

# ESTUDO TÉCNICO PARA AQUISIÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO ADEQUADOS AO RISCO DO ARCO ELÉTRICO DE ACORDO COM A NR-10<sup>1</sup>

Bruno Pinto Borba<sup>2</sup>

Fabrcio Victor de Assis<sup>3</sup>

Leandro Matos Riani<sup>4</sup>

Plínio Roberto Borges Lima<sup>5</sup>

Rodrigo de Oliveira Gama<sup>6</sup>

## Resumo

O objetivo do trabalho é demonstrar todos os passos seguidos pela ArcelorMittal Tubarão para implantar os Equipamentos de Proteção Individual (EPI) contra os efeitos produzidos pelo arco elétrico, conforme exigido pelo item 10.2.9.2 da Norma Regulamentadora nº 10 do Ministério do Trabalho, aprovada em 08/12/04. Serão detalhadas as etapas de definição dos tecidos e materiais adequados à realidade siderúrgica, escolha do fornecedor dos EPI, testes dos EPIs, cálculo da energia incidente, padronização e implantação dos EPIs. O trabalho abordará todas as dificuldades e fatores de sucesso para atender à exigência desta norma que tem grande impacto principalmente nas manutenções elétricas. Contribuindo assim para o aumento da segurança nas atividades com risco de formação de arco elétrico.

**Palavras-chave:** EPI; Arco elétrico; NR-10; Energia incidente

## TECHNICAL STUDY FOR THE PURCHASING AND IMPLEMENTATION OF PROTECTIVE EQUIPMENT FOR ARC ELECTRIC RISK IN COMPLIANCE WITH NR-10

### Abstract

The aim of this work is to present all the steps followed by ArcelorMittal Tubarão in the implementation of the Personal Protective Equipment (PPE) against the effects of the electric arc, in compliance with item 10.2.9.2 stated in the Regulatory Norm n.10 of the Ministry of Labour approved on 08/12/04. The details of the steps taken for the definition of fabric and materials suitable to the steel making reality, the choice of supplier and the testing of the PPE, the calculation of energy incidence, the standardization and implementation of the PPE, will be presented here. The work will approach all the difficulties and success factors to comply with the norm which has a great impact on electrical maintenance, thus contributing to an improvement in safety for the activities at risk of electric arc.

**Key words:** PPE; Electric arc; NR-10; Energy incidence.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

<sup>2</sup> *Engenheiro Civil e de Segurança do Trabalho; ArcelorMittal Tubarão; Analista de Higiene e Segurança do Trabalho*

<sup>3</sup> *Engenheiro Eletricista; ArcelorMittal Tubarão; Especialista de Manutenção Eletroeletrônica*

<sup>4</sup> *Engenheiro Eletricista; ArcelorMittal Tubarão; Especialista de Engenharia Elétrica*

<sup>5</sup> *Engenheiro de Automação e Controle e de Segurança do Trabalho; ArcelorMittal Tubarão; Analista de Higiene e Segurança do Trabalho*

<sup>6</sup> *Engenheiro Mecânico e de Segurança do Trabalho; ArcelorMittal Tubarão; Gerente de Área de Engenharia de Segurança do Trabalho*

## **1 INTRODUÇÃO**

Com a aprovação do novo texto da Norma Regulamentadora nº 10, conhecida como NR-10, pelo Ministério do Trabalho em Emprego, em dezembro de 2004, foi lançado um grande desafio, entre outros constantes nesta norma, para as áreas de segurança do trabalho, manutenção e engenharia elétrica, que diz respeito à proteção das pessoas contra os efeitos do arco elétrico. Este desafio ou melhor dizendo, exigência da NR-10, vem como desdobramento do item 10.9.2 que diz o seguinte:

“10.2.9.2 As vestimentas de trabalho devem ser adequadas às atividades, devendo contemplar a condutibilidade, inflamabilidade e influências eletromagnéticas.”

