



2º Simpósio Internacional de Confiabilidade e Gestão de Segurança Operacional

09 a 11 de novembro de 2010



**Organização Brasileira
para o Desenvolvimento
da Certificação Aeronáutica**



Eletrobras
Eletronuclear

CONFIABILIDADE E GESTÃO DA
SEGURANÇA OPERACIONAL (DCA-BR)

INDÚSTRIA NUCLEAR

Ênfase nos aspectos regulatórios



Eletrobras
Eletronuclear

Segurança Nuclear



Eletrobras
Eletronuclear

Segurança Nuclear

- Baseada no conceito de defesas em profundidade, ou seja barreiras em série.
- As barreiras são físicas, de projeto, de processos e de organização.
- Não eliminam o risco, mas o reduzem a níveis aceitáveis pela sociedade.



Eletrobras
Eletronuclear

Segurança Nuclear

Axiomas:

1. Todo ser humano, independente de formação, é passível de erro.
2. Não existe máquina perfeita.
3. Todo empreendimento humano envolve certa medida de risco.



Eletrobras
Eletronuclear

Defesas em Profundidade

1. Barreiras físicas, barreiras de projeto, barreiras de processo e barreiras de organização estabelecidas em **CONDIÇÃO NORMAL**;
2. Detecção prematura de anormalidades;
3. Alarme;
4. Recuperação;
5. Confinamento;
6. Evacuação.



Eletrobras
Eletronuclear

Defesas em Profundidade

1. Barreiras Físicas

- Encamisamento do combustível;
- Sistema primário;
- Contenção de aço;
- Contenção de concreto;
- Proteções do reator.



Eletrobras
Eletronuclear

Defesas em Profundidade

1. Barreiras de Projeto

- Qualidade excepcional dos componentes;
- Testabilidade da instrumentação;
- Redundância de componentes;
- Vasta rede de monitoração de processos;
- Expressiva quantidade de alarmes.



Eletrobras
Eletronuclear

Defesas em Profundidade

1. Barreiras de Projeto

- Acidentes básicos de projeto e contramedidas no projeto;
- Limites de alarme, ações mitigadoras, limites de desarme e dispositivos de segurança;
- Análises de segurança dos acidentes básicos de projeto;
- Análises probabilísticas de segurança.



Eletrobras
Eletronuclear

Defesas em Profundidade

1. Barreiras de Processo

- Treinamento, qualificação, requalificação;
- Programas de testes periódicos;
- Especificações técnicas;
- Garantia de qualidade;



Eletrobras
Eletronuclear

Defesas em Profundidade

1. Barreiras de Processo

- Processos gerenciais (operação, manutenção, engenharia, treinamento, química, proteção radiológica, gestão);
- Auto-avaliação;
- Controle da configuração;
- Experiência operacional interna e externa;



Eletrobras
Eletronuclear

Defesas em Profundidade

1. Barreiras Organizacionais

- Estabelecimento de padrões elevados relativos à segurança;
- Planejamento, controle e suporte;
- Implementação;
- Avaliação e feedback;



Eletrobras
Eletronuclear

Defesas em Profundidade

1. Barreiras Organizacionais

- Legislação nacional e internacional;
- Órgão regulador e padrões regulatórios;
- Organizações internacionais;
- Cultura de segurança (indivíduos, supervisores e organização);
- Comunicação.



Eletrobras
Eletronuclear

Defesas em Profundidade

TAXA DE RISCO

- Probabilidade de fusão do Reator: $10^{-5}/10^{-6}$
- Probabilidade de falha da contenção: 10^{-2}
- Probabilidade de fusão e falha da contenção simultâneas:

