



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

Título

Felipe Claudio da Silva Santos

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Eletrônica e de Computação da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Luiz Pereira Calôba

Coorientador: Nathanael Nunes de Moura Junior

Rio de Janeiro

Outubro de 2008

Título

Felipe Claudio da Silva Santos

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE COMPUTAÇÃO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRÔNICO E DE COMPUTAÇÃO

Autor:

Felipe Claudio da Silva Santos

Orientador:

Prof. Luis Pereira Calôba, Dr.Ing

Co-orientador:

Natanael Nunes de Moura Junior, Dr.

Examinador:

Examinador 1

Examinador:

Examinador 2

Rio de Janeiro

Outubro de 2008

Declaração de Autoria e de Direitos

Eu, *Felipe Claudio da Silva Santos* CPF 427.279.208-30, autor da monografia *título da monografia*, subscrevo para os devidos fins, as seguintes informações:

1. O autor declara que o trabalho apresentado na disciplina de Projeto de Graduação da Escola Politécnica da UFRJ é de sua autoria, sendo original em forma e conteúdo.
2. Excetuam-se do item 1. eventuais transcrições de texto, figuras, tabelas, conceitos e idéias, que identifiquem claramente a fonte original, explicitando as autorizações obtidas dos respectivos proprietários, quando necessárias.
3. O autor permite que a UFRJ, por um prazo indeterminado, efetue em qualquer mídia de divulgação, a publicação do trabalho acadêmico em sua totalidade, ou em parte. Essa autorização não envolve ônus de qualquer natureza à UFRJ, ou aos seus representantes.
4. O autor pode, excepcionalmente, encaminhar à Comissão de Projeto de Graduação, a não divulgação do material, por um prazo máximo de 01 (um) ano, improrrogável, a contar da data de defesa, desde que o pedido seja justificado, e solicitado antecipadamente, por escrito, à Congregação da Escola Politécnica.
5. O autor declara, ainda, ter a capacidade jurídica para a prática do presente ato, assim como ter conhecimento do teor da presente Declaração, estando ciente das sanções e punições legais, no que tange a cópia parcial, ou total, de obra intelectual, o que se configura como violação do direito autoral previsto no Código Penal Brasileiro no art.184 e art.299, bem como na Lei 9.610.
6. O autor é o único responsável pelo conteúdo apresentado nos trabalhos acadêmicos publicados, não cabendo à UFRJ, aos seus representantes, ou ao(s) orientador(es), qualquer responsabilização/ indenização nesse sentido.
7. Por ser verdade, firmo a presente declaração.

Felipe Claudio da Silva Santos

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Escola Politécnica - Departamento de Eletrônica e de Computação

Centro de Tecnologia, bloco H, sala H-217, Cidade Universitária

Rio de Janeiro - RJ CEP 21949-900

Este exemplar é de propriedade da Universidade Federal do Rio de Janeiro, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmear ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es).

DEDICATÓRIA

Opcional.

AGRADECIMENTO

Sempre haverá. Se não estiver inspirado, aqui está uma sugestão: dedico este trabalho ao povo brasileiro que contribuiu de forma significativa à minha formação e estada nesta Universidade. Este projeto é uma pequena forma de retribuir o investimento e confiança em mim depositados.

RESUMO

Inserir o resumo do seu trabalho aqui. O objetivo é apresentar ao pretense leitor do seu Projeto Final uma descrição genérica do seu trabalho. Você também deve tentar despertar no leitor o interesse pelo conteúdo deste documento.

Palavras-Chave: trabalho, resumo, interesse, projeto final.

ABSTRACT

Insert your abstract here. Insert your abstract here. Insert your abstract here.
Insert your abstract here. Insert your abstract here.

Key-words: word, word, word.