Para este trabalho vamos focar na propriedade de inflamabilidade, que nos faz identificar em quais situações de risco, durante as intervenções nos sistemas elétricos, que o empregado necessitará das vestimentas com tal propriedade. Com esta análise que chegamos ao arco elétrico, visto que as falhas elétricas ou curtos-circuitos com formação de arco elétrico são fenômenos indesejáveis, que:

- i. Liberam enormes quantidades de calor;
- ii. Liberam partículas de metais ionizadas que podem conduzir correntes;
- iii. Provocam deslocamento de ar com alta pressão prejudicial ao sistema auditivo;
- iv. Emitem raio ultravioleta prejudicial à visão; e
- v. Liberam gases tóxicos como resultado da combustão dos materiais internos ao painel.

Então, com o desdobramento de apenas uma palavra, inflamabilidade, chegamos a evento que constantemente ocorre nas instalações elétricas, embora as engenharias de fabricação e manutenção busquem a eliminação e redução, que são os arcos elétricos, e que em algumas situações, infelizmente, traz conseqüências tão graves para o trabalhador.

Por falta de literatura técnica publicada no Brasil, todas análises e estudos foram baseados nas normas americanas: NFPA 70 E edição 2004 e IEEE-1584 2002.

## **2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA**

A partir da análise do porquê da propriedade de inflamabilidade dos EPIs, ArcelorMittal Tubarão, através do Grupo de Trabalho responsável pela implantação da nova NR-10, chegou a conclusão de que este item não era atendido. Diante deste quadro, e com apoio de especialista de desenvolvimento de EPI da área de engenharia de segurança do trabalho, o grupo de trabalho iniciou um amplo estudo sobre o assunto que será detalhado ao longo deste trabalho.

## **3 ARCO ELÉTRICO**

O primeiro passo do grupo foi conhecer melhor que seria o arco elétrico, como e quando ocorre e as conseqüências. Fazendo assim, conhecendo melhor o risco, o grupo teve mais condições de buscar as proteções adequadas conforme exigido pela NR-10.

### 3.1 O Que é Arco Elétrico?

Segundo Luiz K. Tomiyoshi, o arco elétrico é um fenômeno da eletricidade inerente aos sistemas elétricos. Podem existir de uma forma intensa e controlada como nos casos de solda elétrica e fornos industriais ou com liberação de pequena quantidade de calor como nos casos de interruptores para lâmpadas.

No caso de falhas elétricas ou curto circuito é um fenômeno indesejável que libera uma enorme quantidade de calor. Este fenômeno, além da liberação de calor, libera partículas de metais ionizadas que eventualmente podem conduzir correntes, deslocamento de ar com aparecimento de alta pressão, prejudicial ao sistema auditivo, e raios ultravioletas prejudiciais à visão.

Normalmente os arcos elétricos em painéis aparecem por:

- Mau contato, por exemplo, pela perda de pressão dos parafusos de conexão;
- Depreciação da isolação (sobretensão, sobrecarga e fim de vida do dielétrico);
- Defeito de fabricação de componentes ou equipamento (Quando não detectado no início, o mesmo aparece ao longo da vida);
- Projeto e instalação inadequada ou mal dimensionada;
- Manutenção inadequada (Introdução de mudanças sutis, sem avaliação técnica adequada), e
- Contatos acidentais ou inadvertidos de ferramentas ou peças (Erro humano).

E tem as seguintes conseqüências:

- Pressão: O rápido aumento de temperatura causa uma potente expansão de ar e um impacto explosivo nas imediações
- Temperatura: O efeito térmico imediato do arco derrete e queima todos os objetos ao seu redor, como as paredes do cubículo, barramentos e isoladores. Gases quentes, material derretido e a radiação térmica podem causar danos ainda maiores
- Venenos: Dependendo do material usado, compostos químicos podem ser produzidos sob as altas temperaturas.

## 4 PROTEÇÃO PESSOAL CONTRA O ARCO ELÉTRICO

A exposição a um arco-elétrico pode exceder rapidamente o valor tolerado pela pele humana e causar queimaduras de segundo e terceiro grau. Por esse motivo é fundamental que, além de todas as técnicas utilizadas para evitar a ocorrência, os empregados estejam vestidos com EPIs especiais, capazes de evitar ou mitigar as conseqüências do acidente.

