	82,54	12,00	82,54	12,00	82,54

Tabela C.31 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 7

Tempo 7								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	85,28	19,05	85,28	9,53	85,28	9,53	85,28
2	25,40	85,28	19,05	85,28	9,53	85,28	9,53	85,28
3	19,12	85,28	14,34	85,28	7,17	85,28	7,17	85,28
4	19,44	85,28	14,58	85,28	7,29	85,28	7,29	85,28
5	50,00	85,28	37,50	85,28	18,75	85,28	18,75	85,28
6	50,00	85,28	37,50	85,28	18,75	85,28	18,75	85,28
7	50,00	85,28	37,50	85,28	18,75	85,28	18,75	85,28
8	119,20	85,28	89,40	85,28	44,70	85,28	44,70	85,28
9	68,00	85,28	51,00	85,28	25,50	85,28	25,50	85,28
10	68,00	85,28	51,00	85,28	25,50	85,28	25,50	85,28
11	68,00	85,28	51,00	85,28	25,50	85,28	25,50	85,28
12	54,40	85,28	40,80	85,28	20,40	85,28	20,40	85,28
13	54,40	85,28	40,80	85,28	10,91	85,28	0,00	85,28
14	0,00	85,28	0,00	85,28	0,00	85,28	0,00	85,28
31	32,00	85,28	24,00	85,28	12,00	85,28	12,00	85,28

Tabela C.32 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 8

Tempo 8								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	88,56	19,05	88,56	9,53	88,56	9,53	88,56
2	25,40	88,56	19,05	88,56	9,53	88,56	9,53	88,56
3	19,12	88,56	14,34	88,56	7,17	88,56	7,17	88,56
4	19,44	88,56	14,58	88,56	7,29	88,56	7,29	88,56
5	50,00	88,56	37,50	88,56	18,75	88,56	18,75	88,56
6	50,00	88,56	37,50	88,56	18,75	88,56	18,75	88,56
7	50,00	88,56	37,50	88,56	18,75	88,56	18,75	88,56
8	119,20	88,56	89,40	88,56	44,70	88,56	44,70	88,56
9	68,00	88,56	51,00	88,56	25,50	88,56	25,50	88,56
10	68,00	88,56	51,00	88,56	25,50	88,56	25,50	88,56
11	68,00	88,56	51,00	88,56	25,50	88,56	25,50	88,56
12	54,40	88,56	40,80	88,56	20,40	88,56	20,40	88,56
13	54,40	88,56	40,80	88,56	20,40	88,56	20,40	88,56
14	26,78	88,56	0,00	88,56	0,00	88,56	0,00	88,56
31	32,00	88,56	24,00	88,56	12,00	88,56	12,00	88,56

Tabela C.33 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 9

Tempo 9								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	105,38	19,05	105,38	9,53	105,38	9,53	105,38
2	25,40	105,38	19,05	105,38	9,53	105,38	9,53	105,38
3	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38
4	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38
5	50,00	105,38	37,50	105,38	18,75	105,38	18,75	105,38
6	50,00	105,38	37,50	105,38	18,75	105,38	18,75	105,38
7	5,71	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38
8	119,20	105,38	89,40	105,38	44,70	105,38	44,70	105,38
9	68,00	105,38	51,00	105,38	25,50	105,38	25,50	105,38
10	68,00	105,38	51,00	105,38	25,50	105,38	25,50	105,38
11	68,00	105,38	51,00	105,38	25,50	105,38	25,50	105,38
12	54,40	105,38	40,80	105,38	20,40	105,38	20,40	105,38
13	54,40	105,38	40,80	105,38	20,40	105,38	20,40	105,38
14	48,82	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38
31	32,00	105,38	24,00	105,38	12,00	105,38	12,00	105,38

Tabela C.34 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 10

Tempo 10								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	105,38	19,05	105,38	9,53	105,38	9,53	105,38
2	25,40	105,38	19,05	105,38	9,53	105,38	9,53	105,38
3	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38
4	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38
5	50,00	105,38	37,50	105,38	18,75	105,38	18,75	105,38
6	50,00	105,38	37,50	105,38	18,75	105,38	18,75	105,38
7	36,62	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38
8	119,20	105,38	89,40	105,38	44,70	105,38	44,70	105,38
9	68,00	105,38	51,00	105,38	25,50	105,38	25,50	105,38
10	68,00	105,38	51,00	105,38	25,50	105,38	25,50	105,38
11	68,00	105,38	51,00	105,38	25,50	105,38	25,50	105,38
12	54,40	105,38	40,80	105,38	20,40	105,38	20,40	105,38
13	54,40	105,38	40,80	105,38	20,40	105,38	20,40	105,38
14	49,74	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38
31	32,00	105,38	24,00	105,38	12,00	105,38	12,00	105,38

Tabela C.35 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 11

Tempo 11								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	104,27	19,05	104,27	9,53	104,27	9,53	104,27
2	25,40	104,27	19,05	104,27	9,53	104,27	9,53	104,27
3	0,00	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27
4	0,00	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27
5	50,00	104,27	37,50	104,27	18,75	104,27	18,75	104,27
6	50,00	104,27	37,50	104,27	18,75	104,27	18,75	104,27
7	36,62	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27
8	119,20	104,27	89,40	104,27	44,70	104,27	44,70	104,27
9	68,00	104,27	51,00	104,27	25,50	104,27	25,50	104,27
10	68,00	104,27	51,00	104,27	25,50	104,27	25,50	104,27
11	68,00	104,27	51,00	104,27	25,50	104,27	25,50	104,27
12	54,40	104,27	40,80	104,27	20,40	104,27	20,40	104,27
13	54,40	104,27	40,80	104,27	20,40	104,27	20,40	104,27
14	49,74	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27
31	32,00	104,27	24,00	104,27	12,00	104,27	12,00	104,27

Tabela C.36 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 12

Tempo 12								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	104,27	19,05	104,27	9,53	104,27	9,53	104,27
2	25,40	104,27	19,05	104,27	9,53	104,27	9,53	104,27
3	0,00	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27
4	0,00	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27
5	50,00	104,27	37,50	104,27	18,75	104,27	18,75	104,27
6	50,00	104,27	37,50	104,27	18,75	104,27	18,75	104,27
7	5,71	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27
8	119,20	104,27	89,40	104,27	44,70	104,27	44,70	104,27
9	68,00	104,27	51,00	104,27	25,50	104,27	25,50	104,27
10	68,00	104,27	51,00	104,27	25,50	104,27	25,50	104,27
11	68,00	104,27	51,00	104,27	25,50	104,27	25,50	104,27
12	54,40	104,27	40,80	104,27	20,40	104,27	20,40	104,27
13	54,40	104,27	40,80	104,27	20,40	104,27	20,40	104,27
14	48,82	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27
31	32,00	104,27	24,00	104,27	12,00	104,27	12,00	104,27

