Aplicação de técnicas de análise de risco em um regulador de velocidade eletro-hidráulico de turbinas de centrais hidrelétricas

Application of risk analysis techniques in a electro-hydraulic speed governors of hydroelectric power plants

DOI: 10.46814/lajdv5n1-022

Recebimento dos originais: 24/02/2023
Aceitação para publicação: 28/03/2023

Rafael Rivelino da Silva Bravo
Doutor em Engenharia Mecânica
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS)
Endereço: Rua Avelino Antônio de Souza, 1730, Nossa Senhora de Fátima, Caxias do Sul – RS, CEP: 95043-700
E-mail: rafael.bravo@caxias.ifrs.edu.br

Cristiano Cardoso Locateli
Mestre em Engenharia Mecânica
Instituição: Companhia Riograndense de Saneamento
Endereço: Rua Santa Sofia, 151, Estância Velha, Canoas – RS, CEP: 92030-287
E-mail: cristiano.locateli@gmail.com

Acires Dias
Doutor em Engenharia Mecânica
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Endereço: R. Eng. Agronômico Andrei Cristian Ferreira, s/n, Trindade, Florianópolis - SC, CEP: 88040-900
E-mail: acires.dias@ufsc.br

Luís Fernando Peres Calil
Doutor em Engenharia Mecânica
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Endereço: Rua Dona Francisca, 8300, Bloco U, Joinville - SC, CEP: 89219-600
E-mail: fernando.calil@ufsc.br

Victor Juliano de Negri
Doutor em Engenharia Mecânica
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Endereço: R. Eng. Agronômico Andrei Cristian Ferreira, s/n, Trindade, Florianópolis - SC, CEP: 88040-900
E-mail: victor@emc.ufsc.br

RESUMO
No presente artigo aplicam-se técnicas de análise de risco em um regulador de velocidade eletro-hidráulico de uma turbina FRANCIS usada em usinas de centrais hidrelétricas. A análise de risco tem o objetivo de modelar a corrente causal do sistema regulador-turbina, identificando os perigos e riscos que poderão afetar a segurança humana e do equipamento, além do risco de perda de continuidade do fornecimento de energia. A função do regulador de velocidade é controlar o deslocamento angular das

pás que promovem a abertura e fechamento do distribuidor. O movimento do distribuidor controla a vazão e a rotação da turbina de acordo com a demanda de energia requerida pela central, de forma a garantir a qualidade de produção de energia elétrica. No entanto, condições potenciais de risco oriundas de fatores externos podem, em caso de falha do regulador de velocidade, ocasionar a perda de controle da turbina. Nestas condições, faz-se necessário interromper a vazão de água por meio do fechamento do distribuidor da turbina. Nesse sentido, realizou-se a análise de risco por meio da análise de eventos por rede causal (CNEA) a fim de identificar os componentes críticos que influenciam no reposicionamento do distribuidor à condição de segurança. A partir dos elementos identificados buscaram-se encontrar, por meio das técnicas FTA e ETA, os demais componentes relacionados e suas interações lógicas com o intuito de identificar os pontos críticos do sistema técnico e as barreiras usadas para mitigar ou evitar a ocorrência de um incidente.

Palavras-chave: Análise de Risco, Regulador de Velocidade, CNEA, FTA, ETA.

ABSTRACT

In the present paper are applied techniques of risk analysis in electro-hydraulic speed governors of a Francis turbine used in hydroelectric power plants. Risk analysis is intended to model the causal chain of the governor-turbine system, identifying hazards and risks that could affect human and equipment safety, besides the risk of loss of continuity of the energy supply. The function of the speed governor is to control the angular displacement of the mobile blades that open and close the distributor. The movement of the distributor controls the flow and rotation of the turbine according to the energy demand required by the plant, to ensure the quality of electric power production. However, potential risk conditions arising from external factors may, in case of failure speed governor, causing loss of control of the turbine. Under these conditions, it is necessary to stop the water flow by closing the turbine distributor. In this context it was accomplished the risk analysis through the analysis of events by causal network (CNEA) to identify critical components that influence the repositioning of the distributor to the condition of safety. From the elements identified, through the FTA and ETA techniques, were identified other related components and their logical interactions in order to identify the critical points of the technical system and barriers used to mitigate or avoid the occurrence of an incident.

Keywords: Risk Analysis, Speed Governors, CNEA, FTA, ETA.

1 INTRODUÇÃO

No presente artigo aplicam-se técnicas de análise de risco em um regulador de velocidade eletro-hidráulico de uma turbina FRANCIS usada em usinas de centrais hidrelétricas. A análise de risco tem o objetivo modelar a corrente causal do sistema regulador-turbina, identificando os perigos e riscos que poderão afetar a segurança humana e do equipamento, e o risco de perda de continuidade do fornecimento de energia.