SIGLAS

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

SIN - Sistema Interligado Nacional

SEB - Sistema Elétrico Brasileiro

RE-SEB - Reestruturação do Sistema Elétrico Brasileiro

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

MME - Ministério de Minas e Energias

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

EPE - Empresa de Energia Elétrica

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico

MAE - Mercado Atacadista de Energia

CMSE - Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico

ACR - Ambiente de Contratação Regulada

ACL - Ambiente de Contratação Livre

PLD - Preço de Liquidação das Diferenças

MCP - Mercado de Curto Prazo

CMO - Custo Marginal de Operação

DECOMP -

NEWAVE -

Sumário

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introdução | 1 |
| 1.1 | Tema | 1 |
| 1.2 | Delimitação | 1 |
| 1.3 | Justificativa | 1 |
| 1.4 | Objetivos | 2 |
| 1.5 | Metodologia | 2 |
| 1.6 | Descrição | 2 |
| 2 | O sistema elétrico brasileiro | 3 |
| 2.1 | Breve histórico do sistema elétrico brasileiro | 3 |
| 2.2 | O Mercado de Curto Prazo | 7 |
| 2.3 | O Cálculo do Preço da Liquidação das Diferenças | 8 |
| 3 | Conclusões | 12 |
| | Bibliografia | 13 |
| A | O que é um apêndice | 15 |
| B | Encadernação do Projeto de Graduação | 16 |
| C | O que é um anexo | 18 |

Lista de Figuras

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Instituições do setor elétrico brasileiro [] | 5 |
| 2.2 | Mapa do Sistema Elétrico Brasileiro no horizonte de 2017 [1] | 6 |
| 2.3 | Mapa do Sistema Elétrico Brasileiro no horizonte de 2017 [?] | 9 |
| 2.4 | Comparação entre a matriz elétrica mundial e a brasileira | 10 |
| 2.5 | Instituições do setor elétrico brasileiro [] | 10 |
| B.1 | Encadernação do projeto de graduação. | 17 |

Lista de Tabelas

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Variáveis utilizadas no cálculo do PLD semanal [11]. | 11 |
|-----|--|----|

Capítulo 1

Introdução

1.1 Tema

Falar do que se trata o trabalho usando uma visão macroscópica (tamanho do texto: 1 ou 2 parágrafos no máximo).

Sobre que grande área de conhecimento você vai falar?

Dada esta grande área, qual é o subconjunto de conhecimento sobre o qual será o seu trabalho?

Qual o problema a ser resolvido?

1.2 Delimitação

Realizar uma delimitação informando de quem é a demanda, em que local, e em que momento no tempo. Eventualmente, pode ser mais fácil começar pensando por exclusão, ou seja, para quem não serve, onde não deve ser aplicado, e em seguida pegar o universo que sobra (tamanho do texto: livre).

1.3 Justificativa

Apresentar o porquê do tema ser interessante de ser estudado. Cuidado, não é a motivação particular. Devem ser apresentadas razões para que alguém deva se

interessar no assunto, e não quais foram suas razões particulares que motivaram você a estudá-lo (tamanho do texto: livre).

1.4 Objetivos

Informar qual é o objetivo geral do trabalho, isto é, aquilo que deve ser atendido e que corresponde ao indicador inequívoco do sucesso do seu trabalho. Pode acontecer que venha a existir um conjunto de objetivos específicos, que complementam o objetivo geral (tamanho do texto: livre, mas cuidado para não fazer uma literatura romanceada, afinal esta seção trata dos objetivos).

1.5 Metodologia

Como é a abordagem do assunto. Como foi feita a pesquisa, se vai houve validação, etc. Em resumo, você de explicar qual foi sua estratégia para atender ao objetivo do trabalho (tamanho do texto: livre).

1.6 Descrição

No capítulo 2 será

O capítulo 3 apresenta ...

Os são apresentados no capítulo 4. Nele será explicitado ...

E assim vai até chegar na conclusão.

Capítulo 2

O sistema elétrico brasileiro

2.1 Breve histórico do sistema elétrico brasileiro

No começo da década de 90 a estrutura era verticalizada, composta por grandes estatais que tinham o controle sobre toda a cadeia produtiva (geração, transmissão e distribuição). Houve então uma reestruturação do setor (RE-SEB), baseado no princípio de que "a eficiência no setor elétrico será assegurada através da competição, onde possível, e da regulamentação, onde necessária" [2]. Sendo assim, o mercado foi aberto para o setor privado. O SEB foi então dividido em empresas de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia. Muitas empresas públicas foram leiloadas, dentre elas a a Light (21/05/1196) e a CERJ(20/11//1996)[3].