Tabela C.37 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 13

Tempo 13								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	104,27	19,05	104,27	9,53	104,27	9,53	104,27
2	25,40	104,27	19,05	104,27	9,53	104,27	9,53	104,27
3	0,00	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27
4	0,00	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27
5	50,00	104,27	37,50	104,27	18,75	104,27	18,75	104,27
6	50,00	104,27	37,50	104,27	18,75	104,27	18,75	104,27
7	5,71	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27
8	119,20	104,27	89,40	104,27	44,70	104,27	44,70	104,27
9	68,00	104,27	51,00	104,27	25,50	104,27	25,50	104,27
10	68,00	104,27	51,00	104,27	25,50	104,27	25,50	104,27
11	68,00	104,27	51,00	104,27	25,50	104,27	25,50	104,27
12	54,40	104,27	40,80	104,27	20,40	104,27	20,40	104,27
13	54,40	104,27	40,80	104,27	20,40	104,27	20,40	104,27
14	48,82	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27
31	32,00	104,27	24,00	104,27	12,00	104,27	12,00	104,27

Tabela C.38 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 14

Tempo 14								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	91,80	19,05	91,80	9,53	91,80	9,53	91,80
2	25,40	91,80	19,05	91,80	9,53	91,80	9,53	91,80
3	19,12	91,80	14,34	91,80	7,17	91,80	7,17	91,80
4	19,44	91,80	14,58	91,80	7,29	91,80	7,29	91,80
5	50,00	91,80	37,50	91,80	18,75	91,80	18,75	91,80
6	50,00	91,80	37,50	91,80	18,75	91,80	18,75	91,80
7	5,71	91,80	0,00	91,80	0,00	91,80	0,00	91,80
8	119,20	91,80	89,40	91,80	44,70	91,80	44,70	91,80
9	68,00	91,80	51,00	91,80	25,50	91,80	25,50	91,80
10	68,00	91,80	51,00	91,80	25,50	91,80	25,50	91,80
11	68,00	91,80	51,00	91,80	25,50	91,80	25,50	91,80
12	54,40	91,80	40,80	91,80	20,40	91,80	20,40	91,80
13	54,40	91,80	40,80	91,80	20,40	91,80	20,40	91,80
14	44,29	91,80	0,00	91,80	0,00	91,80	0,00	91,80
31	32,00	91,80	24,00	91,80	12,00	91,80	12,00	91,80

Tabela C.39 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 15

Tempo 15								
Unidades	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	91,80	19,05	91,80	9,53	91,80	9,53	91,80
2	25,40	91,80	19,05	91,80	9,53	91,80	9,53	91,80
3	19,12	91,80	14,34	91,80	7,17	91,80	7,17	91,80
4	19,44	91,80	6,13	91,80	0,00	91,80	0,00	91,80
5	50,00	91,80	37,50	91,80	18,75	91,80	18,75	91,80
6	50,00	91,80	37,50	91,80	18,75	91,80	18,75	91,80
7	50,00	91,80	37,50	91,80	18,75	91,80	18,75	91,80
8	119,20	91,80	89,40	91,80	44,70	91,80	44,70	91,80
9	68,00	91,80	51,00	91,80	25,50	91,80	25,50	91,80
10	68,00	91,80	51,00	91,80	25,50	91,80	25,50	91,80
11	68,00	91,80	51,00	91,80	25,50	91,80	25,50	91,80
12	54,40	91,80	40,80	91,80	20,40	91,80	20,40	91,80
13	54,40	91,80	40,80	91,80	20,40	91,80	20,40	91,80
14	28,67	91,80	0,00	91,80	0,00	91,80	0,00	91,80
31	32,00	91,80	24,00	91,80	12,00	91,80	12,00	91,80

Tabela C.40 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 16

Tempo 16								
Unidades	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	108,66	19,05	108,66	9,53	108,66	9,53	108,66
2	25,40	108,66	19,05	108,66	9,53	108,66	9,53	108,66
3	0,00	108,66	0,00	108,66	0,00	108,66	0,00	108,66
4	0,00	108,66	0,00	108,66	0,00	108,66	0,00	108,66
5	50,00	108,66	37,50	108,66	18,75	108,66	18,75	108,66
6	50,00	108,66	18,96	108,66	0,00	108,66	0,00	108,66
7	0,00	108,66	0,00	108,66	0,00	108,66	0,00	108,66
8	119,20	108,66	89,40	108,66	44,70	108,66	44,70	108,66
9	68,00	108,66	51,00	108,66	25,50	108,66	25,50	108,66
10	68,00	108,66	51,00	108,66	25,50	108,66	25,50	108,66
11	68,00	108,66	51,00	108,66	25,50	108,66	25,50	108,66
12	54,40	108,66	40,80	108,66	20,40	108,66	20,40	108,66
13	54,40	108,66	40,80	108,66	20,40	108,66	20,40	108,66
14	46,98	108,66	0,00	108,66	0,00	108,66	0,00	108,66
31	32,00	108,66	24,00	108,66	12,00	108,66	12,00	108,66

Tabela C.41 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 17

Tempo 17								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	109,76	19,05	109,76	9,53	109,76	9,53	109,76
2	25,40	109,76	19,05	109,76	9,53	109,76	9,53	109,76
3	3,31	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76
4	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76
5	50,00	109,76	37,50	109,76	18,75	109,76	18,75	109,76
6	50,00	109,76	37,50	109,76	18,75	109,76	18,75	109,76
7	50,00	109,76	37,50	109,76	18,75	109,76	18,75	109,76
8	119,20	109,76	89,40	109,76	44,70	109,76	44,70	109,76
9	68,00	109,76	51,00	109,76	25,50	109,76	25,50	109,76
10	68,00	109,76	51,00	109,76	25,50	109,76	25,50	109,76
11	68,00	109,76	51,00	109,76	25,50	109,76	25,50	109,76
12	54,40	109,76	40,80	109,76	20,40	109,76	20,40	109,76
13	54,40	109,76	40,80	109,76	20,40	109,76	20,40	109,76
14	53,45	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76
31	32,00	109,76	24,00	109,76	12,00	109,76	12,00	109,76