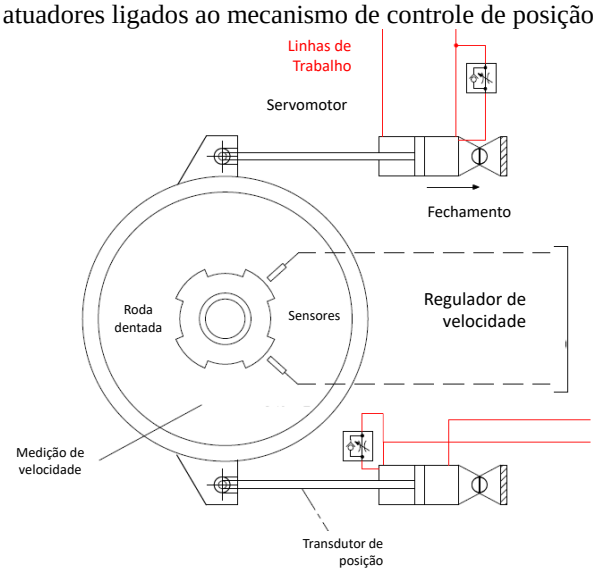
A função do regulador de velocidade é controlar o deslocamento angular das pás que promovem a abertura e fechamento do distribuidor. O movimento do distribuidor controla a vazão e a rotação da turbina de acordo com a demanda de energia requerida pela central, de forma a garantir a qualidade de produção de energia elétrica.

O regulador de velocidade (RV) pode ser decomposto em três funções ou subsistemas: sistema de controle eletrônico, sistema eletro-hidráulico e sistema mecânico, do qual faz parte o distribuidor.

O posicionamento das pás do distribuidor é feito pelo chamado servomotor[1], o qual é tipicamente composto por um ou dois cilindros hidráulicos de dupla ação, de acordo com o tipo de turbina (Figura 1). O controle de posição do cilindro é feito por intermédio da válvula distribuidora, controlada por uma válvula direcional proporcional. Esta última recebe os sinais de referência do sistema de controle, de onde se define a posição de abertura do distribuidor. No entanto, determinadas condições de risco oriundas de fatores externos, como queda de tensão da rede ou excesso de vazão na turbina que, se associadas à falha do regulador de velocidade, podem potencializar ou ocasionar incidentes de menores a maiores proporções à rede local e a segurança dos trabalhadores da usina. Nestas condições, faz-se necessário restabelecer a condição de segurança da usina por meio do fechamento do distribuidor e, consequente, interrupção da vazão de água.

Sob este enfoque realizou-se a análise de risco do sistema eletro-hidráulico que controla o regulador velocidade. Por meio da análise de eventos por rede causal (CNEA) identificaram-se os componentes críticos que influenciam no reposicionamento do distribuidor, a sua condição de segurança e os possíveis efeitos gerados com a falha do RV. A partir dos elementos identificados buscaram-se encontrar por meio das técnicas FTA e ETA os demais componentes relacionados e suas interações lógicas com o intuito de identificar os pontos críticos do sistema técnico e as barreiras usadas para mitigar ou evitar a ocorrência de um incidente.

Figura 1. Disposição dos atuadores ligados ao mecanismo de controle de posição do distribuidor da turbina.



[1] No domínio de centrais hidrelétricas, o atuador hidráulico é denominado de servomotor, conforme ANSI/IEEE Std. 125, 1988.

2 SISTEMA ELETRO-HIDRÁULICO

O circuito hidráulico de comando do regulador de velocidade possui duas unidades de potência hidráulica, uma principal e uma de redundância. Um acumulador tipo bexiga é usado como fonte de energia hidráulica em situações de emergência no caso de falha das UPCHs (unidades de potência e condicionamento hidráulico). A Figura 2 mostra o diagrama eletro-hidráulico de comando do regulador de velocidade RV.

As válvulas de controle 1V1 e 1V5 (válvula proporcional e válvula distribuidora) controlam a posição do servomotor e das pás do distribuidor (Figura 1). A válvula proporcional 1V1 atua como o estágio piloto da válvula distribuidora 1V5 (linha piloto PA). A Figura 1 mostra a disposição dos atuadores ligados ao mecanismo de controle de posição do distribuidor na turbina. Observa-se que a linha piloto PA da válvula distribuidora tem a função de posicionar os atuadores (Figura 2). Em caso de falha da válvula proporcional (ou das outras válvulas dispostas em série na linha de pilotagem “PA” da válvula 1V5), a válvula distribuidora será pilotada somente pela linha “PB”, o que resulta no fechamento do distribuidor.