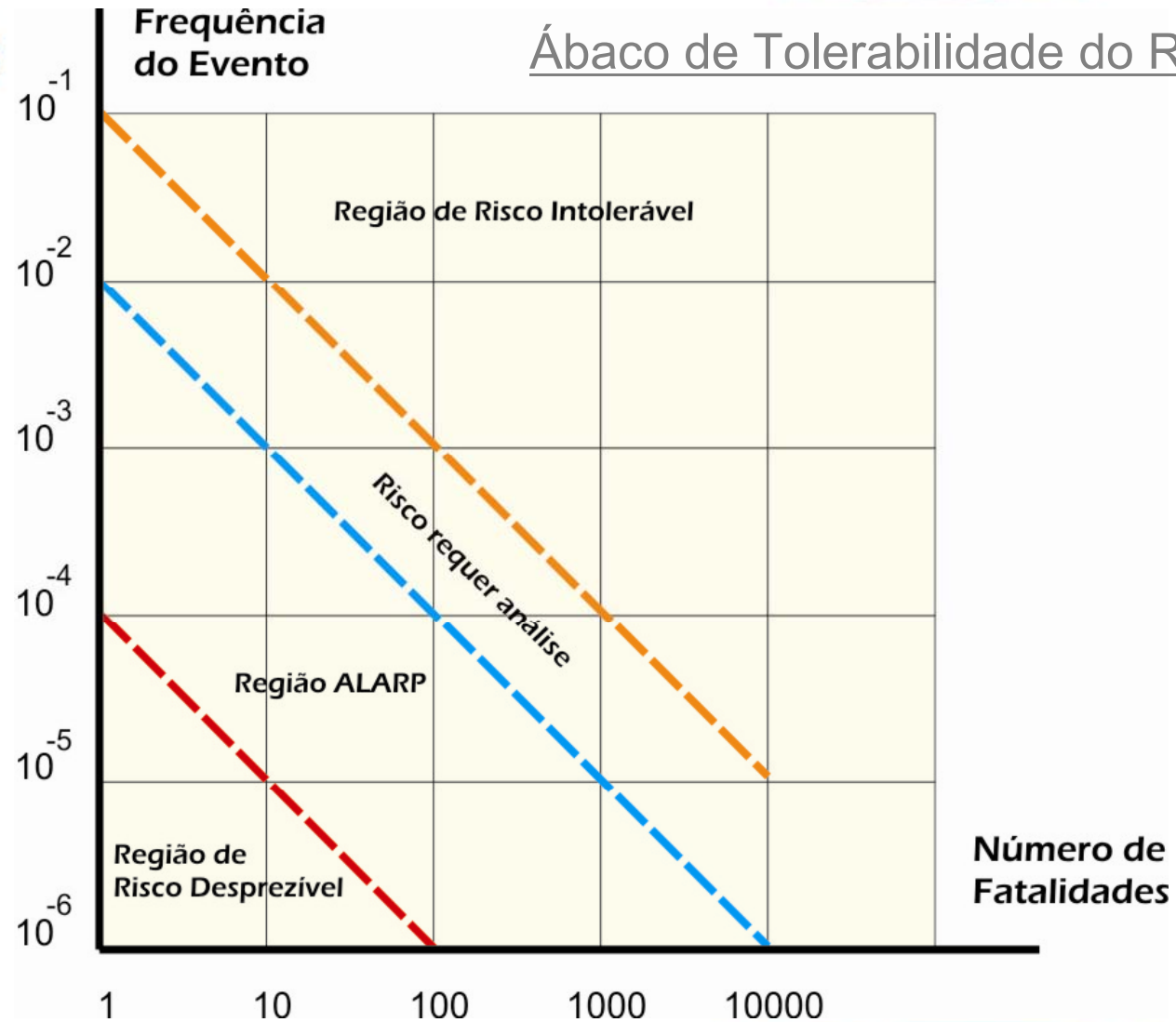
$$10^{-7}/10^{-8}$$

(um evento a cada 10 a 100 milhões de anos)



Eletrobras
Eletronuclear

Ábaco de Tolerabilidade do Risco





Eletrobras
Eletronuclear

Defesas em Profundidade

2. Detecção prematura de anormalidade

- Parâmetros de processos são monitorados por milhares de instrumentos, beneficiados pela qualidade excepcional, redundância, testes periódicos e processos de controle na monitoração;
- Desvios da normalidade são mais facilmente mitigáveis quando detectados prematuramente.



Eletrobras
Eletronuclear

Defesas em Profundidade

3. Alarme

- Sinalizar a presença e a natureza do perigo;
- As usinas são dotadas de milhares de alarmes de anormalidades.



Eletrobras
Eletronuclear

Defesas em Profundidade

4. Recuperação

- Utilização dos sistemas de segurança através de procedimentos de emergência qualificados e treinados em simulador por pessoal habilitado para mitigar as consequências da anormalidade ou acidente;



Eletrobras
Eletronuclear

Defesas em Profundidade

4. Recuperação

- Todos os acidentes possíveis (até níveis suficientemente baixos de ocorrência) são considerados e sistemas de segurança adequados são projetados, construídos, testados e permanecem disponíveis para enfrentar eventuais acidentes, levando a usina a uma condição estável e reconhecidamente segura, minimizando as consequências.