Assim como mencionado, um dos pilares do RE-SEB era a regulamentação. Sendo assim, em 1996 foi criada a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, a qual tinha como função regular, e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica segundo as diretrizes definidas pelo governo federal.

Foram aprovadas medidas que incentivavam a realização de contratos de longo prazo entre distribuidores e geradores [3]. Além disso foi dado livre acesso aos para pequenos produtores (potenciais hidráulicos menores que 1MW e usinas termelétricas com potencial inferior a 5MW) ao sistemas de transmissão e distribuição das concessionárias e permissionárias do serviço publico. Isto facilitou o aparecimento de novas fontes de energias e novos produtores no SEB.

Em 2001 houve uma grande crise energética no país que foi fruto de um período seco e mudanças estruturais que implementadas no SEB. Buscou-se melhorar gestão, evitar incidentes, garantir a qualidade e incentivar a expansão do sistema. Com isso a organização da estrutura foi modificada, sendo que as instituições responsáveis pelo pleno funcionamento deste modelo são descritas a seguir:[4]:

- **Ministério de Minas e Energias - MME:** Responsável pela formulação e implantação de políticas relacionadas ao setor elétrico.
- **Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico - CMSE:** Acompanha e avaliar a continuidade e a segurança do suprimento elétrico em todo o território nacional
- **Conselho Nacional de Política Energética - CNPE:** Formula políticas e diretrizes de energia que garantam o suprimento de energia elétrica para todo o país
- **Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL:** Regula, e fiscaliza a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica segundo as diretrizes definidas pelo governo federal.
- **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE:** Atua desde a medição de energia gerada e efetivamente consumida até a liquidação financeira dos contratos de compra e venda no curto prazo [5]. Anteriormente se chamava Mercado Atacadista de Energia - MAE.
- **Operador Nacional do Sistema Elétrico:** Tem como objetivo a coordenação e controle das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Brasil, buscando garantir a todos os agentes o livre acesso à rede de transmissão, o menor custo de expansão do sistema e as melhores condições operacionais futuras [6]
- **Empresa de Pesquisa Energética - EPE:** Realiza pesquisas em áreas relacionadas com energia elétrica, petróleo, gás biocombustíveis e planejamento energético[7].

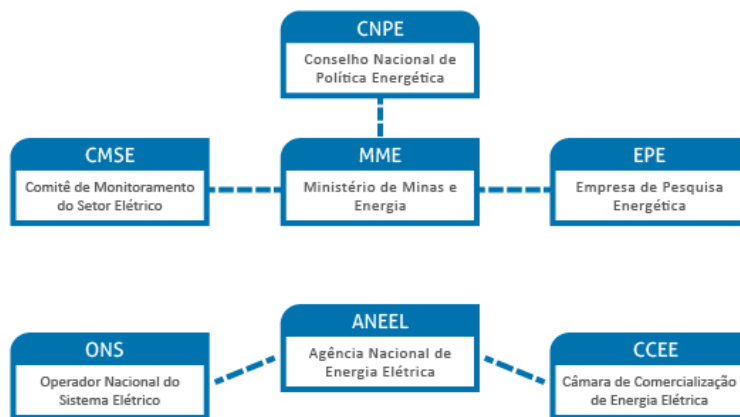


Figura 2.1: Instituições do setor elétrico brasileiro. Fonte: EPE [4].

Outra medida tomada para facilitar o gerenciamento de toda a rede de geração, transmissão, e consumo de energia elétrica foi dividir o Sistema Interligado Nacional - SIN[8] em quatro subsistemas sendo estes: Norte, Nordeste, Sudeste/Centro-Oeste e Sul. Vale ressaltar que existe conexão entre as partes, de forma que um subsistema pode auxiliar o suprimento da demanda de energia de outro em períodos de seca.