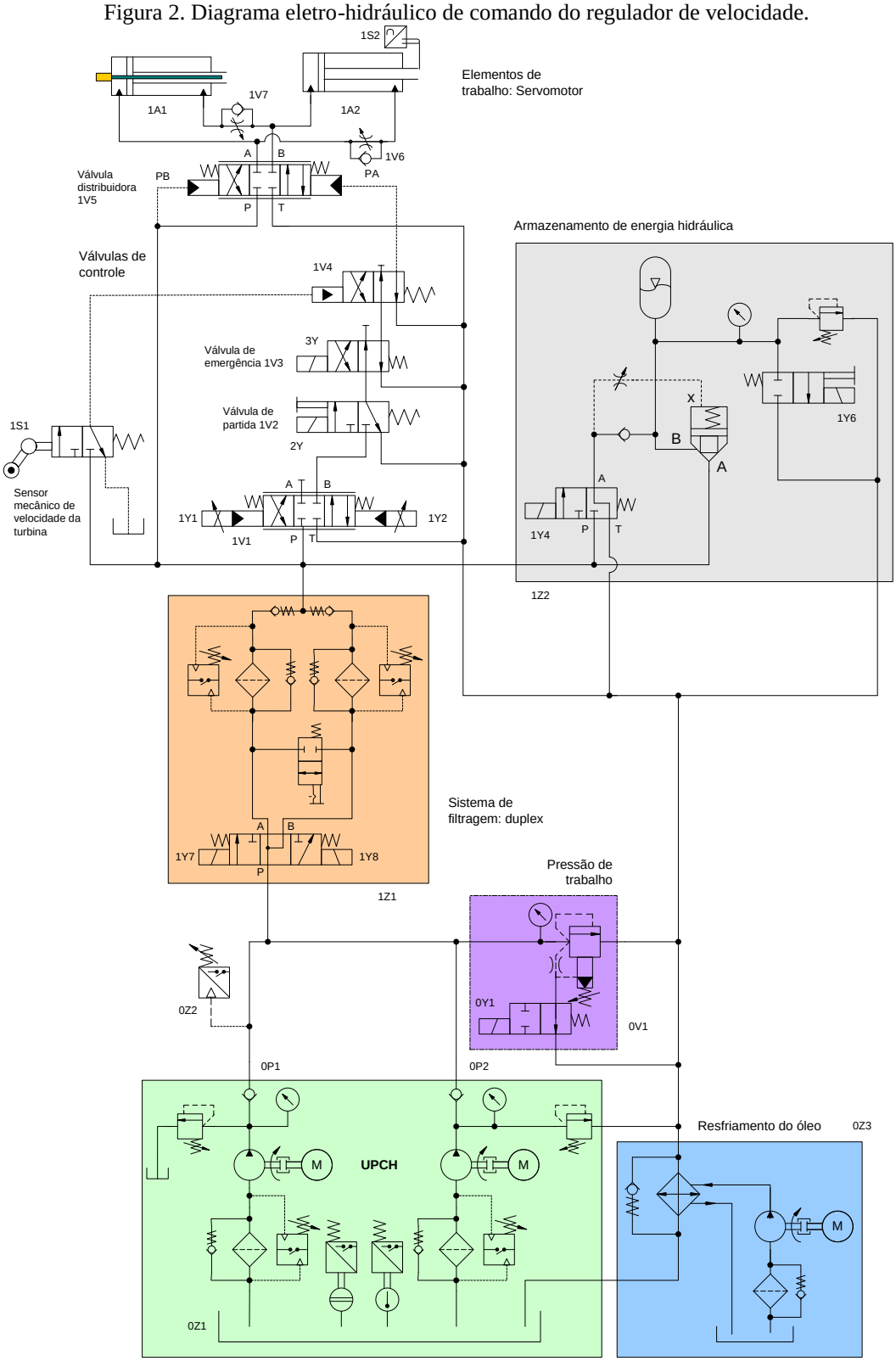
As válvulas 1V2, 1V3, 1V4 e o sensor mecânico de rolete 1S1 desempenham as funções de segurança do sistema eletro-hidráulico. A válvula de partida 1V2 é energizada somente depois do acionamento da UPCH e desenergizada em casos de falha do RV. Esta válvula pode ser comandada remotamente pelo sistema de supervisão, ou manualmente, pelo operador da sala de máquinas.

O solenoide 3Y da válvula de emergência 1V3 permanece energizado concomitante ao circuito hidráulico. No entanto, em caso de falha do RV e subsistemas (controle, eletro-hidráulico ou mecânico) pode-se desenergizar a válvula e fechar o distribuidor. De igual modo, o sistema de controle interrompe automaticamente a alimentação elétrica da válvula 1V3 em caso de sobrevelocidade da turbina (identificada por meio de sensores óticos, Figura 1) por intermédio de relés auxiliares. Em última instância, se a velocidade angular da turbina ultrapassar determinado percentual, a força centrífuga gerada pela rotação desativa um mecanismo acoplado à turbina que desarma o rolete mecânico 1S1, o que despressuriza a linha de pilotagem da válvula 1V4. Esta ação também resulta no fechamento do distribuidor e coloca a turbina em condição de segurança.

As válvulas reguladoras de vazão (1V6 e 1V7) exercem a importante função de restringir a vazão de saída dos cilindros hidráulicos, regulando assim, a velocidade de fechamento do distribuidor. Acelerações e desacelerações acentuadas dos cilindros podem ocasionar falha mecânica prematura, vazamento de óleo e golpes de aríete. Além dos componentes descritos, são previstos no circuito uma série de sensores controlados e monitorados pelos sistemas de supervisão e controle. Fazem parte deste conjunto, sensor de nível do óleo, sensor de temperatura, sensores eletromecânicos de fim de curso,

pressostatos diversos e transdutor de pressão, transdutores de posição do servomotor, distribuidor e válvula proporcional, sensores de medição da velocidade da turbina, dentre outros.

Figura 2. Diagrama eletro-hidráulico de comando do regulador de velocidade.



Identificação dos componentes:

1A1, 1A2: Cilindros hidráulicos (servomotor);

1V1: Válvula proporcional de controle;

1V2: Válvula de partida;

1V3: Válvula de emergência;

1V4: Válvula piloto;

1V5: Válvula distribuidora;

1V6, 1V7: Válvula reguladora de vazão;

0P1: UPCH 1 (unidade de potência e condicionamento hidráulico principal);

0P2: UPCH 2 (unidade de emergência);

0Z1: Reservatório e componentes eletro-hidráulicos de condicionamento do fluido;

0Z2: Pressostato de controle de queda de pressão;

0Z3: Sistema de resfriamento;

1Z1: Elementos de filtragem;

1Z2: Acumulador hidráulico e bloco de válvulas;

0V1: Válvula limitadora de pressão e descarga;

1S1: Sensor mecânico de rolete;

1S2: Sensor de posição do atuador hidráulico.