Eletrobras
Eletronuclear

Defesas em Profundidade

5. Confinamento

- Consiste em impedir a dispersão do perigo, confinando-o, no evento de falha de uma ou mais funções defensivas anteriores;
- Os envoltórios de contenção são capazes de resistir a mais elevada pressão do pior acidente, e se manterem herméticos por prazo indeterminado. São estruturas testadas periodicamente.



Eletrobras
Eletronuclear

Defesas em Profundidade

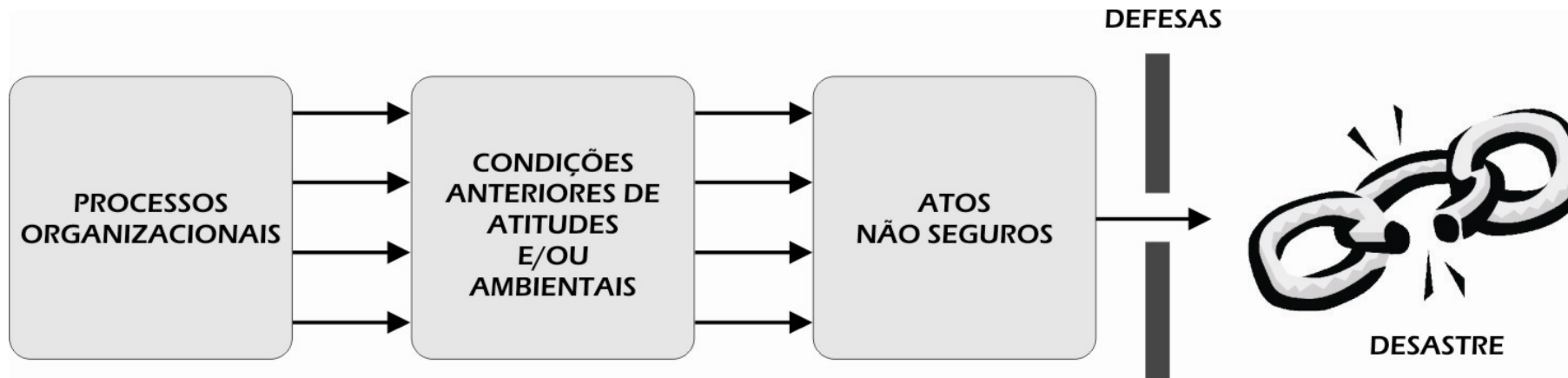
6. Evacuação

- Consiste na remoção antecipada e segura de todas as vítimas em potencial, caso a dispersão do perigo venha a se tornar incontrolável (Plano de Emergência).



Eletrobras
Eletronuclear

Morfologia do Acidente





Eletrobras
Eletronuclear

Morfologia dos Acidentes

Processos Organizacionais:

Freqüentemente são deficientes, influenciado por pressões econômicas, políticas ou baixos padrões;

Criam falhas latentes (condições anteriores) que permanecem no processo, e eventualmente podem promover atos inseguros na interface homem-máquina.