Tabela C.42 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 18

Tempo 18								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	109,76	19,05	109,76	9,53	109,76	9,53	109,76
2	25,40	109,76	19,05	109,76	9,53	109,76	9,53	109,76
3	19,12	109,76	8,22	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76
4	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76
5	50,00	109,76	37,50	109,76	18,75	109,76	18,75	109,76
6	50,00	109,76	37,50	109,76	18,75	109,76	18,75	109,76
7	50,00	109,76	37,50	109,76	18,75	109,76	18,75	109,76
8	119,20	109,76	89,40	109,76	44,70	109,76	44,70	109,76
9	68,00	109,76	51,00	109,76	25,50	109,76	25,50	109,76
10	68,00	109,76	51,00	109,76	25,50	109,76	25,50	109,76
11	68,00	109,76	51,00	109,76	25,50	109,76	25,50	109,76
12	54,40	109,76	40,80	109,76	20,40	109,76	20,40	109,76
13	54,40	109,76	40,80	109,76	20,40	109,76	20,40	109,76
14	54,40	109,76	6,88	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76
31	32,00	109,76	24,00	109,76	12,00	109,76	12,00	109,76

Tabela C.43 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 19

Tempo 19								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	109,76	19,05	109,76	9,53	109,76	9,53	109,76
2	25,40	109,76	19,05	109,76	9,53	109,76	9,53	109,76
3	19,12	109,76	8,22	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76
4	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76
5	50,00	109,76	37,50	109,76	18,75	109,76	18,75	109,76
6	50,00	109,76	37,50	109,76	18,75	109,76	18,75	109,76
7	50,00	109,76	37,50	109,76	18,75	109,76	18,75	109,76
8	119,20	109,76	89,40	109,76	44,70	109,76	44,70	109,76
9	68,00	109,76	51,00	109,76	25,50	109,76	25,50	109,76
10	68,00	109,76	51,00	109,76	25,50	109,76	25,50	109,76
11	68,00	109,76	51,00	109,76	25,50	109,76	25,50	109,76
12	54,40	109,76	40,80	109,76	20,40	109,76	20,40	109,76
13	54,40	109,76	40,80	109,76	20,40	109,76	20,40	109,76
14	54,40	109,76	6,88	109,76	0,00	109,76	0,00	109,76
31	32,00	109,76	24,00	109,76	12,00	109,76	12,00	109,76

Tabela C.44 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 20

Tempo 20								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	105,38	19,05	105,38	9,53	105,38	9,53	105,38
2	25,40	105,38	19,05	105,38	9,53	105,38	9,53	105,38
3	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38
4	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38
5	50,00	105,38	37,50	105,38	18,75	105,38	18,75	105,38
6	50,00	105,38	37,50	105,38	18,75	105,38	18,75	105,38
7	36,62	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38
8	119,20	105,38	89,40	105,38	44,70	105,38	44,70	105,38
9	68,00	105,38	51,00	105,38	25,50	105,38	25,50	105,38
10	68,00	105,38	51,00	105,38	25,50	105,38	25,50	105,38
11	68,00	105,38	51,00	105,38	25,50	105,38	25,50	105,38
12	54,40	105,38	40,80	105,38	20,40	105,38	20,40	105,38
13	54,40	105,38	40,80	105,38	20,40	105,38	20,40	105,38
14	49,74	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38	0,00	105,38
31	32,00	105,38	24,00	105,38	12,00	105,38	12,00	105,38

Tabela C.45 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 21

Tempo 21								
Unidades	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	90,20	19,05	90,20	9,53	90,20	9,53	90,20
2	25,40	90,20	19,05	90,20	9,53	90,20	9,53	90,20
3	19,12	90,20	14,34	90,20	7,17	90,20	7,17	90,20
4	19,44	90,20	14,58	90,20	7,29	90,20	7,29	90,20
5	50,00	90,20	37,50	90,20	18,75	90,20	18,75	90,20
6	50,00	90,20	37,50	90,20	18,75	90,20	18,75	90,20
7	50,00	90,20	37,50	90,20	18,75	90,20	18,75	90,20
8	119,20	90,20	89,40	90,20	44,70	90,20	44,70	90,20
9	68,00	90,20	51,00	90,20	25,50	90,20	25,50	90,20
10	68,00	90,20	51,00	90,20	25,50	90,20	25,50	90,20
11	68,00	90,20	51,00	90,20	25,50	90,20	25,50	90,20
12	54,40	90,20	40,80	90,20	20,40	90,20	20,40	90,20
13	54,40	90,20	40,80	90,20	20,40	90,20	20,40	90,20
14	31,61	90,20	0,00	90,20	0,00	90,20	0,00	90,20
31	32,00	90,20	24,00	90,20	12,00	90,20	12,00	90,20

Tabela C.46 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 22

Tempo 22								
Unidades	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	88,40	19,05	88,40	9,53	88,40	9,53	88,40
2	25,40	88,40	19,05	88,40	9,53	88,40	9,53	88,40
3	19,12	88,40	14,34	88,40	7,17	88,40	7,17	88,40
4	19,44	88,40	14,58	88,40	7,29	88,40	7,29	88,40
5	50,00	88,40	37,50	88,40	18,75	88,40	18,75	88,40
6	50,00	88,40	37,50	88,40	18,75	88,40	18,75	88,40
7	50,00	88,40	37,50	88,40	18,75	88,40	18,75	88,40
8	119,20	88,40	89,40	88,40	44,70	88,40	44,70	88,40
9	68,00	88,40	51,00	88,40	25,50	88,40	25,50	88,40
10	68,00	88,40	51,00	88,40	25,50	88,40	25,50	88,40
11	68,00	88,40	51,00	88,40	25,50	88,40	25,50	88,40
12	54,40	88,40	40,80	88,40	20,40	88,40	20,40	88,40
13	54,40	88,40	40,80	88,40	20,40	88,40	20,40	88,40
14	14,59	88,40	0,00	88,40	0,00	88,40	0,00	88,40
31	32,00	88,40	24,00	88,40	12,00	88,40	12,00	88,40

Tabela C.47 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 23

Tempo 23								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	84,34	19,05	84,34	9,53	84,34	9,53	84,34
2	25,40	84,34	19,05	84,34	9,53	84,34	9,53	84,34
3	19,12	85,00	14,34	85,00	7,17	85,00	7,17	85,00
4	19,44	85,00	14,58	85,00	7,29	85,00	7,29	85,00
5	50,00	84,13	37,50	84,13	18,75	84,13	18,75	84,13
6	50,00	84,13	37,50	84,13	18,75	84,13	18,75	84,13
7	50,00	84,13	37,50	84,13	18,75	84,13	18,75	84,13
8	119,20	81,64	89,40	81,64	44,70	81,64	44,70	81,64
9	68,00	81,76	51,00	81,76	25,50	81,76	25,50	81,76
10	68,00	81,76	51,00	81,76	25,50	81,76	25,50	81,76
11	68,00	81,76	51,00	81,76	25,50	81,76	25,50	81,76
12	54,40	81,09	40,80	81,09	20,40	81,09	20,40	81,09
13	54,40	81,09	40,80	81,09	0,94	81,09	0,00	81,09
14	0,00	81,09	0,00	81,09	0,00	81,09	0,00	81,09
31	32,00	84,34	24,00	84,34	12,00	84,34	12,00	84,34