3 ANÁLISE DE RISCO

Na sequência, serão aplicadas as técnicas CNEA, ETA e FTA no estudo de análise de risco do regulador de velocidade.

a. Análise de eventos por rede causal, CNEA

A análise de risco do sistema eletro-hidráulico do regulador de velocidade inicia com a aplicação da técnica CNEA (Figura 3). A análise de eventos por rede causal (CNEA – *causal network event analysis*) é uma técnica que estrutura a análise de risco por meio da representação das ligações entre o evento analisado (que fica no centro do diagrama), causas (à esquerda), efeitos (à direita) e as barreiras que atuam na corrente causal.

A CNEA é uma técnica caracterizada pela sua capacidade de integrar a estrutura FTA/ETA com a técnica FMEA. Além disso, a CNEA permite trabalhar os resultados das análises das referidas técnicas numa forma que facilita a comunicação dos resultados da análise. A técnica CNEA é utilizada para análise de eventos, causas, efeitos e barreiras a serem interpostas a fim de diminuir a chance das causas deflagrarem o evento central ou mitigar os seus efeitos.

A análise do regulador de velocidade pela técnica CNEA está estruturada em cinco etapas: definição do escopo de análise, identificação do modo de falha, identificação das causas, identificação dos efeitos e identificação das barreiras.

A Figura 3 mostra o resultado da análise. O escopo da análise foi limitado à análise funcional dos componentes pertencentes ao subsistema, circuito eletro-hidráulico, que controla o RV. A função do sistema técnico é a geração de energia numa frequência pré-estabelecida pela demanda de energia elétrica. Para haver o funcionamento apropriado do sistema, deve ocorrer um correto posicionamento do servomotor e das pás do distribuidor, proporcional ao sinal de referência enviado pelo sistema de controle em malha fechada. No enfoque da confiabilidade do sistema, o modo de falha seria o funcionamento da turbina fora dos parâmetros de referência. No entanto, por se tratar de uma análise de risco, sempre que for verificado um problema em algum dos subsistemas técnicos do RV, a primeira medida corretiva a ser tomada é a de interromper o funcionamento da máquina por meio do fechamento do distribuidor. Nestas condições, o modo de falha é identificado pela falha no fechamento do distribuidor, como indicado na Figura 3.

O modo de falha pode ser originado por falhas no servomotor (cilindros hidráulicos), na unidade de potência fornecedora de energia hidráulica ou nas válvulas de controle e comando do circuito. Além das falhas encontradas nos componentes do sistema eletro-hidráulico, devem ainda ser consideradas falhas nos sensores ou perda de sinal de controle ou monitoramento das variáveis de trabalho.

As barreiras levantadas com a função de prevenção contra uma falha do circuito eletro-hidráulico são compostas por sistemas de redundância ou pela disposição em série das válvulas de comando, o que implica que a desativação de apenas uma destas válvulas já permite o fechamento do distribuidor. As barreiras levantadas com a função de contingência somente serão ativadas nos casos em que todos os elementos (principais e de redundância) falharem em sua função de habilitar o fechamento do distribuidor. Neste sistema técnico em particular, as barreiras de contingência estão além das fronteiras do regulador de velocidade. No caso de falha das medidas de prevenção do RV, fecha-se a válvula de adução (quando existir) que interrompe a vazão de água para o distribuidor e, na falha desta, fecham-se as comportas da usina. Dependendo do projeto da central hidrelétrica, algumas usinas compartilham do mesmo circuito de potência hidráulico para o comando da válvula de adução. No entanto, o circuito de fechamento das comportas das turbinas é independente do circuito do regulador de velocidade.

Como exemplos de eventos gatilhos com potencial para desencadear uma sobrevelocidade da turbina podem ser citados o excesso de vazão, frequente em períodos de muita chuva e enchentes, e a queda temporária de demanda da rede elétrica. A ocorrência destes eventos, aliada à falha do regulador de velocidade, pode trazer como consequência a descontinuidade da função e avarias ao sistema

técnico, acidentes com trabalhadores, além da interrupção do fornecimento de energia elétrica para a comunidade. De acordo com a gravidade da avaria, a central hidrelétrica pode permanecer fora de operação por um período de tempo indeterminado.

Uma das vantagens associadas ao emprego da técnica CNEA está na sua capacidade de modelar as causas que desencadeiam o evento final, as barreiras de prevenção e contingência, até as possíveis consequências, sejam estas de menores proporções até falhas catastróficas. Esta característica da CNEA possibilita uma visão abrangente do sistema técnico sem, contudo, exigir um conhecimento detalhado das interações lógicas e sistêmicas do processo em análise.

Figura 3. Diagrama de análise de eventos por rede causal do regulador de velocidade.