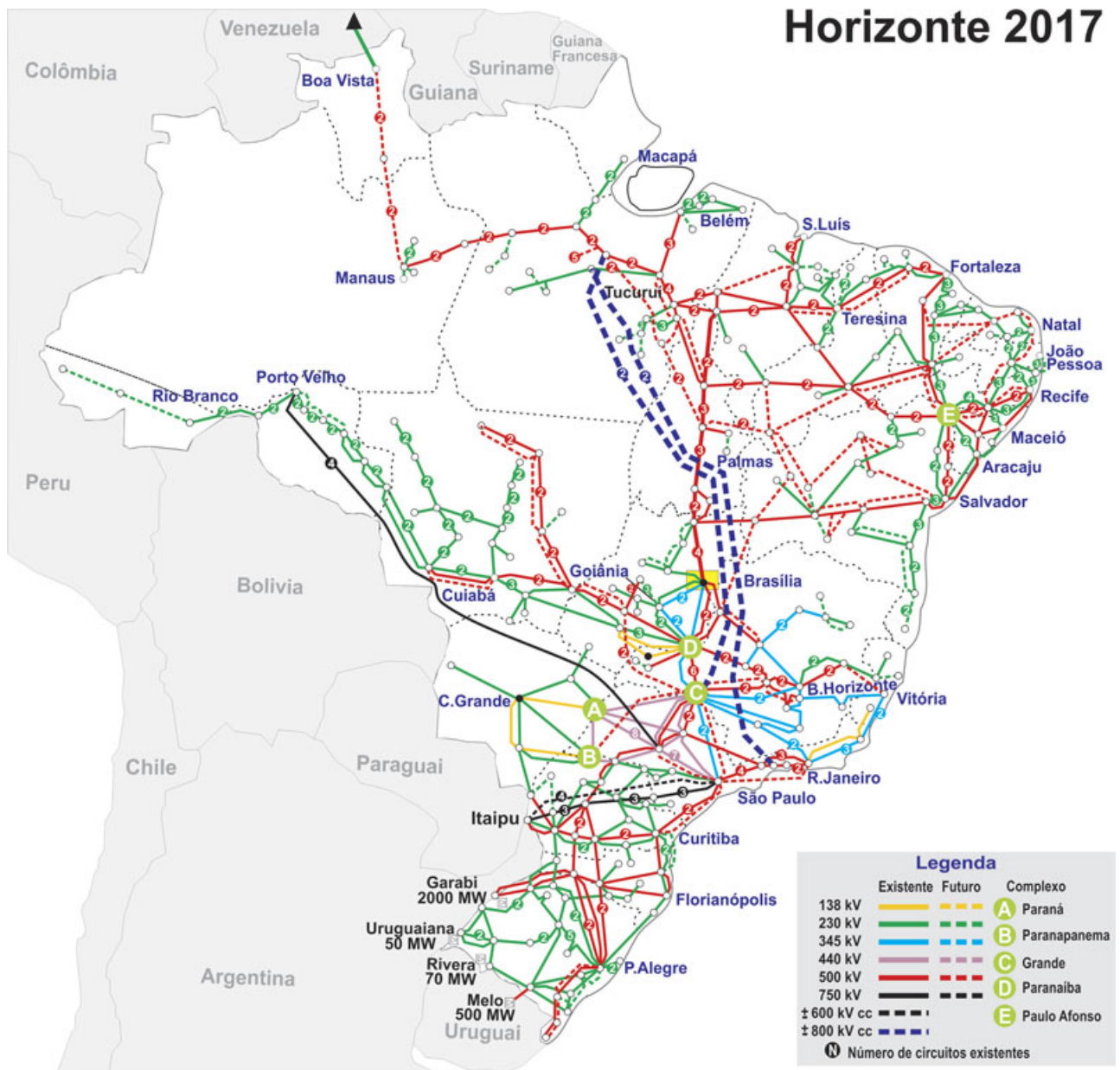


Figura 2.2: Mapa do Sistema Elétrico Brasileiro no horizonte de 2017[1]

Participam desse sistema diversos agentes[9], sendo eles:

- **Agentes geradores:** são agentes autorizados a gerar energia elétrica para o sistema
- **Agentes de transmissão:** são agentes que detem o meios de transmissão de energia