Tabela C.48 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 24

Tempo 24								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	82,09	19,05	82,09	9,53	82,09	9,53	82,09
2	25,40	82,09	19,05	82,09	9,53	82,09	9,53	82,09
3	19,12	82,45	14,34	82,45	7,17	82,45	7,17	82,45
4	19,44	82,45	14,58	82,45	7,29	82,45	7,29	82,45
5	50,00	81,97	37,50	81,97	18,75	81,97	18,75	81,97
6	50,00	81,97	37,50	81,97	18,75	81,97	18,75	81,97
7	50,00	81,97	37,50	81,97	18,75	81,97	18,75	81,97
8	119,20	80,57	89,40	80,57	44,70	80,57	44,70	80,57
9	68,00	80,64	51,00	80,64	25,50	80,64	25,50	80,64
10	68,00	80,64	51,00	80,64	25,50	80,64	25,50	80,64
11	68,00	80,64	51,00	80,64	25,50	80,64	25,50	80,64
12	54,40	80,26	40,80	80,26	20,40	80,26	20,40	80,26
13	24,34	80,26	0,00	80,26	0,00	80,26	0,00	80,26
14	0,00	80,26	0,00	80,26	0,00	80,26	0,00	80,26
31	32,00	82,08	24,00	82,08	12,00	82,08	12,00	82,08

C.3 Caso 3 - Sistemas Hidrotérmicos

As Tabelas de C.49 — C.72 descrevem as quantidades e os preços que devam ser ofertados pela companhia *price-maker* ao final da resolução do cálculo das ofertas estratégicas.

Tabela C.49 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 1

Tempo 1								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	81,15	19,05	81,15	6,20	81,15	9,53	81,15
2	25,40	81,15	19,05	81,15	6,20	81,15	9,53	81,15
3	19,12	81,15	14,34	81,15	7,17	81,15	4,87	81,15
4	19,44	81,15	14,58	81,15	7,29	81,15	4,85	81,15
5	50,00	81,15	37,50	81,15	18,75	81,15	12,20	81,15
6	50,00	81,15	37,50	81,15	18,75	81,15	12,20	81,15
7	50,00	81,15	37,50	81,15	18,75	81,15	12,20	81,15
8	119,20	81,15	89,40	81,15	29,86	81,15	44,70	81,15
9	68,00	81,15	51,00	81,15	17,00	81,15	25,50	81,15
10	68,00	81,15	51,00	81,15	17,00	81,15	25,50	81,15
11	68,00	81,15	51,00	81,15	17,00	81,15	25,50	81,15
12	54,40	81,15	40,80	81,15	13,78	81,15	20,40	81,15
13	54,40	81,15	40,80	81,15	13,78	81,15	20,40	81,15
14	54,40	81,15	40,80	81,15	13,78	81,15	20,40	81,15
31	32,00	81,15	24,00	81,15	12,00	81,15	2,00	81,15

Tabela C.50 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 2

Tempo 2								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	76,03	19,05	76,03	6,20	76,03	9,53	76,03
2	25,40	76,03	19,05	76,03	6,20	76,03	9,53	76,03
3	19,12	76,03	14,34	76,03	7,17	76,03	4,87	76,03
4	19,44	76,03	14,58	76,03	7,29	76,03	4,85	76,03
5	50,00	76,03	37,50	76,03	12,20	76,03	18,75	76,03
6	50,00	76,03	37,50	76,03	12,20	76,03	18,75	76,03
7	50,00	76,03	37,50	76,03	12,20	76,03	18,75	76,03
8	119,20	76,03	89,40	76,03	29,86	76,03	44,70	76,03
9	68,00	76,03	51,00	76,03	17,00	76,03	25,50	76,03
10	68,00	76,03	51,00	76,03	17,00	76,03	25,50	76,03
11	68,00	76,03	51,00	76,03	17,00	76,03	25,50	76,03
12	54,40	76,03	40,80	76,03	13,78	76,03	20,40	76,03
13	54,40	76,03	40,80	76,03	13,78	76,03	20,40	76,03
14	54,40	76,03	40,80	76,03	13,78	76,03	20,40	76,03
31	2,08	76,03	24,00	76,03	12,00	76,03	12,00	76,03

Tabela C.51 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 3

Tempo 3								
Unidades	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	72,69	19,05	72,69	6,20	72,69	9,53	72,69
2	25,40	72,69	19,05	72,69	6,20	72,69	9,53	72,69
3	19,12	72,69	14,34	72,69	7,17	72,69	4,87	72,69
4	19,44	72,69	14,58	72,69	7,29	72,69	4,85	72,69
5	50,00	72,69	37,50	72,69	12,20	72,69	18,75	72,69
6	50,00	72,69	37,50	72,69	12,20	72,69	18,75	72,69
7	50,00	72,69	37,50	72,69	12,20	72,69	18,75	72,69
8	119,20	72,69	89,40	72,69	29,86	72,69	44,70	72,69
9	68,00	72,69	51,00	72,69	17,00	72,69	25,50	72,69
10	68,00	72,69	51,00	72,69	17,00	72,69	25,50	72,69
11	68,00	72,69	51,00	72,69	17,00	72,69	25,50	72,69
12	54,40	72,69	40,80	72,69	13,78	72,69	20,40	72,69
13	54,40	72,69	40,80	72,69	13,78	72,69	20,40	72,69
14	54,40	72,69	40,80	72,69	13,78	72,69	20,40	72,69
31	19,15	72,69	0,00	72,69	0,00	72,69	0,00	72,69

Tabela C.52 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 4

Tempo 4								
Unidades	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	72,69	19,05	72,69	6,20	72,69	9,53	72,69
2	25,40	72,69	19,05	72,69	6,20	72,69	9,53	72,69
3	19,12	72,69	14,34	72,69	7,17	72,69	4,87	72,69
4	19,44	72,69	14,58	72,69	7,29	72,69	4,85	72,69
5	50,00	72,69	37,50	72,69	18,75	72,69	12,20	72,69
6	50,00	72,69	37,50	72,69	18,75	72,69	12,20	72,69
7	50,00	72,69	37,50	72,69	18,75	72,69	12,20	72,69
8	119,20	72,69	89,40	72,69	19,99	72,69	44,70	72,69
9	68,00	72,69	51,00	72,69	17,00	72,69	25,50	72,69
10	68,00	72,69	51,00	72,69	17,00	72,69	25,50	72,69
11	68,00	72,69	51,00	72,69	17,00	72,69	25,50	72,69
12	54,40	72,69	40,80	72,69	13,78	72,69	20,40	72,69
13	54,40	72,69	40,80	72,69	13,78	72,69	20,40	72,69
14	54,40	72,69	40,80	72,69	13,78	72,69	20,40	72,69
31	0,00	72,69	0,00	72,69	0,00	72,69	0,00	72,69