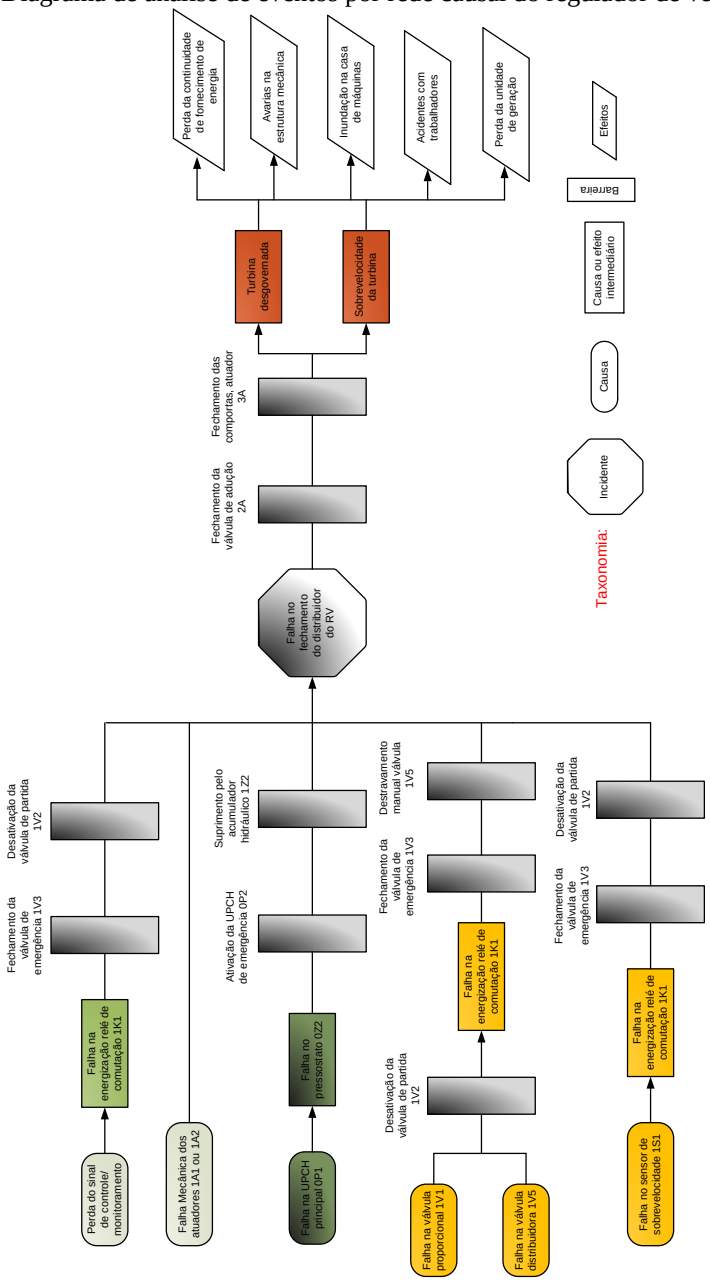
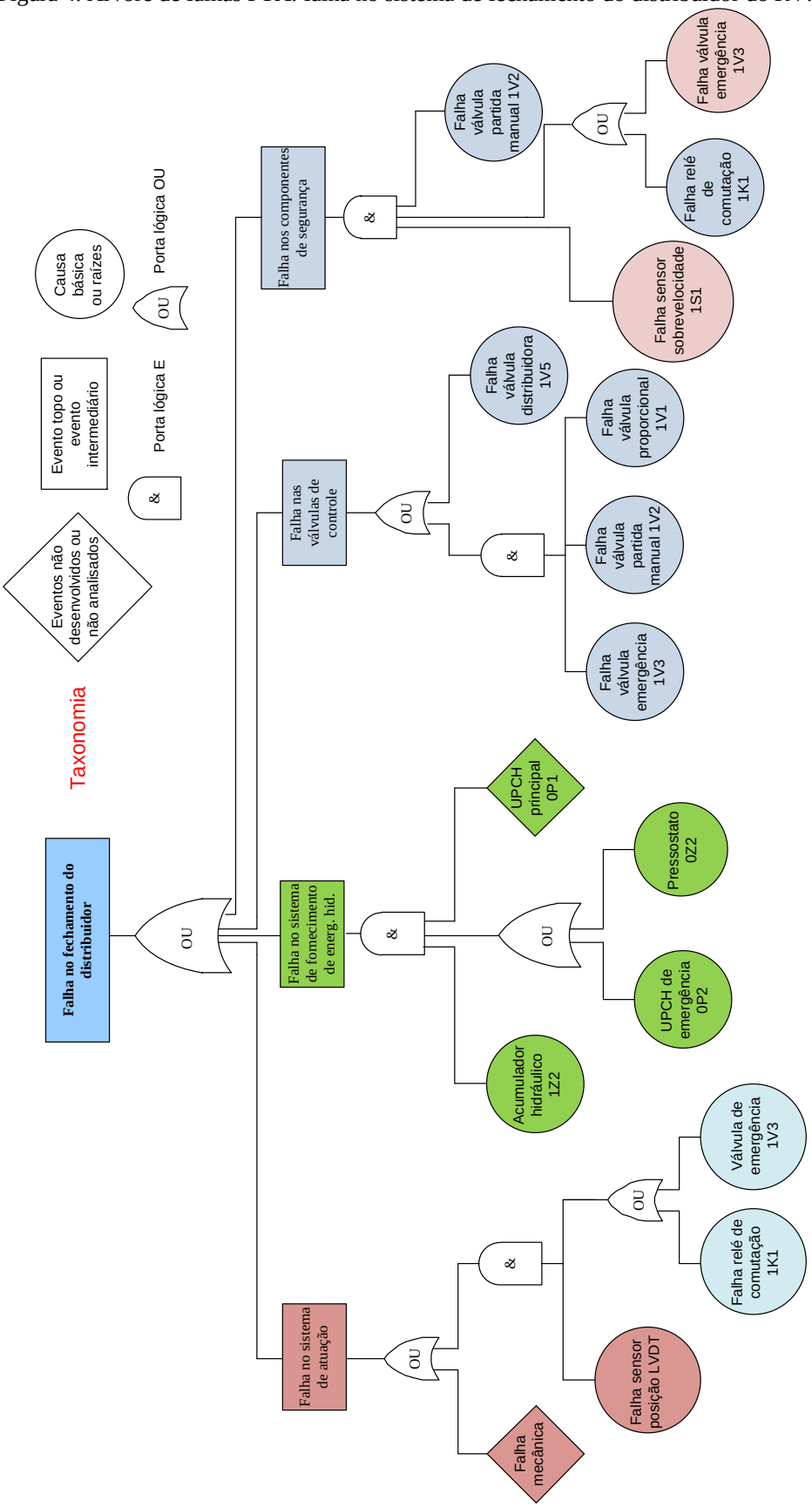


