



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Processos de Decisão Markovianos em Sistemas de Segurança e Proteção

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

Iony Patriota de Siqueira

RECIFE, NOVEMBRO DE 1999



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

IONY PATRIOTA DE SIQUEIRA

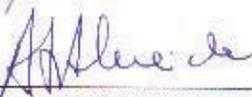
“Processos de Decisão Markovianos em Sistemas de Segurança e Proteção”

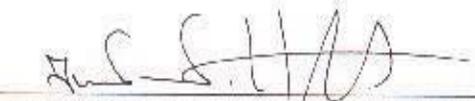
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE QUALIDADE

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o candidato IONY PATRIOTA DE SIQUEIRA **APROVADO COM DISTINÇÃO**.

Recife, 05 de novembro de 1999.


Prof. GAUSS MOUTINHO CORDEIRO, PhD (UFPE)


Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA, PhD (UFPE)


Prof. IVON PALMEIRA GITIPALDI, Doutor (Diretor Científico da FACEPE)

*Este trabalho é dedicado a
Gislaine, Ligia e Livia.
Sem elas nada teria sentido.*

*“The great progress in every science came
when, in the study of problems which
were modest as compared with ultimate
aims, methods were developed which
could be extended further and further.”*

John von Neumann
Oskar Morgenstern
Theory of Games and Economic Behavior

AGRADECIMENTOS

Este estudo resultou de um esforço conjunto de muitos profissionais do Departamento de Sistemas de Proteção e Medição (DPM), da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF), de suas divisões e serviços regionais de proteção e medição, e de dados fornecidos pelos órgãos normativos e executivos de operação, proteção, estudos elétricos, qualidade de energia, administração, finanças, recursos humanos e serviços gerais da CHESF e ELETROBRAS, sem os quais seria impossível sua conclusão. Em particular, o autor agradece a contribuição dos seguintes gerentes e profissionais da CHESF, indiretamente, no fornecimento de dados, ou diretamente, em fases específicas do projeto, em especial durante a realização do *I Seminário de Otimização da Manutenção de Sistemas de Proteção* (I SOMSP) da CHESF, para consolidação da metodologia proposta:

Alcindo José de Souza Campos, Ângela M. Araújo Silva, Carlos Augusto Reis, Carlos H. G. Almeida, Carlos Roberto Silva, Célio Alves Silva, Eliel Celestino da Silva, Eraldo Lima Ramos, Francisco Carlos Nogueira, Gustavo André de Azevedo, Hilda Maria Lima, Jailson Pires, João Carlos Pestana, Jocílio Tavares de Oliveira, Joel de Jesus Lima Sousa, José Carlos Silva, José E. B. Santana, José Gomes Silva, José Ronaldo de Melo Jucá, Josemi Araújo da Silva, Leonardo de Paula Gomes, Maerbal Dantas Filho, Manuel Castro San Martin, Marcia M.D.G. Alcoforado, Maria I. Silva Souza, Maria Socorro A. Andrade, Mauriney A. Pimentel, Mirian V. P. Macedo, Narciso Ferreira Barbosa, Paulo Murilo Lima Barros, Ricardo U. F. Ferraz, Roberto A. C. Flores, Roberto B. Silva Nen, Sandra S. Bispo Silva, Sérvulo O. Pinto, Severino F. M. Filho, Teófilo de Holanda Cavalcanti, Ubiratan Alves do Carmo e Wagner T. M. Costa.

O autor agradece ainda ao apoio financeiro do *Programa de Capacitação de Recursos Humanos para Atividades Estratégicas* (RHAE) do CNPq (Processo 6103446/95-4), através da Universidade de São Paulo (USP), que viabilizou a divulgação deste estudo na *Conference Internationale des Grands Reseaux Electriques a Haute Tension (CIGRÉ)*, em Paris; ao *Programa Brasileiro de Software para Exportação* (SOFTEX), pelo suporte financeiro para desenvolvimento do *software* de modelagem e simulação, e para participação na *International Conference on Intelligent User Interfaces* e *Workshop on Real-Time Intelligent User Interfaces for Decision Support and Information Visualization*, promovidos pela *Association for Computer Machinery* (ACM), em San Diego, e na *Virtual Worlds and Simulation Conference*, promovidos pela *Society of Computer Simulation International* (SCS), em San Francisco; e à CHESF, por possibilitar sua apresentação na *4th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems*, no Rio de Janeiro.