### 4.1 Tipos de Queimaduras

- Primeiro grau: Pele se torna vermelha. Sem bolhas.
- Segundo grau: Bolhas na pele, epiderme pode regenerar (100 microns de profundidade).
- Terceiro Grau: Toda a pele é destruída, não pode haver regeneração.  
(1000 microns de profundidade)

As roupas e equipamentos de proteção, adequados ao risco de ocorrência do arco elétrico, devem ser capazes de:

- Proporcionar tempo de fuga ao empregado
- Reduzir as queimaduras
- Aumentar as chances de sobrevivência.

#### 4.2 Características Necessárias à Roupa de Proteção contra Arco Elétrico

- Não derreter nem manter a chama após o flash;
- Não rasgar durante a exposição ao arco-elétrico;
- Isolar o usuário contra o calor;
- Proporcionar resistência às chamas de forma permanente;
- Material não deve apresentar efeitos colaterais como emissão de gases tóxicos durante a queima.
- Material não deve apresentar características que impeçam o uso confortável nem acrescentar riscos as atividades.

#### 4.3 Metodologia Utilizada para Definição das Vestimentas Contra o Arco Elétrico e Equipamentos

Toda a análise foi baseada na NFPA 70 E Edição 2004

- Estudo da norma NFPA 70 E
- Análise dos tecidos existente no mercado nacional
- Análise dos tecidos existentes no mercado Norte Americano
- Definição de tipos de tecidos que atendem aos requisitos da NFPA 70E
- Convite a empresas nacionais para apresentação técnica – comercial das vestimentas para a Engenharia de Segurança do Trabalho e Engenharia Elétrica.
- Definição do tecido a ser testado na ArcelorMittal Tubarão, de acordo com o nível de proteção (\*ATPV / \*HAF), propriedade do tratamento antichama, resistência, conforto e custo.

\* **HAF: Heat attenuation factor (%)** – Fator de atenuação do calor. Percentual da energia incidente bloqueada pelo tecido

\* **ATPV: Arc teste performance value (cal/cm<sup>2</sup>)** – Limite de proteção contra queimaduras de 2º grau

- Definição dos conjuntos de acordo com o risco. (Paletó, calça, sobretudo, luvas, capuz...)
- Teste nas áreas
- Aprovação pelos usuários
- Padronização
- Implementação.

#### 4.4 Escolha das Vestimentas e Equipamentos a Serem Utilizados

Após análise de alternativas de tecidos oferecidos pelo mercado norte americano a escolha foi baseada nos seguintes critérios: Proteção, conforto, custo.

O Tecido escolhido foi: Fabricante: ITEX – USA / Composição: 88% Algodão / 12% Nylon / Tratamento: Tratamento permanente antichama na estrutura da fibra / Gramatura: 305 g/m<sup>2</sup>

## 4.5 Dificuldades Encontradas Durante o Processo

- Falta de conhecimento dos fornecedores nacionais
- Adaptação dos empregados à rotina de utilização destes novos EPI's
- Detalhes nas roupas devem ser atchama
- Higienização
- As luvas classe 3 e 4 inicialmente utilizadas retiravam a sensibilidade necessária para a execução de algumas atividades
- Capuz pesado

## 5 CÁLCULOS DE ENERGIA INCIDENTE

### 5.1 Metodologia Utilizada para Cálculo da Energia Incidente

O método baseado no modelo teórico de Ralph Lee apresenta limitações quanto à aplicabilidade e precisão para situações mais reais. Portanto, os cálculos da energia incidente devido ao arco elétrico foram realizados seguindo à norma IEEE-1584 2002 (IEEE Guide for performing arc-flash hazard calculations) por ser o documento mais completo e atualizado, com recomendações e métodos de cálculo para determinação da energia do arco.

Os fatores que mais influenciam no nível de energia incidente liberado na forma de calor são:

- a) tempo do arco (tempo atuação proteção);
- b) corrente de curto circuito sólido;
- c) distância do arco;
- d) tensão do circuito;
- e) distância dos eletrodos (barramento);
- f) arco enclausurado ou em área aberta;
- g) aterramento do sistema (isolado ou aterrado).

O modelo da IEEE-1584 foi fracionado para determinar: primeiro, uma equação para cálculo da corrente do arco elétrico, normalmente menor do que a corrente de curto-circuito sólido; em seguida, uma equação para calcular a energia normalizada para a distância de 610 mm e tempo de 0,2 s (200 ms); e, finalmente, uma equação para cálculo da energia com introdução dos fatores reais de distância e tempo.