Figura 4. Árvore de falhas FTA: falha no sistema de fechamento do distribuidor do RV.



b. Análise por árvore de falhas (FTA)

A análise por árvore de falhas (FTA) do regulador de velocidade está mostrada na Figura 4. A FTA é uma técnica dedutiva que, a partir de um evento inicial, chamado de evento topo, identificam-se os eventos intermediários resultantes da associação lógica das causas básicas ou raízes, que geraram o evento de topo. O exame e a estratificação dos eventos intermediários seguem até que se tenha identificado as causas básicas para a ocorrência do evento de topo, ponto onde se tem o limite de resolução da FTA (Dias et al. 2011).

Um dos objetivos de aplicação da técnica foi o de encontrar as relações lógicas realizadas pelos componentes críticos, ou seja, aqueles cujo funcionamento afeta o deslocamento dos servomotores no sentido de posicionar as pás do distribuidor na condição de fechamento da passagem de água. Pelo conhecimento dessas relações torna-se possível identificar quantitativamente e qualitativamente os pontos mais vulneráveis do sistema técnico com o intuito de garantir a continuidade da função por meio de uma gestão eficaz de manutenção e monitoramento dos componentes críticos, ou ainda, por meio da instalação de elementos adicionais de segurança ou emergência.

Destaca-se que a operação de fechamento do distribuidor somente ocorre depois de manifestada determinada falha, como do erro de posicionamento das pás do distribuidor, ou erro de rotação e/ou frequência da turbina, perda de sinais do sistema de controle ou sensores da planta, ou algum outro problema identificado pelo sistema de supervisão. Nestas condições, quando o operador da casa de máquinas confirmar a incapacidade do sistema regulador de velocidade retornar ao seu funcionamento regular, o mesmo deve tomar as devidas ações corretivas no sentido de fechar o distribuidor.

Pela FTA verifica-se que os servomotores (atuadores hidráulicos 1A1 e 1A2) e a válvula distribuidora 1V5 são os componentes considerados críticos, ou seja, aqueles que precisam ser tratados como prioritários no tocante a prevenção de falhas. Os demais já dispõem de meios alternativos (sistemas de redundância e instalação de válvulas em série) para garantir a função de reposicionamento dos atuadores na condição de fechamento do distribuidor, conforme pode ser observado nas figuras 2 e 4. É importante mencionar que, tanto no servomotor quanto na válvula distribuidora, estão instalados transdutores eletrônicos de posicionamento, o que pode facilitar a identificação de problemas e reduzir a probabilidade de uma falha catastrófica. Contudo, para estes componentes recomendam-se que sejam feitos estudos probabilísticos e análises funcionais e estruturais dos modos de falha e efeito (FMEA) a fim de evitar a ocorrência de falhas mecânicas e eletromecânicas, e orientar as decisões sobre as ações de manutenção para garantir as condições de "tão bom quanto novo" desses sistemas.

c. Análise por árvore de eventos (ETA)

A fim de modelar a ordem de atuação das válvulas que servem de barreiras de segurança e sistemas de redundância, foi empregada a técnica de análise por árvore de eventos. A ETA pode ser utilizada tanto para análise qualitativa quanto quantitativa. Na análise qualitativa, o foco é a possibilidade de se visualizar os eventos e sua interação. No caso da análise quantitativa, as probabilidades de ocorrência de cada evento são incluídas na análise, o que permite calcular sua probabilidade de ocorrência (Dias et al. 2011).

A ETA é uma técnica indutiva de análise dos possíveis resultados (saídas ou efeitos para o sistema) decorrentes de um evento inicial, chamado de "evento inicializador" (normalmente um acidente ou fato indesejado) levando-se em consideração as barreiras de segurança, eventos complementares e/ou fatores externos (DIAS et al, 2011).