Eletrobras
Eletronuclear

Morfologia dos Acidentes

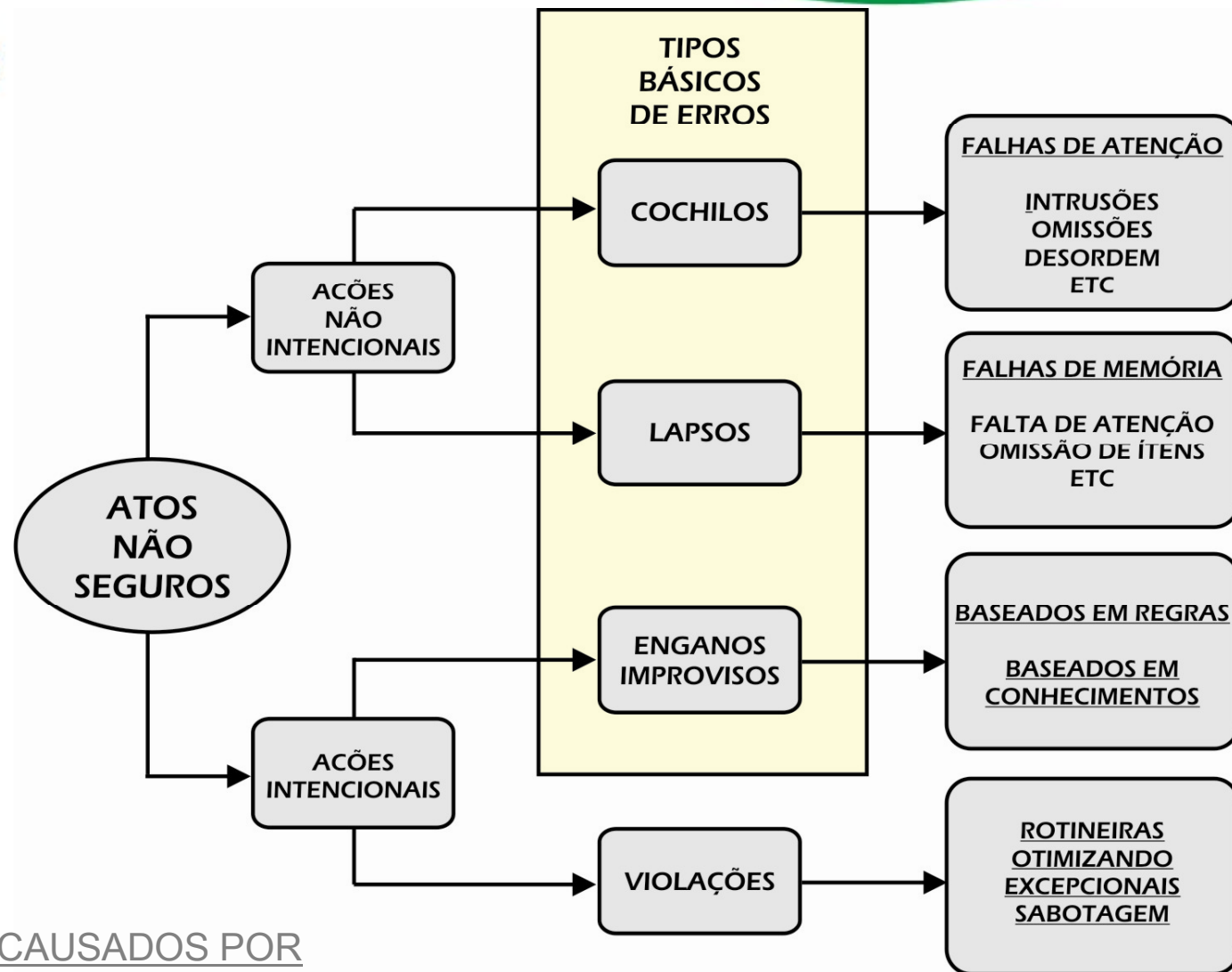
Atos inseguros:

Quando cometidos na região da interface homem-máquina, podem romper as barreiras e resultar num evento;

Um grande número de atos inseguros podem ocorrer, porém apenas poucos encontrarão fendas nas defesas do sistemas e promoverão um acidente.



Eletrobras
Eletronuclear



ATOS INSEGUROS CAUSADOS POR
ERROS OU VIOLAÇÕES



Eletrobras
Eletronuclear

Morfologia dos Acidentes

ERROS:

Erros são cometidos por processamento errado de informação correta, ou processamento certo de informação errada;

São corrigidos com treinamento e desenvolvimento das regras (procedimentos).



Eletrobras
Eletronuclear

Morfologia dos Acidentes

VIOLAÇÕES:

São desvios intencionais de regras ou procedimentos

Podem ser classificados em:

- violações de rotina;
- violações para otimização;
- violações excepcionais;
- sabotagem (se deseja os resultados negativos)



Eletrobras
Eletronuclear

Morfologia dos Acidentes

Erros:

falha em processamento de informação; são individuais;
são resolvidos com treinamento.

Violações:

têm base motivacional; são fenômenos sociais ligados a
organização; são resolvidos com mudanças de atitude, de
crenças e elevação da moral e da cultura de segurança.



Eletrobras
Eletronuclear

Morfologia dos Acidentes

Condições de Promovem Erros

- falta de treinamento (x17)
- falta de tempo (x11)
- má interface homem-máquina (x8)
- sobrecarga de informação (x6)
- má transferência de informações (x5)
- má percepção do risco (x4)
- maus procedimentos (x3)
- sono (x1,6)
- ambiente hostil (x1,2)
- monotonia ou tédio (x1,1)



Eletrobras
Eletronuclear

Morfologia dos Acidentes

Condições que Promovem Violações

- baixa cultura de segurança na organização;
- conflito entre gerentes e staff;
- baixo moral;
- normas complacentes com violações;
- percepção de gerentes sem preocupação;
- baixo nível de orgulho no trabalho;
- cultura machista encorajando enfrentamento de riscos (Cultura John Wayne);
- crença de que acidentes não ocorrerão (Cultura Roleta Russa);
- baixa auto-estima;
- idade e sexo (Homens jovens violam).