### 5.2 Premissas do Cálculo de Energia Incidente

Foi utilizado o valor de curto-circuito trifásico, simétrico, sólido na barra em  $\frac{1}{2}$  ciclo, incluindo a contribuição dos motores.

O tempo de Atuação da Proteção foi retirado do Estudo de Coordenação e Seletividade do Sistema Elétrico da ArcelorMittal Tubarão.

Numa primeira etapa, finalizada em Dez/2006, foi realizado o cálculo em todos os painéis de 3.45kV e 13.8kV e em todos os centros de carga de 460V. Nesta etapa foi utilizado nos CCM's de 460V os mesmos valores dos respectivos centros de carga, visando o atendimento à NR10 dentro do prazo.

Agora, numa segunda etapa que está em andamento, está sendo realizado o cálculo da energia incidente em todos os CCM's de 460V, onde a energia incidente é menor do que no centro de carga devido a menor corrente de curto-circuito e atuação mais rápida da proteção.

### 5.3 Resultados Avaliação dos Centros de Carga de 0.46kV, 3.45kV e 13.8kV

O cálculo da energia incidente devido ao arco elétrico foi realizado em todos os centros de carga de 0.46kV, 3.45kV e 13.8kV da usina, totalizando 324 painéis, sendo 88 painéis da área de Utilidades, 132 painéis da área do Aço, 77 painéis da área de Gusa e 27 painéis da área do Porto de Praia Mole.

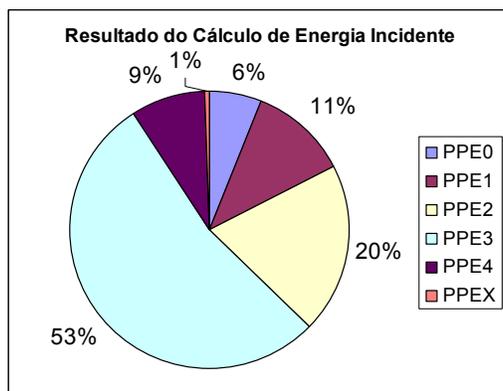


Figura 1 – Percentual da energia incidente calculada na ArcelorMittal Tubarão

## 6 APLICAÇÃO

### 6.1 Composição do Conjunto de Proteção

A primeira etapa da aplicação foi determinar a composição necessária do conjunto de proteção, formado pela vestimenta e demais equipamentos de proteção individual, adequado aos níveis incidente calculados. Baseando-se na NFPA 70E e no ATPV de 11,4 do tecido escolhido pela ArcelorMittal Tubarão, foi determinada a composição da vestimenta conforme Tabela 1, classificando a atividade em três classes de energia incidente.

Tabela 1 – Necessidade de vestimentas e EPIs de acordo com a energia incidente

ENERGIA INCIDENTE (cal /cm <sup>2</sup> )	COMPOSIÇÃO DO CONJUNTO DE PROTEÇÃO
1,2 a 4	Paletó manga comprida de tecido antichama contra arco elétrico, calça de tecido antichama contra arco elétrico, capacete, óculos de segurança e calçado de segurança.
4,1 a 8	Paletó manga comprida de tecido antichama contra arco elétrico, calça de tecido antichama contra arco elétrico, luva de vaqueta contra arco elétrico, capacete com protetor facial, óculos de segurança, calçado de segurança e protetor auricular.
8,1 a 40	Paletó manga comprida de tecido antichama contra arco elétrico, calça de tecido antichama contra arco elétrico, luva de vaqueta com forro de malha antichama duplo contra arco elétrico, óculos de segurança, calçado de segurança, protetor auricular, sobretudo de tecido antichama contra arco elétrico e capuz antiarco.

Dentro desta classificação foi formado um conjunto de proteção básico para atendimento até 8 cal/cm<sup>2</sup> e um complementar para utilização nos casos de energia incidente acima deste valor.

O conjunto de proteção básico foi concebido como equipamento de proteção individual sendo entregue a cada profissional, sendo a quantidade mínima de dois conjuntos.