Tabela C.53 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 5

Tempo 5								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	73,92	19,05	73,92	6,20	73,92	9,53	73,92
2	25,40	73,92	19,05	73,92	6,20	73,92	9,53	73,92
3	19,12	73,92	14,34	73,92	7,17	73,92	4,87	73,92
4	19,44	73,92	14,58	73,92	7,29	73,92	4,85	73,92
5	50,00	73,92	37,50	73,92	18,75	73,92	12,20	73,92
6	50,00	73,92	37,50	73,92	18,75	73,92	12,20	73,92
7	50,00	73,92	37,50	73,92	18,75	73,92	12,20	73,92
8	119,20	73,92	89,40	73,92	44,70	73,92	19,99	73,92
9	68,00	73,92	51,00	73,92	17,00	73,92	25,50	73,92
10	68,00	73,92	51,00	73,92	17,00	73,92	25,50	73,92
11	68,00	73,92	51,00	73,92	17,00	73,92	25,50	73,92
12	54,40	73,92	40,80	73,92	20,40	73,92	13,78	73,92
13	54,40	73,92	40,80	73,92	13,78	73,92	20,40	73,92
14	54,40	73,92	40,80	73,92	13,78	73,92	20,40	73,92
31	0,00	73,92	0,00	73,92	0,00	73,92	0,00	73,92

Tabela C.54 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 6

Tempo 6								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	82,00	19,05	82,00	6,20	82,00	9,53	82,00
2	25,40	82,00	19,05	82,00	6,20	82,00	9,53	82,00
3	19,12	82,00	14,34	82,00	7,17	82,00	4,87	82,00
4	19,44	82,00	14,58	82,00	7,29	82,00	4,85	82,00
5	50,00	82,00	30,95	82,00	18,75	82,00	18,75	82,00
6	50,00	82,00	37,50	82,00	12,20	82,00	18,75	82,00
7	50,00	82,00	37,50	82,00	12,20	82,00	18,75	82,00
8	119,20	82,00	89,40	82,00	29,86	82,00	44,70	82,00
9	68,00	82,00	51,00	82,00	17,00	82,00	25,50	82,00
10	68,00	82,00	51,00	82,00	17,00	82,00	25,50	82,00
11	68,00	82,00	51,00	82,00	17,00	82,00	25,50	82,00
12	54,40	82,00	40,80	82,00	13,78	82,00	20,40	82,00
13	54,40	82,00	40,80	82,00	13,78	82,00	20,40	82,00
14	54,40	82,00	40,80	82,00	13,78	82,00	20,40	82,00
31	32,00	82,00	24,00	82,00	12,00	82,00	12,00	82,00

Tabela C.55 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 7

Tempo 7								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	85,28	19,05	85,28	6,20	85,28	9,53	85,28
2	25,40	85,28	19,05	85,28	6,20	85,28	9,53	85,28
3	19,12	85,28	14,34	85,28	7,17	85,28	4,87	85,28
4	19,44	85,28	14,58	85,28	7,29	85,28	4,85	85,28
5	50,00	85,28	37,50	85,28	18,75	85,28	12,20	85,28
6	50,00	85,28	37,50	85,28	18,75	85,28	12,20	85,28
7	50,00	85,28	37,50	85,28	18,75	85,28	12,20	85,28
8	119,20	85,28	89,40	85,28	29,86	85,28	44,70	85,28
9	68,00	85,28	51,00	85,28	17,00	85,28	25,50	85,28
10	68,00	85,28	51,00	85,28	17,00	85,28	25,50	85,28
11	68,00	85,28	51,00	85,28	17,00	85,28	25,50	85,28
12	54,40	85,28	40,80	85,28	13,78	85,28	20,40	85,28
13	54,40	85,28	40,80	85,28	13,78	85,28	20,40	85,28
14	54,40	85,28	40,80	85,28	13,78	85,28	20,40	85,28
31	32,00	85,28	24,00	85,28	12,00	85,28	12,00	85,28

Tabela C.56 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 8

Tempo 8								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	104,27	19,05	104,27	6,20	104,27	9,53	104,27
2	25,40	104,27	19,05	104,27	6,20	104,27	9,53	104,27
3	19,12	104,27	14,34	104,27	7,17	104,27	4,87	104,27
4	19,44	104,27	14,58	104,27	7,29	104,27	4,85	104,27
5	50,00	104,27	37,50	104,27	18,75	104,27	12,20	104,27
6	50,00	104,27	37,50	104,27	18,75	104,27	12,20	104,27
7	50,00	104,27	37,50	104,27	18,75	104,27	12,20	104,27
8	119,20	104,27	89,40	104,27	44,70	104,27	29,86	104,27
9	68,00	104,27	51,00	104,27	17,00	104,27	25,50	104,27
10	68,00	104,27	51,00	104,27	17,00	104,27	25,50	104,27
11	68,00	104,27	51,00	104,27	17,00	104,27	25,50	104,27
12	54,40	104,27	40,80	104,27	13,78	104,27	20,40	104,27
13	54,40	104,27	40,80	104,27	13,78	104,27	20,40	104,27
14	54,40	104,27	40,80	104,27	13,78	104,27	20,40	104,27
31	32,00	104,27	8,82	104,27	0,00	104,27	0,00	104,27

Tabela C.57 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 9

Tempo 9								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	115,00	19,05	115,00	6,20	115,00	9,53	115,00
2	25,40	115,00	19,05	115,00	6,20	115,00	9,53	115,00
3	19,12	115,00	14,34	115,00	7,17	115,00	4,87	115,00
4	19,44	115,00	14,58	115,00	7,29	115,00	4,85	115,00
5	50,00	115,00	37,50	115,00	18,75	115,00	12,20	115,00
6	50,00	115,00	37,50	115,00	18,75	115,00	12,20	115,00
7	50,00	115,00	30,95	115,00	18,75	115,00	18,75	115,00
8	104,36	115,00	89,40	115,00	44,70	115,00	44,70	115,00
9	68,00	115,00	51,00	115,00	17,00	115,00	25,50	115,00
10	68,00	115,00	51,00	115,00	17,00	115,00	25,50	115,00
11	68,00	115,00	51,00	115,00	17,00	115,00	25,50	115,00
12	47,78	115,00	40,80	115,00	20,40	115,00	20,40	115,00
13	54,40	115,00	40,80	115,00	20,40	115,00	13,78	115,00
14	54,40	115,00	40,80	115,00	13,78	115,00	20,40	115,00
31	32,00	115,00	20,26	115,00	0,00	115,00	0,00	115,00

