

Eduardo Werley Silva dos Ângelos

**Modelagem Tempo real de Sistemas de Energia Elétrica  
considerando Sincrofasores e Estimação de Estado  
Descentralizada**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências, Programa de Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistemas Elétricos de Potência.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Nobuhiro Asada.

São Carlos  
2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Â584m      Ângelos, Eduardo Werley Silva dos  
Modelagem tempo-real de sistemas de energia  
elétrica considerando sincrofasores e estimação de  
estado descentralizada / Eduardo Werley Silva dos  
Ângelos; orientador Eduardo Nobuhiro Asada. São Carlos,  
2013.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica e Área de Concentração em Sistemas  
Elétricos de Potência -- Escola de Engenharia de São  
Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

1. Estimação de estado. 2. Estimação de estado  
muitiárea. 3. Equivalentes externos. 4. Equivalente  
Ward estendido. 5. Sistemas de medição fasorial  
sincronizada. I. Título.

## FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **EDUARDO WERLEY SILVA DOS ÂNGELOS**.

Título da tese: "Modelagem tempo real de sistemas de energia elétrica considerando sincrofasores e estimação de estado descentralizada".

Data da defesa: 01/11/2013

### Comissão Julgadora:

### Resultado:

Prof. Dr. **Eduardo Nobuhiro Asada (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Prof. Associado **João Bosco Augusto London Júnior**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Prof. Dr. **Madson Cortes de Almeida**  
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

Aprovado

Prof. Dr. **Júlio César Stacchini de Souza**  
(Universidade Federal Fluminense/UFF)

APROVADO

Prof. Dr. **Antonio José Alves Simões Costa**  
(Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC)

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**



A minha avó paterna, Josefa, e a Rosa, em memória



# Agradecimentos

Ao Professor Eduardo Asada, pelos conhecimentos partilhados, pelo profissionalismo, parceria e atenção ao longo destes anos.

A meus pais, Josué e Ana Lúcia, por tornarem este sonho possível.

A minha amiga e esposa Sônia, e nossa pequena Quéren, que veio abrilhantar os intensos anos de doutorado.

A meus familiares e amigos, próximos e distantes.

Aos mestres e colegas da USP São Carlos.

À Universidade de São Paulo e à Escola de Engenharia de São Carlos, pelas instalações e infraestrutura fornecidas para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Osvaldo Saavedra e amigos da Engenharia Elétrica da UFMA, que são parte indissolúvel da minha história.

Ao CNPq pelo suporte financeiro.





# Resumo

Ângelos, E.W.S. **Modelagem Tempo real de Sistemas de Energia Elétrica considerando Sincrofasores e Estimação de Estado Descentralizada**. 2013. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências, Programa de Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

Esta tese investiga novas estratégias para a construção de modelos em tempo real de Sistemas Elétricos de Potência. Busca-se a melhoria das funções de Estimação de Estado e aplicações correlatas por meio da consideração da medição fasorial sincronizada, fornecida por dispositivos PMUs, em ambientes onde as regiões monitoradas são de domínios de empresas diferentes e cuja distribuição geográfica apresenta distâncias consideráveis, como é o caso brasileiro. Uma das tarefas mais críticas dentro deste contexto é a representação adequada de sistemas não monitorados, que devem ser modelados de forma precisa, robusta e, preferencialmente, considerando dados que são acessíveis ao operador. A incorporação de redes externas em estimação multiárea é efetuada por uma etapa adicional de estimação ou embutida diretamente nos processos iterativos locais, mediante, neste último caso, a exigência de contínuos fluxos de dados entre áreas. No entanto, constata-se, neste estudo, que modelos clássicos de Equivalentes Externos reduzidos, particularmente os modelos tipo Ward, atendem satisfatoriamente aos requisitos computacionais e de precisão do problema, desde que sejam devidamente atualizados a cada mudança do ponto de operação. Desta forma, considerando sincrofasores de tensão e de corrente coletados por PMUs em regiões de fronteira, desenvolve-se um modelo de Estimação de Estado Descentralizada em que a etapa de pós-processamento por agentes externos independentes é removida, permitindo a obtenção do estado interconectado em um único passo, sem intercâmbio de dados operacionais em tempo real. Dois modelos são implementados, que diferem essencialmente na forma de tratamento dos dados de equivalentes externos. A metodologia é codificada em linguagem C++, sendo validada nos Sistemas IEEE de 14, 30 e 118 barras sob várias configurações de medição e de particionamento, mediante análise estatística e comparação de estimativas com valores de referência. Os resultados obtidos indicam a viabilidade da proposta para o fornecimento de mo-

delos de estimação de estado mais confiáveis, adaptados à atual tendência de descentralização de redes elétricas, sem grandes alterações nas funções já existentes e sob um custo computacional reduzido. Sugerem também a factibilidade do tratamento conjunto das funções relacionadas a Estimação de Estado e Equivalentes Externos.

**Palavras-chave:** Estimação de Estado, Estimação de Estado Multiárea, Equivalentes Externos, Equivalente Ward Estendido, Sistemas de Medição Fasorial Sincronizada.

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