- **Agentes de distribuição:** são agentes autorizados a distribuir energia contratada dos serviços de transmissão em uma área definida pela concessão
- **Consumidores livres:** são consumidores que tem a opção de escolher o distribuir de energia, diferente do que acontece no consumo doméstico
- **Agentes importadores:** gente titular de autorização expedida pela ANEEL para exercer as atividades de importação de energia elétrica*
- **Agentes exportadores:** São agentes titulares de autorização para implantação de sistemas de transmissão associados à exportação de energia elétrica*
- **Agente comercializador da energia de Itaipu:** por ser uma usina binacional, segue tratos tratos específicos. Atualmente a a comercialização desta energia é coordenada pela Eletrobras

A reestruturação também dividiu o mercado de energia elétrica brasileiro em dois ambientes de comercialização: Ambiente de Contratação Regulada - ACR e Ambiente de Contratação Livre - ACL. O primeiro ambiente é focado na contratação de energia para consumidores residenciais e indústrias de baixo consumo em geral. As negociações são feitas através de leilões onde geralmente os contratos de fornecimento de energia tem foco no médio e longo prazo (duração maior que 5 anos). As distribuidoras são obrigadas a comprar 100% da energia utilizada através desse meio. O segundo ambiente é focado em contratações bilaterais, de forma a trazer benefícios para grande consumidores pois podem negociar o preço da energia direto com os geradores[10].

2.2 O Mercado de Curto Prazo

Dado o dinamismo do consumo, dificilmente a energia utilizada será igual a contratada. Uma das funções da CCEE é realizar medições tanto do que é produzido quanto o que é consumido. Esta instituição concentra todos os contratos do setor, e de posse dessa informação, realiza cálculos mensais com base na diferença entre o que foi negociado nos contratos e o que realmente foi utilizado. Esse valor será

liquidado utilizando como multiplicador o Preço de Liquidação das Diferença - PLD que será explicado mais a frente.

Esse processo de liquidação das diferenças é realizado no Mercado de Curto Prazo - MCP, também de base mensal regulado pela CCEE. A importância do PLD não se resume somente ao MCP, pois muitos dos contratos do mercado livre são baseados nesse valor[?]. Isto permite que os agentes tomem estratégias diferentes para aumentar o lucro ou diminuir o prejuízo. Um exemplo disso seria um agente consumidor, que ao prever o aumento de preços nos próximos meses, pode buscar realizar contratos para abastecimento futuro a um preço menor do que seria pago. Outro exemplo seria um distribuidor, que ao prever um baixo PLD no MCP do mês atual, decide vender o excedente de energia contratada no mercado livre ao invés de receber o valor proporcional ao PLD.

2.3 O Cálculo do Preço da Liquidação das Diferenças

O grande desafio do setor é utilizar a energia de maneira eficiente, reduzindo o custo da mesma e o risco de déficit tanto no mês atual quanto nos meses seguintes. Isto demanda planejamento com base nos cenários possíveis. Conforme observado na figura abaixo, o preço depende diretamente da quantidade de água nos reservatórios e a previsão de quanto água estará armazenada nos meses futuros.

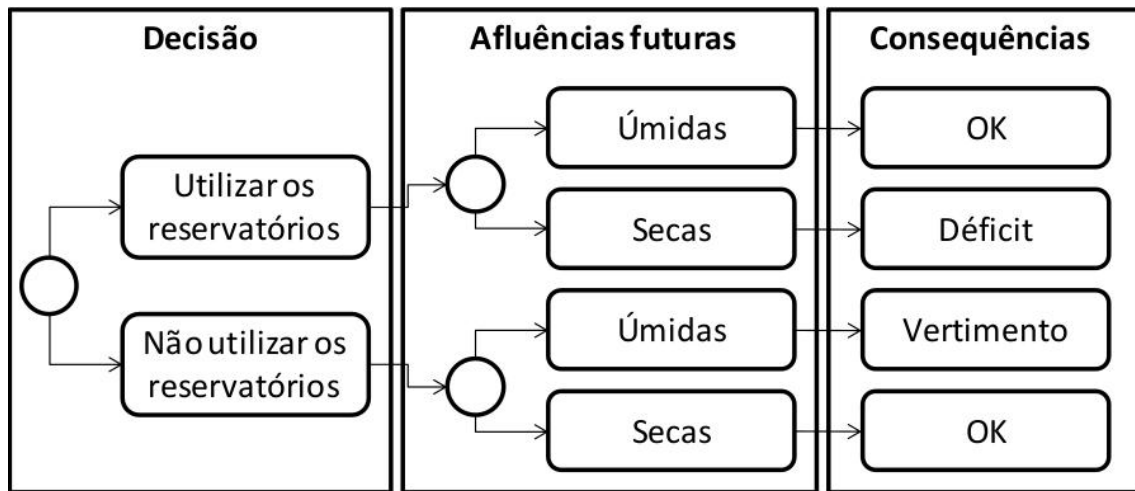


Figura 2.3: Planejamento da produção de energia do sistema hidrotérmico[?]