Tabela C.58 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 10

Tempo 10								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	115,00	19,05	115,00	6,20	115,00	9,53	115,00
2	25,40	115,00	19,05	115,00	6,20	115,00	9,53	115,00
3	19,12	115,00	14,34	115,00	7,17	115,00	4,87	115,00
4	19,44	115,00	14,58	115,00	7,29	115,00	4,85	115,00
5	50,00	115,00	37,50	115,00	12,20	115,00	18,75	115,00
6	50,00	115,00	37,50	115,00	12,20	115,00	18,75	115,00
7	50,00	115,00	37,50	115,00	12,20	115,00	18,75	115,00
8	119,20	115,00	89,40	115,00	29,86	115,00	44,70	115,00
9	68,00	115,00	51,00	115,00	17,00	115,00	25,50	115,00
10	68,00	115,00	51,00	115,00	17,00	115,00	25,50	115,00
11	68,00	115,00	51,00	115,00	17,00	115,00	25,50	115,00
12	54,40	115,00	40,80	115,00	13,78	115,00	20,40	115,00
13	54,40	115,00	40,80	115,00	13,78	115,00	20,40	115,00
14	54,40	115,00	40,80	115,00	13,78	115,00	20,40	115,00
31	32,00	115,00	24,00	115,00	12,00	115,00	12,00	115,00

Tabela C.59 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 11

Tempo 11								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	115,00	19,05	115,00	6,20	115,00	9,53	115,00
2	25,40	115,00	19,05	115,00	6,20	115,00	9,53	115,00
3	19,12	115,00	14,34	115,00	7,17	115,00	4,87	115,00
4	19,44	115,00	14,58	115,00	7,29	115,00	4,85	115,00
5	50,00	115,00	37,50	115,00	18,75	115,00	12,20	115,00
6	50,00	115,00	37,50	115,00	18,75	115,00	12,20	115,00
7	50,00	115,00	37,50	115,00	18,75	115,00	12,20	115,00
8	119,20	115,00	89,40	115,00	29,86	115,00	44,70	115,00
9	68,00	115,00	51,00	115,00	17,00	115,00	25,50	115,00
10	68,00	115,00	51,00	115,00	17,00	115,00	25,50	115,00
11	68,00	115,00	51,00	115,00	17,00	115,00	25,50	115,00
12	54,40	115,00	40,80	115,00	13,78	115,00	20,40	115,00
13	54,40	115,00	40,80	115,00	13,78	115,00	20,40	115,00
14	54,40	115,00	40,80	115,00	13,78	115,00	20,40	115,00
31	32,00	115,00	24,00	115,00	12,00	115,00	12,00	115,00

Tabela C.60 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 12

Tempo 12								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	115,00	19,05	115,00	6,20	115,00	9,53	115,00
2	25,40	115,00	19,05	115,00	6,20	115,00	9,53	115,00
3	19,12	115,00	14,34	115,00	7,17	115,00	4,87	115,00
4	19,44	115,00	14,58	115,00	7,29	115,00	4,85	115,00
5	50,00	115,00	37,50	115,00	18,75	115,00	12,20	115,00
6	50,00	115,00	37,50	115,00	18,75	115,00	12,20	115,00
7	50,00	115,00	37,50	115,00	18,75	115,00	12,20	115,00
8	119,20	115,00	89,40	115,00	29,86	115,00	44,70	115,00
9	68,00	115,00	51,00	115,00	17,00	115,00	25,50	115,00
10	68,00	115,00	51,00	115,00	17,00	115,00	25,50	115,00
11	68,00	115,00	51,00	115,00	17,00	115,00	25,50	115,00
12	54,40	115,00	40,80	115,00	13,78	115,00	20,40	115,00
13	54,40	115,00	40,80	115,00	13,78	115,00	20,40	115,00
14	54,40	115,00	40,80	115,00	13,78	115,00	20,40	115,00
31	32,00	115,00	20,26	115,00	0,00	115,00	0,00	115,00

Tabela C.61 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 13

Tempo 13								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	115,00	19,05	115,00	6,20	115,00	9,53	115,00
2	25,40	115,00	19,05	115,00	6,20	115,00	9,53	115,00
3	19,12	115,00	14,34	115,00	7,17	115,00	4,87	115,00
4	19,44	115,00	14,58	115,00	7,29	115,00	4,85	115,00
5	50,00	115,00	37,50	115,00	18,75	115,00	12,20	115,00
6	50,00	115,00	37,50	115,00	18,75	115,00	12,20	115,00
7	50,00	115,00	37,50	115,00	18,75	115,00	12,20	115,00
8	104,36	115,00	89,40	115,00	44,70	115,00	44,70	115,00
9	68,00	115,00	51,00	115,00	17,00	115,00	25,50	115,00
10	68,00	115,00	51,00	115,00	17,00	115,00	25,50	115,00
11	68,00	115,00	51,00	115,00	17,00	115,00	25,50	115,00
12	54,40	115,00	40,80	115,00	13,78	115,00	20,40	115,00
13	54,40	115,00	40,80	115,00	13,78	115,00	20,40	115,00
14	54,40	115,00	40,80	115,00	13,78	115,00	20,40	115,00
31	32,00	115,00	20,26	115,00	0,00	115,00	0,00	115,00

Tabela C.62 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 14

Tempo 14								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	114,40	19,05	114,40	6,20	114,40	9,53	114,40
2	25,40	114,40	19,05	114,40	6,20	114,40	9,53	114,40
3	19,12	114,40	14,34	114,40	7,17	114,40	4,87	114,40
4	19,44	114,40	14,58	114,40	7,29	114,40	4,85	114,40
5	50,00	114,40	37,50	114,40	18,75	114,40	12,20	114,40
6	43,45	114,40	37,50	114,40	18,75	114,40	18,75	114,40
7	50,00	114,40	37,50	114,40	18,75	114,40	12,20	114,40
8	104,36	114,40	89,40	114,40	44,70	114,40	44,70	114,40
9	68,00	114,40	51,00	114,40	17,00	114,40	25,50	114,40
10	68,00	114,40	51,00	114,40	17,00	114,40	25,50	114,40
11	68,00	114,40	51,00	114,40	17,00	114,40	25,50	114,40
12	54,40	114,40	40,80	114,40	13,78	114,40	20,40	114,40
13	54,40	114,40	40,80	114,40	13,78	114,40	20,40	114,40
14	54,40	114,40	40,80	114,40	13,78	114,40	20,40	114,40
31	32,00	114,40	24,00	114,40	1,36	114,40	0,00	114,40