O conjunto de proteção complementar formado pela capa o capuz e luva foram acondicionados em cabides dentro de armário de aço exclusivo para esta finalidade, nas salas elétricas e/ou subestação em que correram casos de energia incidente acima de 8 cal/cm<sup>2</sup>. Os conjuntos complementares são de uso coletivo com ficha de controle de EPI por utilização a quantidade disponibilizada em cada sala foi definida em função das atividades exercidas em cada caso.

## **6.2 Sinalização e Identificação**

Para permitir a utilização do conjunto apropriado de proteção, os painéis e equipamentos elétricos, alimentados com tensão acima de 230 VCA ou 120 VCC, foram sinalizados com uma placa de identificação, contendo o valor calculado para a energia incidente no caso de arco elétrico no local.

Para os demais casos de circuitos e equipamentos elétricos energizados não identificados, com tensão máxima limitada em 230 Vca ficou definido com base nos casos analisados e normas aplicáveis a utilização do conjunto de proteção para os níveis de energia incidente de 1,2 cal/cm<sup>2</sup> a 4 cal/cm<sup>2</sup>.

Por outro lado, para atividades em circuitos elétricos energizados com tensão igual ou inferior a 50 Vca e ou 120 Vcc ou operações elementares como ligar e desligar circuitos elétricos, realizadas em instalação elétrica com tensão limitada a 230 V, a utilização de conjunto de proteção ao risco arco elétrico na se faz necessária.

## **6.3 Higienização**

O processo de lavagem a ser seguido é o descrito na norma ASTM F 1449-01 para algodão resistente à chama, basicamente com jatos de água limitados a jatos de água com pressão limitada, temperatura abaixo de 137°C e acidez normatizada. A experiência nas etapas de consolidação da vestimenta na ArcelorMittal Tubarão mostra que uma lavagem inadequada pode levar a diversos problemas além da perda da característica antichama, por exemplo o encolhimento do tecido, por isso foi definido que este procedimento deve ser realizado por empresa especializada.

A composição do tecido utilizado é tal que a característica antichama é intrínseca ao tecido, mesmo assim após 100 lavagens é recomendado o teste de inflamabilidade método vertical conforme norma ASTM 6413.

## **6.4 Padronização e Evolução**

Os estudos realizados, as definições técnicas e estratégicas, bem como a experiência e conhecimento adquiridos nas etapas de pesquisa e testes da implantação do conjunto de proteção, foram formalizados através de um normativo interno da ArcelorMittal Tubarão, estando atualmente aplicado em todas suas unidades.

A evolução do aprendizado com a prática da utilização do conjunto de proteção, os novos estudos e melhorias identificadas são avaliadas pelo grupo de trabalho interno da NR-10 de forma que exista sempre uma dinâmica de melhoria contínua e revisão do padrão, atendendo aos requisitos de qualidade, segurança e aplicação necessária.

## **7 CONCLUSÃO**

Mesmo com o avanço tecnológico das instalações elétrica, infelizmente, é muito freqüente a incidência do arco elétrico em atividades rotineiras;

Os EPIs devem ser adequados a energia liberada pelo equipamento;

É fundamental o apoio das áreas de engenharia no cálculo das energias incidentes com o objetivo de especificar os EPIs adequados;

Além da proteção individual o risco deve ser eliminado sempre que possível. Portanto, devemos trabalhar em outras frentes para reduzir ao máximo a probabilidade de ocorrência do evento, por exemplo:

- Manutenção dos equipamentos;
- Melhoria dos dispositivos internos de segurança dos equipamentos;
- Ações de engenharia na fase de projeto para eliminação / redução do risco;
- Operação remota dos painéis.

## **Agradecimentos**

Agradecimentos aos colegas da ArcelorMittal Tubarão que participaram com comprometimento de todas as etapas deste desenvolvimento.

É imprescindível também o agradecimento ao corpo gerencial da empresa que não envidou recursos de forma a permitir o sucesso do grupo de trabalho na implantação do conjunto de vestimenta de proteção contra arco elétrico na ArcelorMittal Tubarão.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1 IEEE-1584 2002 - Institute of Electrical and Electronics Engineers - Guide for performing arc-flash hazard calculations
- 2 NFPA 70 E Edição 2004 – National Fire Protection Association – Standard for Electrical safety in the Workplace