Sendo assim, utilizar as usinas hidrelétricas - UHEs na capacidade máxima gerará o menor custo de energia possível no mês atual, porém, se no futuro for necessário utilizar outras fontes para suprir a demanda energética, o custo pode ser muito maior do que em uma situação onde a produção energética da UHE foi distribuída durante os meses consecutivos. Por um outro lado, caso a quantidade de água armazenada em um reservatório supere o limiar máximo do mesmo, torna-se necessário liberar o excedente para o rio, situação chamada de "vertimento". Isto é indesejável, pois resulta em um desperdício de energia barata. Portanto, um planejamento equivocado pode causar altas no PLD, o que afeta diretamente os agentes que participam do mercado de energia elétrico brasileiro.

O Brasil atualmente possui uma matriz elétrica diferente do que em geral é observado no mundo. Em média 65,2% da energia utilizada no país vem de fontes hidráulicas, diferente do que ocorre em média no resto do mundo (aproximadamente 16,6%), assim como visto em[12]. Essa fonte além de ser renovável, tem impacto menor no meio ambiente e custos menores quando comparado com fontes baseadas em combustíveis fósseis. O grande ponto negativo e a característica volátil desse recurso, pois depende bastante de condições climáticas, o que dificulta o planejamento para períodos longos.

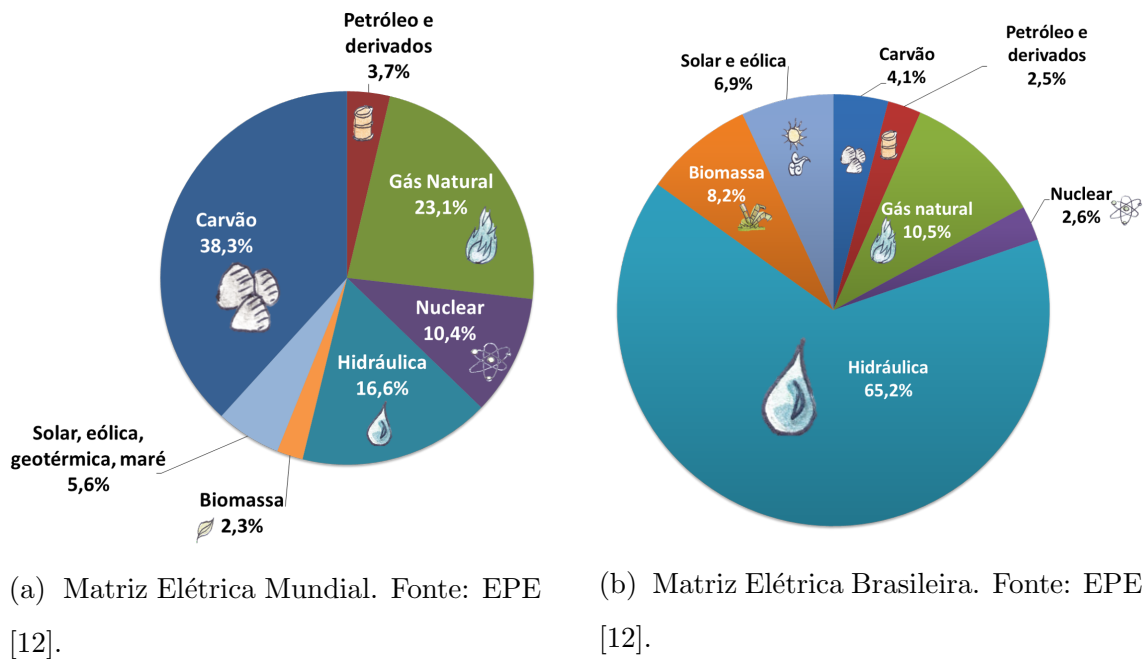


Figura 2.4: Comparação entre a matriz elétrica mundial e a brasileira

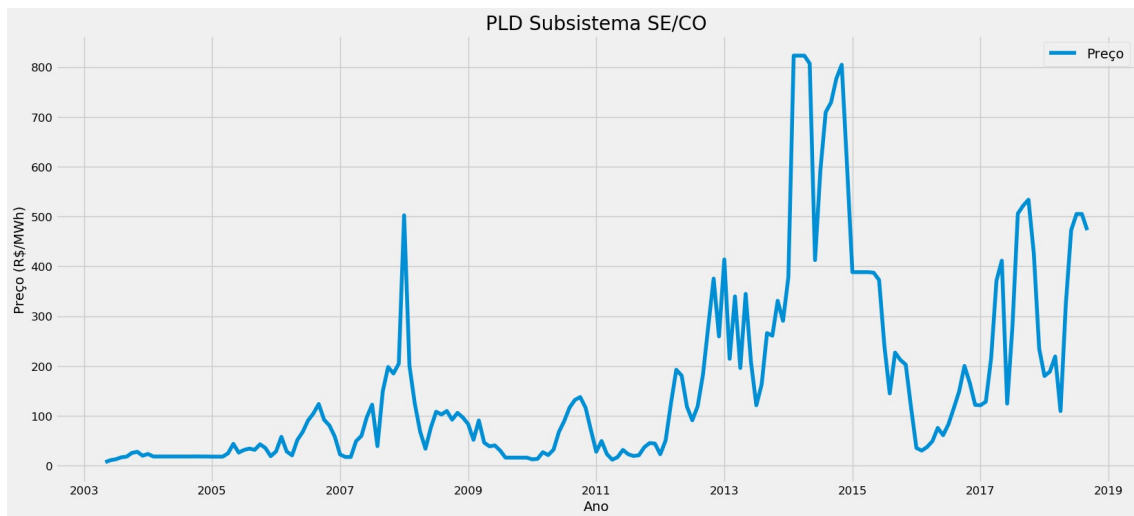


Figura 2.5: Instituições do setor elétrico brasileiro. Fonte: CCEE [13].