Eletrobras
Eletronuclear

Morfologia dos Acidentes

Falhas Organizacionais

- Projeto;
- Construção;
- Procedimentos;
- Treinamento;
- Comunicação;
- Planejamento e programação;
- Controle e monitoração;
- Estrutura da organização;
- Metas;
- Regulação.

Sumário das Ferramentas Analíticas

- DEFESAS
- ATOS INSEGUROS (erros e violações)
- CONDIÇÕES QUE PROMOVEM ERROS
- CONDIÇÕES QUE PROMOVEM VIOLAÇÕES
- TIPOS DE FALHAS DA ORGANIZAÇÃO

A regulação nuclear foi desenvolvida sobre este sumário, com objetivo de reduzir o risco atuando nas suas causas, antes que o evento ocorra.



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulatórios da INDÚSTRIA NUCLEAR

Autoridade Regulatória constitui uma questão de soberania nacional;

Entretanto, padrões nucleares (que servem de guia à regulações nacionais),
são de cunho internacional;

Como conseqüência, regulações nacionais são muito parecidas ente si.



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear (22 áreas de regulação)

1- Localização e Assentamento

Critérios estabelecidos incluem:

- Geografia e demografia;
- Infraestruturas próximas (que representam risco – indústria, transporte, instalações militares, etc);
- Meteorologia;



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear
(22 áreas de regulação)

- Hidrologia;
- Geologia;
- Sismologia;
- Geotecnia.

Além da regulação nuclear, existe a regulação ambiental.



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear (22 áreas de regulação)

2. Projeto de Componentes, Sistemas e Estruturas (CSE)

Os componentes, sistemas e estruturas devem demonstrar que atendem aos critérios de regulação relativos aos padrões de projeto;



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear (22 áreas de regulação)

2. Projeto de Componentes, Sistemas e Estruturas (CSE)

Critérios Regulados:

- Resistência sísmica dos SCE;
- Classificação de qualidade dos SCE (hierarquia de qualidade nuclear);
- Cargas de vento e tornado;
- Inundação externa e interna;
- Proteção anti-míssil;
- Proteção contra efeitos decorrentes de ruptura de sistemas pressurizados;
- Projeto sísmico;
- Resistência ambiental de equipamentos elétricos, mecânicos e de instrumentação.



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear
(22 áreas de regulação)

3. Reator

- projeto do combustível;
- projeto termo-hidráulico;
- materiais do reator;
- sistemas de controle de reatividade.



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear
(22 áreas de regulação)

4. Sistema de Refrigeração do Reator (SRR) e Sistemas Conectados

- integridade do SRR;
- vaso de pressão do reator;
- projeto de componentes e sistemas.



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear
(22 áreas de regulação)

5. Dispositivos de Segurança

- materiais dos sistemas e seus revestimentos;
- sistemas da contenção;
- sistemas de refrigeração em emergência do núcleo;
- habitabilidade da sala de controle;
- controle e remoção dos produtos de fissão.



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear
(22 áreas de regulação)

6. Instrumentação e controle

- sistemas de desarme do reator;
- sistemas de atuação do sistema de refrigeração em emergência do núcleo;
- sistemas necessários para um desligamento seguro;
- intertravamentos importantes para a segurança do núcleo.



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear
(22 áreas de regulação)

7. Sistemas Elétricos

- sistema de suprimento de potência *OFF SITE*;
- sistema de suprimento de potência *ON SITE*;
- atendimento à questões em aberto pelo regulador.



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear
(22 áreas de regulação)

8. Sistemas Auxiliares

9. Ar condicionado, aquecedores, resfriadores e sistemas de ventilação

10. Sistema de conversão de calor (vapor) em eletricidade



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear (22 áreas de regulação)

11. Gerenciamento de Rejeitos

- termos fonte;
- sistema de rejeito líquido;
- sistema de rejeito gasosos;
- sistema de rejeito sólido;
- sistema de processamento e monitoração do efluente radiológico;
- sistema de amostragem.