Tabela C.63 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 15

Tempo 15								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quant.	Preço	Quant.	Preço	Quant.	Preço	Quant.	Preço
1	25,40	114,40	19,05	114,40	6,20	114,40	9,53	114,40
2	25,40	114,40	19,05	114,40	6,20	114,40	9,53	114,40
3	19,12	114,40	14,34	114,40	7,17	114,40	4,87	114,40
4	0,00	1486114,40	0,00	1486114,40	0,00	1486114,40	0,00	1486114,40
5	50,00	114,40	37,50	114,40	18,75	114,40	12,20	114,40
6	50,00	114,40	37,50	114,40	18,75	114,40	12,20	114,40
7	50,00	114,40	37,50	114,40	18,75	114,40	12,20	114,40
8	119,20	114,40	89,40	114,40	44,70	114,40	29,86	114,40
9	68,00	114,40	51,00	114,40	17,00	114,40	25,50	114,40
10	68,00	114,40	51,00	114,40	17,00	114,40	25,50	114,40
11	68,00	114,40	51,00	114,40	17,00	114,40	25,50	114,40
12	54,40	114,40	40,80	114,40	13,78	114,40	20,40	114,40
13	54,40	114,40	40,80	114,40	13,78	114,40	20,40	114,40
14	54,40	114,40	40,80	114,40	13,78	114,40	20,40	114,40
31	32,00	114,40	13,48	114,40	0,00	114,40	0,00	114,40

Tabela C.64 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 16

Tempo 16								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	113,10	19,05	113,10	6,20	113,10	9,53	113,10
2	25,40	113,10	19,05	113,10	6,20	113,10	9,53	113,10
3	19,12	113,10	14,34	113,10	7,17	113,10	4,87	113,10
4	19,44	113,10	14,58	113,10	7,29	113,10	4,85	113,10
5	50,00	113,10	37,50	113,10	18,75	113,10	12,20	113,10
6	50,00	113,10	37,50	113,10	18,75	113,10	12,20	113,10
7	50,00	113,10	37,50	113,10	18,75	113,10	12,20	113,10
8	119,20	113,10	89,40	113,10	29,86	113,10	44,70	113,10
9	68,00	113,10	51,00	113,10	17,00	113,10	25,50	113,10
10	68,00	113,10	51,00	113,10	17,00	113,10	25,50	113,10
11	68,00	113,10	51,00	113,10	17,00	113,10	25,50	113,10
12	54,40	113,10	40,80	113,10	13,78	113,10	20,40	113,10
13	54,40	113,10	40,80	113,10	13,78	113,10	20,40	113,10
14	54,40	113,10	40,80	113,10	13,78	113,10	20,40	113,10
31	32,00	113,10	24,00	113,10	12,00	113,10	3,19	113,10

Tabela C.65 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 17

Tempo 17								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	117,60	19,05	117,60	6,20	117,60	9,53	117,60
2	25,40	117,60	19,05	117,60	6,20	117,60	9,53	117,60
3	19,12	117,60	14,34	117,60	7,17	117,60	4,87	117,60
4	19,44	117,60	14,58	117,60	7,29	117,60	4,85	117,60
5	50,00	117,60	37,50	117,60	12,20	117,60	18,75	117,60
6	50,00	117,60	37,50	117,60	12,20	117,60	18,75	117,60
7	50,00	117,60	37,50	117,60	12,20	117,60	18,75	117,60
8	119,20	117,60	89,40	117,60	29,86	117,60	44,70	117,60
9	68,00	117,60	51,00	117,60	17,00	117,60	25,50	117,60
10	68,00	117,60	51,00	117,60	17,00	117,60	25,50	117,60
11	68,00	117,60	51,00	117,60	17,00	117,60	25,50	117,60
12	54,40	117,60	40,80	117,60	13,78	117,60	20,40	117,60
13	54,40	117,60	40,80	117,60	13,78	117,60	20,40	117,60
14	54,40	117,60	40,80	117,60	13,78	117,60	20,40	117,60
31	32,00	117,60	24,00	117,60	12,00	117,60	12,00	117,60

Tabela C.66 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 18

Tempo 18								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	119,60	19,05	119,60	6,20	119,60	9,53	119,60
2	25,40	119,60	19,05	119,60	6,20	119,60	9,53	119,60
3	19,12	119,60	14,34	119,60	7,17	119,60	4,87	119,60
4	19,44	119,60	14,58	119,60	7,29	119,60	4,85	119,60
5	50,00	119,60	37,50	119,60	12,20	119,60	18,75	119,60
6	50,00	119,60	37,50	119,60	3,13	119,60	18,75	119,60
7	50,00	119,60	37,50	119,60	12,20	119,60	18,75	119,60
8	119,20	119,60	89,40	119,60	29,86	119,60	44,70	119,60
9	68,00	119,60	51,00	119,60	17,00	119,60	25,50	119,60
10	68,00	119,60	51,00	119,60	17,00	119,60	25,50	119,60
11	68,00	119,60	51,00	119,60	17,00	119,60	25,50	119,60
12	54,40	119,60	40,80	119,60	13,78	119,60	20,40	119,60
13	54,40	119,60	40,80	119,60	13,78	119,60	20,40	119,60
14	54,40	119,60	40,80	119,60	13,78	119,60	20,40	119,60
31	32,00	119,60	24,00	119,60	12,00	119,60	12,00	119,60

Tabela C.67 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 19

Tempo 19								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	119,60	19,05	119,60	6,20	119,60	9,53	119,60
2	25,40	119,60	19,05	119,60	6,20	119,60	9,53	119,60
3	19,12	119,60	14,34	119,60	7,17	119,60	4,87	119,60
4	19,44	119,60	14,58	119,60	7,29	119,60	4,85	119,60
5	50,00	119,60	37,50	119,60	18,75	119,60	12,20	119,60
6	50,00	119,60	37,50	119,60	18,75	119,60	12,20	119,60
7	50,00	119,60	37,50	119,60	18,75	119,60	12,20	119,60
8	119,20	119,60	89,40	119,60	29,86	119,60	44,70	119,60
9	68,00	119,60	51,00	119,60	17,00	119,60	25,50	119,60
10	68,00	119,60	51,00	119,60	17,00	119,60	25,50	119,60
11	68,00	119,60	51,00	119,60	17,00	119,60	25,50	119,60
12	54,40	119,60	40,80	119,60	13,78	119,60	20,40	119,60
13	54,40	119,60	40,80	119,60	13,78	119,60	20,40	119,60
14	54,40	119,60	40,80	119,60	13,78	119,60	20,40	119,60
31	32,00	119,60	24,00	119,60	12,00	119,60	2,94	119,60