As figuras 5 e 6 ilustram a aplicação da técnica no sistema regulador de velocidade sob dois efeitos inicializadores, que podem levar a perda de controle da turbina ou a uma falha catastrófica, caso condições externas de perigo ocorram concomitantemente aos efeitos referidos nas figuras. Não obstante o estudo das comportas e válvula de adução estar além das fronteiras do escopo da análise, tal como no CNEA, estes componentes foram agregados na análise em razão dos mesmos serem usados como barreiras na condição de falha dos componentes eletro-hidráulicos empregados nas condições de emergência do RV.

Na Figura 5 o evento inicializador é identificado como fechamento do distribuidor. Neste caso, considerou-se que a falha não provém da unidade de potência hidráulica. Observa-se na figura que a primeira tentativa de correção do problema é realizada remotamente na sala de comandos por meio do sistema de supervisão, onde se tenta restabelecer o controle dos atuadores através da desenergização da válvula de partida 1V1. Se a válvula não responder ao comando elétrico, o operador pode atuá-la manualmente. Sucessivamente, no caso de insucesso, é desenergizada a válvula de emergência 1V2, a válvula piloto 1V3 e, prosseguindo o estado de falha, seguem as etapas de fechamento do canal de adução e fechamento das comportas.

No caso de uma falta de pressão na UPCH (0P1) haverá queda de pressão e, conforme mostrado na ETA (Figura 6), é ativado o pressotato 0Z2 e a unidade de potência de emergência 0P2. Persistindo o estado de falha, a energia hidráulica deve ser suprida pelo acumulador hidráulico 1Z2. Se ainda houver falha destes componentes, novamente seguem as etapas de fechamento manual-eletromecânico do canal de adução e fechamento das comportas, tal como descrito no parágrafo anterior.

Figura 5. Árvore de Eventos referente a ação para o fechamento do distribuidor.

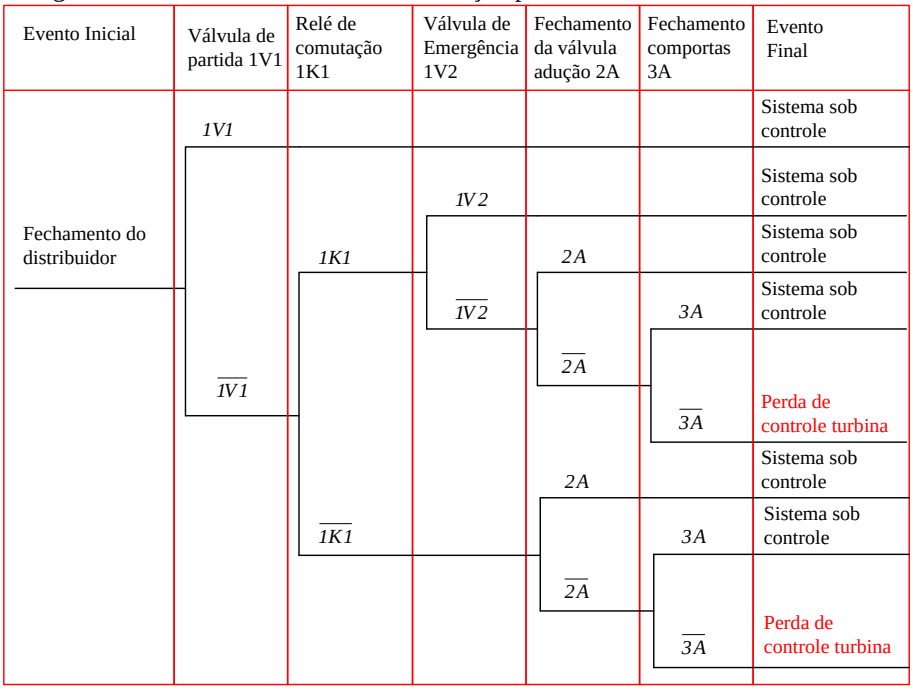
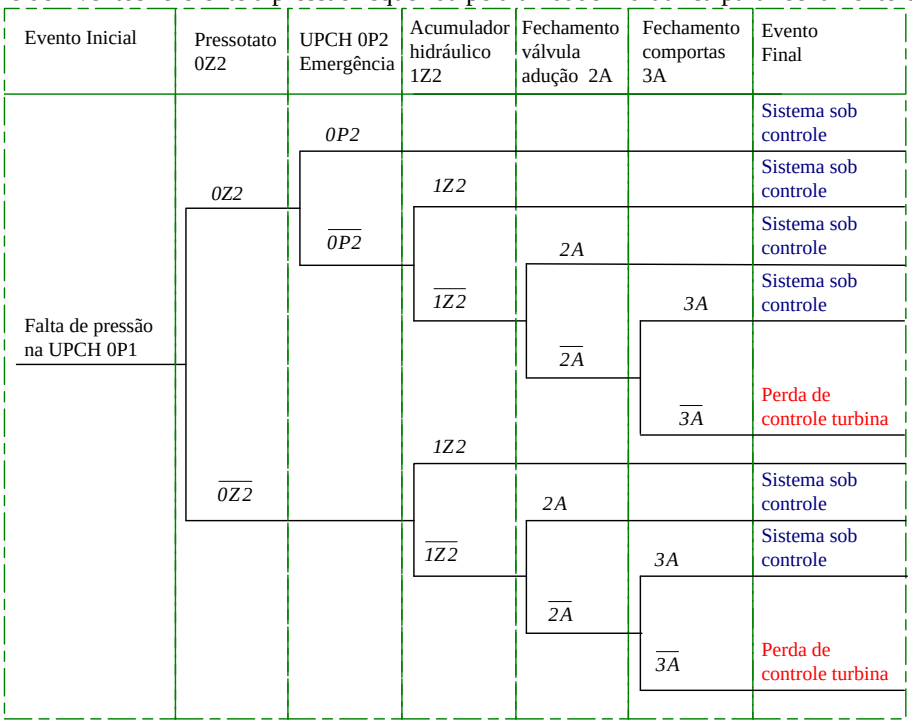


Figura 6. Árvore de Eventos referente à pressão requerida pela unidade hidráulica para fechamento do distribuidor.