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear (22 áreas de regulação)

12. Proteção Radiológica

- Princípio “*As Low as Reasonable Achievable*” – política, projeto, cuidados operacionais;
- Fontes de Radiação;
- Projeto de Proteção Radiológica;
- Avaliação de dose;
- Projeto das instalações de proteção física.



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear (22 áreas de regulação)

13. Conduta de Operação

- Estrutura organizacional;
- Treinamento;
- Planejamento de Emergência;
- Procedimentos de Operação (normais, anormais, alarmes, emergência, restauradores de função crítica, acidentes severos);
- Proteção física (detecção prematura da ameaça, retardo ao avanço da ameaça, reação à ameaça).



Eletrobras
Eletronuclear

CLASSIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES

- **Skilled based**: atividades simples, realizadas automaticamente (ex: escrever);
- **Ruled based**: atividades mais complexas, quando o uso de regras escritas reduz o risco do erro (ex: ligar a usina, calibrar um pressostato);
- **Knowledge based**: atividades não usuais e tão complexas que o desenvolvimento de regras não é viável (ex: procurar e achar um chinês em Pequim, para um morador de São Paulo que nunca tenha viajado ao exterior).



Eletrobras
Eletronuclear

Existem técnicas para reduzir risco em cada classificação

- Skilled based: programa star (stop, think, act, review), comunicação em 3 vias, over the shoulder view, etc.
- Ruled based: verificação independente, human factor no procedimento, briefing, etc.

Todas (milhares) as atividades nucleares são realizadas com procedimentos.

- Knowled based: team work, United 232 (transição ruled para based) etc.



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear
(22 áreas de regulação)

14. Programas de Verificação

- programa de testes iniciais (organização, staff, procedimentos de testes, revisão e avaliação dos testes);
- critérios de aceitação.

Aspectos Regulados numa Central Nuclear
(22 áreas de regulação)

15. Análises de Acidentes e de Transientes

(softwares simulam os acidentes e a capacidade de resposta da usina, levando-a a uma condição reconhecidamente segura)

- mais de 20 cenários de acidentes e transientes devem demonstrar a capacidade da usina em manter a segurança, não ultrapassando limites de projeto de vários parâmetros (pressão, temperatura, dano ao encamisamento, etc).



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear (22 áreas de regulação)

16. Especificações Técnicas

Extenso conjunto de normas (leis) que estabelecem a operacionalidade de todos os SCE`s importantes para a segurança, e penalidades decorrentes de falhas ou defeitos eventuais (prazo para desligar em horas, redução de potência, relatórios aos reguladores, etc).



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear
(22 áreas de regulação)

17. Garantia de Qualidade (GQ)

- GQ durante o projeto;
- GQ durante a construção;
- GQ durante a operação.



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear
(22 áreas de regulação)

18. Engenharia de Fatores Humanos

- gestão do programa de engenharia de fatores humanos;
- revisão da experiência operacional;
- análise dos requisitos funcionais e alocação de funções;
- análise de tarefas;
- staff e qualificações.



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear (22 áreas de regulação)

- análise da confiabilidade humana;
- projeto da interface homem-máquina;
- padrões para o desenvolvimento de procedimentos;
- programas de treinamentos;
- verificação e validação dos fatores humanos;
- monitoração do desempenho humano;
- *staff* mínimo.



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear (22 áreas de regulação)

19. Acidentes Severos

- análise probabilística de segurança (PSA no projeto e na operação);
- desempenho durante acidente severo;
- avaliação da capacidade de desligamento;
- análise da margem sísmica;
- itens genéricos (plano de ação, itens TMI, incorporação da experiência operacional).



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear
(22 áreas de regulação)

20. Código de avaliação de testes e de computador

- itens de preocupação especial;
- avaliação do programa de teste do fabricante;
- avaliação das análises de códigos;
- Garantia de Qualidade.



Eletrobras
Eletronuclear

Aspectos Regulados numa Central Nuclear
(22 áreas de regulação)

21. Tratamento regulatório de sistemas
que não são de segurança

22. Programa de revisão do Comitê de
Assessoramento da Segurança do Reator



Eletrobras
Eletronuclear

ACIDENTES NÃO OCORREM POR ACIDENTE

A responsabilidade pelos desastres vai além dos executivos, diretores e dos que fazem a interface homem-máquina. Não existem vilões individuais.

Cada sociedade tem os desastres que ela cria, e portanto, merece.