Assim como visto no gráfico acima, existem pontos onde o SIN foi afetado por crises, fazendo com que o PLD aumentasse abruptamente. No ano de 2007 ocorreu a primeira mostrada no gráfico. O SEB tinha passado por uma recente reestruturação da organização, a qual não foi suficiente para evitar o acontecimento. Durante o período de racionamento (2001/06 - 2002/02) a demanda foi menor do que a oferta, porém com o passar do anos ela voltou a se aproximar da curva de oferta. Após abril de 2005, houve um período sem investimento na capacidade energética sistema.

Junto com esse fato, ocorreu um período de baixa afluência nas usinas hidrelétricas.

Outra crise notável graficamente ocorreu no ano de

O PLD é calculado semanalmente e disponibilizado sexta-feira pela CCEE conforme a fórmula 2.1, com vigência na semana seguinte. Para cada um dos submercados do SIN são divulgados valores para os três patamares de carga: leve, médio e pesado. Esses estão relacionados com a hora do dia e o consumo, sendo que o patamar é pesado em horários de alto consumo e leve nos períodos de baixa demanda energética. O preço utilizado no MCP é uma média dos preços semanais (PLD médio mensal) ponderado pelo tempo em cada patamar.

$$PLD_{s,r,\omega} = \min(\max(CMO_{s,r,\omega}, PLD_{\min_{ano}}), PLD_{\max_{ano}}) \quad (2.1)$$

Onde:

Tabela 2.1: Variáveis utilizadas no cálculo do PLD semanal [11].

| Variável | Significado |
|---------------------------------|--|
| s | Subsistema ("N", "NE", "S", "SE\CO") |
| r | Patamar de carga ("leve", "médio", "pesado") |
| w | Semana do mês |
| CMO -Custo Marginal de Operação | Custo para produção de um MWh adicional no SIN |
| $PLD_{\min_{ano}}$ | PLD mínimo estabelecido anualmente pela ONS |
| $PLD_{\max_{ano}}$ | PLD máximo estabelecido anualmente pela ONS |

O planejamento e o cálculo do PLD é feito com base em programas desenvolvidos especificamente para o SIN. Alguns deles são:

- TODO -SIGLA - NEWAVE: Responsável pelo planejamento
- TODO -DECOMP:

cálculo do PLD é feito pelo programa DECOMP[TODO - citar material sobre o DECOMP], o qual utiliza ...

