

Matrizes de Dependências Aplicadas ao Controle de Disponibilidade em Cascatas de Usinas Hidrelétricas

Gustavo M. Alfaro¹ **Dany S. Dominguez** **Gabriel Fornari**

Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz
Rodovia Jorge Amado, km. 16, 45.662-900, Ilhéus-BA.

E-mail: gmonne@live.com

dldominguez@gmail.com

gabrielfornari@gmail.com

RESUMO

Na atualidade, o crescimento da economia e da população mundial está diretamente relacionado ao consumo de energia, elemento que contribuiu a fazer dos sistemas de geração e transmissão de energia uns dos mais complexos setores industriais. No Brasil, o setor energético foi decisivo no desenvolvimento econômico alcançado nos últimos anos, liderado basicamente pelas usinas de geração hidrelétrica, que representam um 75,2% da geração total de energia elétrica do país [1].

A geração hidrelétrica destaca-se pelo baixo custo e impactos ambientais consideravelmente inferiores a outras formas de produção. Em detrimento, estes sistemas são caracterizados pela constante degradação dos seus componentes produto do regime adverso de trabalho, e devem ser rigorosamente monitorados por operadores e analistas de manutenção, tentando minimizar a ocorrência de falhas que provoquem interrupções no serviço.

Visando apoiar o trabalho de operação e manutenção, tem sido desenvolvidas na indústria várias metodologias e modelos de simulação que avaliam a disponibilidade e confiabilidade de sistemas [5], [6]. Estas metodologias têm sido aplicadas de acordo a normativas, tais como, Manutenção Orientada por Confiabilidade [7], e Gerenciamento de Ativos Físicos [2].

Neste trabalho é apresentado um método qualitativo baseado no uso de matrizes de dependências e técnicas de varredura para avaliar a disponibilidade de sistemas hidrelétricos de geração. O Método de Matrizes de Dependências (MMD) [3] classifica hierarquicamente os componentes do sistema objeto de estudo, os equipamentos mais simples são Componentes de Baixo Nível (CBN), e os elementos que representam sistemas e subsistemas são Componentes de Alto Nível (CAN). Em seguida, a estrutura do sistema e suas relações funcionais são mapeadas em uma matriz de dependências, e partindo de um vetor de elementos indisponíveis é possível executar um algoritmo baseado em heurísticas que computa a disponibilidade do sistema global. O algoritmo de varredura contempla duas etapas, a propagação das dependências diretas e a propagação das dependências indiretas ou aninhadas. A disponibilidade do sistema é oferecida segundo uma escala qualitativa, baseada em cores, que inclui os estados disponíveis, degradado, muito degradado e falhado.

A propagação de estados indisponíveis considera a existência de redundância de componentes em sistemas com alto risco, daí que no caso de existir dois componentes redundantes, e um deles estiver “indisponível”, o estado propagado ao subsistema vai ser “degradado”. Outra característica do método é a quantização dos elementos redundantes presentes em um subsistema, critério geralmente preestabelecido pelos analistas de risco, e que possibilita estabelecer um grau de maior precisão no nível de degradação que pode atingir um subsistema.

¹ Bolsista de mestrado da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB)

O algoritmo de varredura e as estruturas de dados utilizados no MMD garante um Consumo de Memória (CM) definido pela expressão:

$$CM^{MMD} = N_{CAN}N_{DEP},$$

onde N_{CAN} é o número de CANs do sistema, e N_{DEP} é o número máximo de dependências para um CAN.

O Número de Operações do Algoritmo (NOA) pode ser aproximado pela frequência de execução da operação dominante [4], sendo expressado na seguinte forma:

$$NOA^{MMD} = N_{CAN}N_{DEP}(N_{FAL} + N_{CAN}),$$

onde N_{FAL} é o número de CBNs indisponíveis na condição inicial. A equação anterior considera que as linhas da matriz de dependências estão ordenadas conforme o nível hierárquico de cada CAN, de forma que as linhas superiores correspondam aos elementos mais significativos do sistema. Dessa forma o número de operações associado à ordenação (NOA^{ORD}) das linhas da matriz de dependências usando o método *QuickSort* é definido pela expressão:

$$NOA^{ORD} = N_{CAN}^2 N_{DEP}(1 + N_{DEP}).$$

Para validar e verificar o MMD proposto neste trabalho foram resolvidos diversos problemas modelos que representam simplificações de empreendimentos e/ou cascatas de usinas hidrelétricas. Os testes consistiram na simulação da falha de alguns CBNs para observar a resposta do método ante estas situações. Em todas as simulações realizadas os resultados obtidos pelo MMD foram satisfatórios e corresponderam com o estado de disponibilidade global do sistema. A coerência dos resultados foi comprovada pela análise da matriz de dependência resultante, e pela comparação com o método de Árvore de Falhas. Os futuros desdobramentos deste trabalho incluem a comparação do MMD com métodos quantitativos baseados em cadeias de Markov e o aprimoramento da implementação para aumentar o desempenho computacional.

Palavras-chave: *Usinas Hidrelétricas, Método de Matrizes de Dependências, Algoritmos de Varredura, Análises de Disponibilidade.*

Referências

- [1] Ministério de Minas e Energia, *Anuario estatístico de energia elétrica 2013*.
- [2] British Standards Institution, *PAS 55 Asset management. Specification for the optimized management of physical assets*, 2008.
- [3] G. Fornari, G. Monné Alfaro and D. Sanchez Domingues, *Análises de disponibilidade em sistemas de usinas hidrelétricas utilizando matrizes de dependência*, 2013.
- [4] T. H. Cormen, C. E. Leiserson and R. R. L. Introduction to algorithm, 2nd ed., 2001.
- [5] D. S. Dominguez and J. R. Oliva, *Segurança e Confiabilidade em Sistemas Industriais – Princípios Básicos 2011*, JM Editora Ltda. Salvador, 2011, p. 108.
- [6] W. Wang and J. M. Loman, "Reliability Block Diagram Simulation Techniques Applied to the IEEE Std. 493 Standard Network," *IEEE Transactional on industry applications*, vol. 40, no. 3, 2004.
- [7] H. Wang, "A survey of maintenance policies of deteriorating systems," *European Journal of Operation Research*, vol. 139, pp. 469-489, 2002.