Tabela C.68 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 20

Tempo 20								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	115,00	19,05	115,00	6,20	115,00	9,53	115,00
2	25,40	115,00	19,05	115,00	6,20	115,00	9,53	115,00
3	19,12	115,00	14,34	115,00	4,87	115,00	7,17	115,00
4	19,44	115,00	12,14	115,00	7,29	115,00	7,29	115,00
5	50,00	115,00	37,50	115,00	18,75	115,00	12,20	115,00
6	50,00	115,00	37,50	115,00	18,75	115,00	12,20	115,00
7	50,00	115,00	37,50	115,00	18,75	115,00	12,20	115,00
8	119,20	115,00	74,56	115,00	44,70	115,00	44,70	115,00
9	68,00	115,00	51,00	115,00	17,00	115,00	25,50	115,00
10	68,00	115,00	51,00	115,00	17,00	115,00	25,50	115,00
11	68,00	115,00	51,00	115,00	17,00	115,00	25,50	115,00
12	54,40	115,00	40,80	115,00	13,78	115,00	20,40	115,00
13	54,40	115,00	40,80	115,00	13,78	115,00	20,40	115,00
14	54,40	115,00	40,80	115,00	13,78	115,00	20,40	115,00
31	32,00	115,00	24,00	115,00	12,00	115,00	12,00	115,00

Tabela C.69 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 21

Tempo 21								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quant.	Preço	Quant.	Preço	Quant.	Preço	Quant.	Preço
1	25,40	112,11	19,05	112,11	6,20	112,11	9,53	112,11
2	25,40	112,11	19,05	112,11	6,20	112,11	9,53	112,11
3	19,12	112,11	14,34	112,11	7,17	112,11	4,87	112,11
4	19,44	112,11	14,58	112,11	7,29	112,11	4,85	112,11
5	0,00	2250112,11	0,00	2250112,11	0,00	2250112,11	0,00	2250112,11
6	50,00	112,11	37,50	112,11	18,75	112,11	12,20	112,11
7	50,00	112,11	37,50	112,11	18,75	112,11	12,20	112,11
8	119,20	112,11	89,40	112,11	44,70	112,11	29,86	112,11
9	68,00	112,11	51,00	112,11	17,00	112,11	25,50	112,11
10	68,00	112,11	51,00	112,11	17,00	112,11	25,50	112,11
11	68,00	112,11	51,00	112,11	17,00	112,11	25,50	112,11
12	54,40	112,11	40,80	112,11	13,78	112,11	20,40	112,11
13	54,40	112,11	40,80	112,11	13,78	112,11	20,40	112,11
14	54,40	112,11	40,80	112,11	13,78	112,11	20,40	112,11
31	32,00	112,11	24,00	112,11	3,70	112,11	0,00	112,11

Tabela C.70 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 22

Tempo 22								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	91,10	19,05	91,10	6,20	91,10	9,53	91,10
2	25,40	91,10	19,05	91,10	6,20	91,10	9,53	91,10
3	19,12	91,10	14,34	91,10	7,17	91,10	4,87	91,10
4	19,44	91,10	14,58	91,10	7,29	91,10	4,85	91,10
5	50,00	91,10	37,50	91,10	18,75	91,10	12,20	91,10
6	50,00	91,10	37,50	91,10	18,75	91,10	12,20	91,10
7	50,00	91,10	37,50	91,10	18,75	91,10	12,20	91,10
8	119,20	91,10	89,40	91,10	44,70	91,10	29,86	91,10
9	68,00	91,10	51,00	91,10	17,00	91,10	25,50	91,10
10	68,00	91,10	51,00	91,10	17,00	91,10	25,50	91,10
11	68,00	91,10	51,00	91,10	17,00	91,10	25,50	91,10
12	54,40	91,10	40,80	91,10	13,78	91,10	20,40	91,10
13	54,40	91,10	40,80	91,10	13,78	91,10	20,40	91,10
14	54,40	91,10	40,80	91,10	13,78	91,10	20,40	91,10
31	32,00	91,10	24,00	91,10	10,94	91,10	0,00	91,10

Tabela C.71 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 23

Tempo 23								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	85,00	19,05	85,00	6,20	85,00	9,53	85,00
2	25,40	85,00	19,05	85,00	6,20	85,00	9,53	85,00
3	19,12	85,00	14,34	85,00	7,17	85,00	4,87	85,00
4	19,44	85,00	14,58	85,00	7,29	85,00	4,85	85,00
5	50,00	85,00	37,50	85,00	18,75	85,00	12,20	85,00
6	50,00	85,00	37,50	85,00	18,75	85,00	12,20	85,00
7	50,00	85,00	37,50	85,00	18,75	85,00	12,20	85,00
8	119,20	85,00	89,40	85,00	44,70	85,00	29,86	85,00
9	68,00	85,00	51,00	85,00	25,50	85,00	17,00	85,00
10	68,00	85,00	51,00	85,00	25,50	85,00	17,00	85,00
11	68,00	85,00	51,00	85,00	17,00	85,00	25,50	85,00
12	47,78	85,00	40,80	85,00	20,40	85,00	20,40	85,00
13	47,78	85,00	40,80	85,00	20,40	85,00	20,40	85,00
14	54,40	85,00	40,80	85,00	20,40	85,00	13,78	85,00
31	32,00	85,00	24,00	85,00	12,00	85,00	12,00	85,00

Tabela C.72 – Quantidades [MW] vendidas pela companhia *price-maker* em cada bloco, por unidade no período de tempo 24

Tempo 24								
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Unidades	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço	Quantidade	Preço
1	25,40	79,84	19,05	79,84	6,20	79,84	9,53	79,84
2	25,40	79,84	19,05	79,84	6,20	79,84	9,53	79,84
3	19,12	79,84	14,34	79,84	7,17	79,84	4,87	79,84
4	19,44	79,84	14,58	79,84	7,29	79,84	4,85	79,84
5	50,00	79,84	37,50	79,84	18,75	79,84	12,20	79,84
6	50,00	79,84	37,50	79,84	18,75	79,84	12,20	79,84
7	50,00	79,84	37,50	79,84	18,75	79,84	12,20	79,84
8	119,20	79,84	89,40	79,84	29,86	79,84	44,70	79,84
9	68,00	79,84	51,00	79,84	17,00	79,84	25,50	79,84
10	68,00	79,84	51,00	79,84	17,00	79,84	25,50	79,84
11	68,00	79,84	51,00	79,84	17,00	79,84	25,50	79,84
12	54,40	79,84	40,80	79,84	13,78	79,84	20,40	79,84
13	54,40	79,84	40,80	79,84	13,78	79,84	20,40	79,84
14	54,40	79,84	40,80	79,84	13,78	79,84	20,40	79,84
31	32,00	79,84	18,08	79,84	0,00	79,84	0,00	79,84