Pesquisas na área

Capítulo 3

Conclusões

Tratam-se das considerações finais do trabalho, mostrando que os objetivos foram cumpridos e enfatizando as descobertas feitas durante o projeto. Em geral reserva-se um ou dois parágrafos para sugerir trabalhos futuros.

Observe que neste modelo a conclusão é numerada pelo numeral 3, mas o projeto não tem a obrigatoriedade de possuir apenas 3 capítulos. Alias, espera-se que tenha mais que isso.

Referências Bibliográficas

- [1] ONS, “Mapas”, <http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>, 2019, (Acesso em 27 Janeiro 2019).
- [2] SILVA, E. F. D., *Principais Condicionantes das alterações no modelo de comercialização*. M.Sc. dissertation, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.
- [3] SILVA, B. G. D., *Evolução do setor elétrico brasileiro no contexto econômico nacional: Uma análise histórica e econométrica de longo prazo*. Ph.D. dissertation, Universidade de São Paulo - Programa de pós-graduação em energia EP-FEA-IEE-IF, 2011.
- [4] CCEE, “Com quem se relaciona”, <https://bit.ly/2DKYD3r>, 2019, (Acesso em 31 Janeiro 2019).
- [5] CCEE, “A CCE”, https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/quem-somos/razao-de-ser, 2019, (Acesso em 31 Janeiro 2019).
- [6] ONS, “O Sistema Interligado Nacional”, <http://ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>, 2019, (Acesso em 27 Janeiro 2019).
- [7] EPE, “O que fazemos”, <http://www.epe.gov.br/pt/a-epe/o-que-fazemos>, 2019, (Acesso em 31 Janeiro 2019).
- [8] ONS, “O Sistema Interligado Nacional”, <http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>, 2019, (Acesso em 27 Janeiro 2019).
- [9] ONS, “Governança”, <http://ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/governanca/assembleia-geral>, 2019, (Acesso em 27 Janeiro 2019).

- [10] CASTRO, N. J. D., LEITE, A. L. D. S., “Preço spot de eletricidade: teoria e evidências do caso brasileiro”, *IV Encontro de Economia Catarinense, 2010, Criciúma, , 2010.*
- [11] CCEE, “Preço de Liquidação das Diferenças *Anexo 1.0 formatado – CCEE*”, *www.ccee.org.br/ccee/documentos/ccee_059061*, 2019, (*Acesso em 10 de Fevereiro de 2019*).
- [12] ENERGÉTICA, E. D. P., “Matriz Energética e Elétrica”, <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>, 2018, (*Acesso em 26 Janeiro 2019*).
- [13] CCEE, “Preço Médio da CCEE”, https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_tua/precos/precos_medios, 2019, (*Acesso em 4 de Fevereiro de 2019*).

Apêndice A

O que é um apêndice

Elemento que consiste em um texto ou documento elaborado pelo autor, com o intuito de complementar sua argumentação, sem prejuízo do trabalho. São identificados por letras maiúsculas consecutivas e pelos respectivos títulos.

Apêndice B

Encadernação do Projeto de Graduação

| | |
|---------------------------|--|
| | |
| Número | |
| Nome do Aluno | <p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO</p> <p>Escola Politécnica</p> <p>Departamento de Eletrônica e de Computação</p> |
| Título do Projeto* | <p>Título do Projeto</p> <p>Nome do Aluno</p> |
| Ano | <p>Projeto de Graduação</p> <p>Mês / Ano</p> |
| | |

*** Título resumido caso necessário**
Capa na cor preta, inscrições em dourado

Figura B.1: Encadernação do projeto de graduação.

Apêndice C

O que é um anexo

Documentação não elaborada pelo autor, ou elaborada pelo autor mas constituindo parte de outro projeto.