Um agradecimento especial aos amigos, Prof. Gauss Moutinho Cordeiro, Prof. Adiel Teixeira de Almeida e Prof. Ivon Palmeira Fittipaldi, da UFPE, pelo apoio e orientação no desenvolvimento e avaliação deste estudo.

Às minhas filhas, Ligia e Livia, e esposa Gislaine, pela compreensão, amor e incentivo neste projeto. A elas dedico este trabalho.

Muito obrigado!

RESUMO

Esta dissertação analisa e propõe métodos para a tomada de decisão na gestão de sistemas de segurança e proteção industriais. Descreve-se o problema geral de confiabilidade e administração de manutenção, apresentando metodologias de análise qualitativa, técnicas de modelagem matemática e processos decisórios aplicáveis.

A modelagem qualitativa baseia-se numa adaptação da técnica RCM (*Reliability-Centered Maintenance*), para a área de segurança e proteção em instalações industriais. Esta adaptação permite identificar as atividades mais adequadas para a manutenção destes sistemas.

Na abordagem quantitativa, são desenvolvidos modelos estocásticos baseados em processos Markovianos, adequados para simular seu comportamento estatístico. Neste estudo propõe-se um modelo em cadeia, parametrizável para muitas situações práticas em segurança industrial.

Os processos decisórios são baseados em métodos markovianos de múltiplos critérios, avaliados nos modelos estocásticos. Muitos objetivos conflitantes são definidos e medidos por indicadores tradicionais de qualidade industrial e de impactos sociais, de interesse para múltiplos decisores. Um método de rateio e priorização de objetivos é testado em um ambiente industrial, com decisores reais convidados.

Todos os métodos descritos foram aplicados ao setor de geração e transmissão de energia elétrica da região Nordeste do Brasil, e testados em mais de 80 instalações elétricas de alta tensão, operadas pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco. O ciclo decisório completo, envolvendo as etapas de *planejamento, modelagem, análise, decisão, ação e avaliação* de resultados, foi implantado, utilizando dados e decisores reais deste setor. Após a implementação, os resultados alcançados em anos subseqüentes foram avaliados, em termos dos objetivos decisórios originais, comprovando a adequacidade dos métodos propostos.

O estudo apresenta conclusões gerais, do ponto de vista acadêmico e prático, e sobre a utilidade da metodologia. Vários setores industriais e sociais são relacionados, como sugestões de áreas possíveis de aplicação do método. Os Apêndices resumem as ferramentas e bases de dados utilizados na pesquisa, os métodos e critérios de amostragem, bem como a codificação do modelo estocástico em uma linguagem de modelagem matemática.

ABSTRACT

This thesis analyses and proposes decision-making methods for industrial safety and protection administration. The general problem of reliability and maintenance managing is introduced, presenting a qualitative analysis methodology, a mathematical modeling technique and applied decision processes.

Qualitative modeling is based on an adaptation of RCM (*Reliability-Centered Maintenance*) technique to industrial safety and protective system areas. This adaptation allows the identification of activities adequate to the maintenance of these systems.

In the mathematical approach, stochastic models are developed based on Markovian processes, suitable to simulate their statistical behavior. In this thesis, a chain model is proposed, which can be parameterized to many practical scenarios from industrial safety.

Decision processes are based on markovian multicriteria methods, evaluated on stochastic models. Many conflicting objectives are defined and gauged by traditional indices from industrial quality and social impact analysis, of interest to multiple decision-makers. A method of rating and ranking objectives is tested in an industrial environment, by invited real managers.

All described methods were applied to the electric energy generation and transmission sector in the Northeast of Brazil, and tested in more than 80 high voltage electric power plants, operated by Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF). The complete decision cycle, including *planning*, *modeling*, *analysis*, *decision*, *action* and *evaluation* phases, was developed, based on real data and decision makers from this sector. After its completion, all attained results, in subsequent years, were evaluated, in relation to original decision targets, validating the adequacy of the proposed methods.

General conclusions are presented, from an academic and practical point of view, in relation to the utility of the method. Several industrial and social sectors are listed, as suggestions for possible application of the technique. An appendix resumes all tools and databases used on this research, methods and criteria for data sampling, as well as the coding of the stochastic model in a symbolic modeling language.