4 CONCLUSÕES

O regulador de velocidade tem a função principal de atuar no sentido de aumentar ou diminuir a velocidade e a potência gerada pela turbina, proporcionalmente ao sinal de controle. A amplitude do sinal de controle é determinada em função da demanda do sistema, que comanda a atuação do sistema regulador da turbina, o qual atua sobre a posição angular das pás do distribuidor, controlando a abertura

e, consequentemente, a vazão que chega ao rotor. A vazão de água determina a rotação do rotor de acordo com a energia elétrica necessária para o consumo. Admite-se, no entanto, que todo sistema técnico é portador de perigo. Perigo, por sua vez, pode ser definido como qualquer condição ou estado do sistema com o potencial de resultar em um acidente ou incidente (MOSLEH; DIAS, 2003). No caso do regulador de velocidade, condições externas associadas à falha do RV podem desencadear como evento final o descontrole da frequência ou sobrevelocidade da turbina, o que pode acarretar na interrupção do fornecimento de energia elétrica, além de danos a estrutura física da usina ou acidentes com trabalhadores. A fim de analisar as condições de perigo foram aplicadas técnicas de análise de risco ao sistema eletro-hidráulico do RV com o objetivo de encontrar e analisar partes críticas que, no caso de falha destas, resultariam na incapacidade de fechamento do distribuidor e, consequentemente, na incapacidade de interrupção da vazão para a turbina. Neste cenário, foram aplicadas as técnicas CNEA, FTA e ETA. A utilização da técnica CNEA permitiu obter um modelo detalhado das causas, barreiras e possíveis consequências geradas por um eventual incidente, o que facilitou a compreensão do sistema técnico e a identificação das causas, barreiras e efeitos distribuídos no percurso da rede.

A análise por árvore de falhas possibilitou, a partir de um estudo detalhado do RV, obter as associações lógicas exercidas entre os componentes do circuito e encontrar os elementos não providos de sistemas de segurança. A análise por árvore de eventos foi realizada com o intuito de representar a ordem de atuação de cada componente usado como barreira para garantir o fechamento do distribuidor em caso de falha no RV. O grande benefício resultante da estruturação na forma de árvore de falhas provém da capacidade de identificar as causas da falha diretamente e indiretamente relacionadas e associar funções lógicas, o que permite encontrar os componentes críticos (e os sistemas auxiliares de emergência), cuja falha resulte numa falha catastrófica ou perda de continuidade do sistema técnico. Como fator limitador, a técnica de análise por árvore de falhas não permite uma descrição fiel da sequência de ativação das barreiras de prevenção dos modos de falha, sendo este tipo de análise melhor efetuado por meio da análise da árvore de eventos. Além disso, o uso das técnicas força à equipe a ter uma compreensão mais profunda do sistema técnico e do relacionamento entre os diferentes subsistemas interligados.

Conclui-se ainda que a utilização das técnicas proporciona possibilidades concretas de exteriorizar a probabilidade de ocorrência dos eventos de falha, com fácil demonstração das rotas de perigo. Com isso, tornam-se mais evidentes as ações requeridas para prover o sistema técnico de atualizações tecnológicas a fim de mantê-lo na condição de "tão bom quanto novo" ao longo do seu ciclo de vida. O conhecimento do sistema técnico e seus potenciais modos de falha permite a organização direcionar seu plano de gestão no sentido de efetuar as capacitações de operadores e manutentores, a fim de desenvolverem ações para trabalhar na perspectiva de falha zero.

REFERÊNCIAS

Calil, L. F. P. Metodologia para gerenciamento de risco: foco na segurança e na continuidade, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 231p. 2009

Dias, A., Calil, L.F.P., Rigoni, E., Sakurada, E.Y., Ogliari, A., Kagueiama, H.A. Metodologia para análise de risco: Mitigação de perda de SF6 em disjuntores. Florianópolis: Ed. Studio S. 2011. 304p.

IEEE. ANSI/IEEE Std. 125, 1988, "Recommended Practice for Preparation of Equipment Specifications for SpeedGoverning of Hydraulic Turbines Intended to Drive Electric Generators", USA, 28p.

Kumamoto, Hiromitsu; Henley, Ernest, J. Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists. IEEE Press, New York, USA. Second Edition, 1996.

MOSLEH, A., DIAS, A. Towards an integrated framework for aviation hazard analysis, University of Maryland Report, 2003.

RVX ENERGY Regulador Automático de Velocidade. Manual do usuário PR-10-02-01-Rev 006. Copyright by REIVAX Automação e Controle, 2010.