

# O Webinar começará as 19:05 h

**LEVe – Laboratório de Arco Elétrico Brasileiro**

**Arco da Sobrevivência - Caracterização do desempenho térmico de Tecidos e Vestimentas – Márcio Bottaro**

# LEVe – Laboratório de Arco Elétrico Brasileiro

## Arco da Sobrevivência

## Caracterização do desempenho térmico de Tecidos e Vestimentas

Márcio Bottaro

# Programa

O Arco Elétrico e seus impactos em acidentes com eletricidade

A Energia incidente proveniente dos arcos elétricos

As Normas e Programas de cálculo de Energia Incidente e de ensaios de materiais e EPI

Caracterização de materiais: ATPV, EBT e ELIM

Interpretação de relatórios de ensaio

# Arco Elétrico – Segurança

Definição: Fenômeno gerado pela ionização de gás como consequência de uma conexão Elétrica entre dois eletrodos de diferentes potenciais, entre fases ou entre uma fase e terra, por exemplo.



# Arco Elétrico – Segurança

O Arco Elétrico normalmente é gerado de forma acidental e produz grandes quantidades de calor. Pode ser controlado e utilizado em processos produtivos como soldagem.



# Arco Elétrico – Segurança

Os acidentes com arco elétrico produzem grande quantidade de calor irradiado, principalmente, além da emissão de metal fundido.

Mãos, cabeça, tórax, pernas, em resumo, qualquer parte da pele, nosso maior órgão, podem ser afetados, além dos olhos e ouvidos (impacto de pressão sonora)



# Arco Elétrico – Segurança

A maioria dos indivíduos submetidos ao arco elétrico sofrem queimaduras de 2° e 3° grau e acabam morrendo por infecções e septicemia.

A melhor alternativa para evitar que um perigo leve a um acidente é eliminá-lo, o que, infelizmente, nem sempre é possível.

EPI torna-se recurso obrigatório.

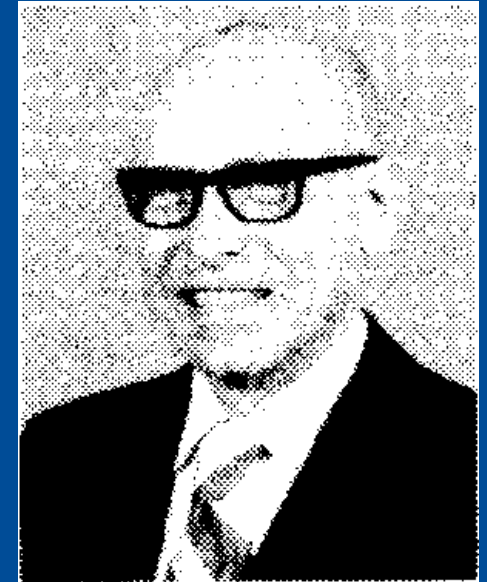


# A energia incidente

## Ralph Lee

University of Alberta, CA – 1934

The other electrical hazard: Electric Arc Blast (1981)





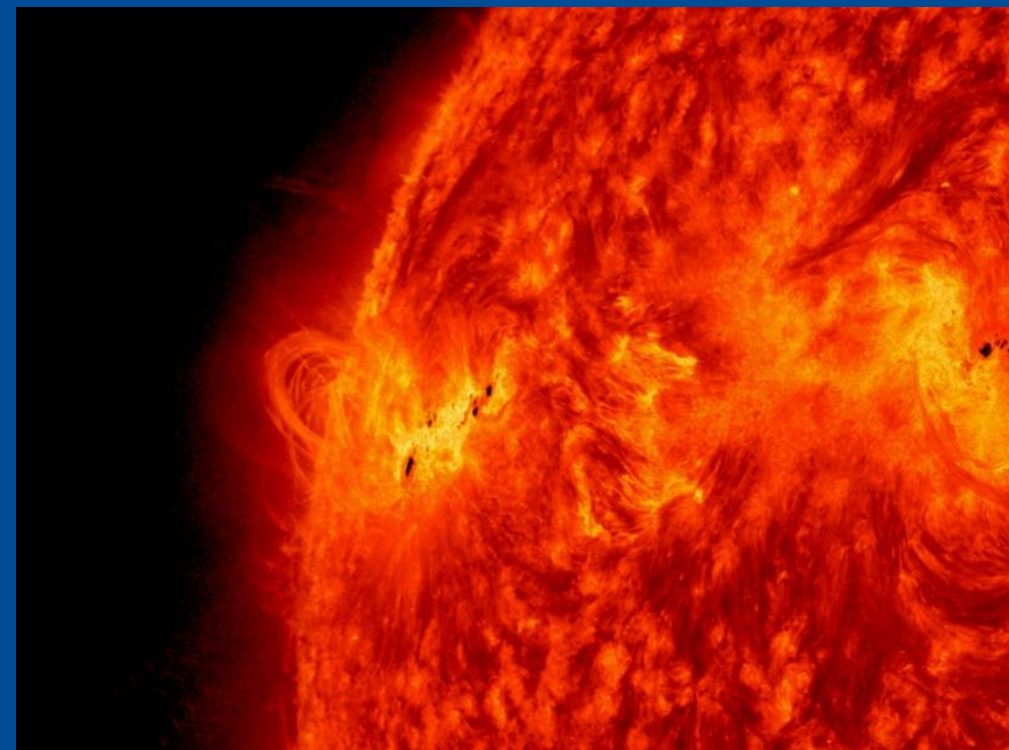
# A energia incidente

## Ralph Lee

Consideração sobre as temperaturas extremamente elevadas do arco (20.000 K até 50.000 K)

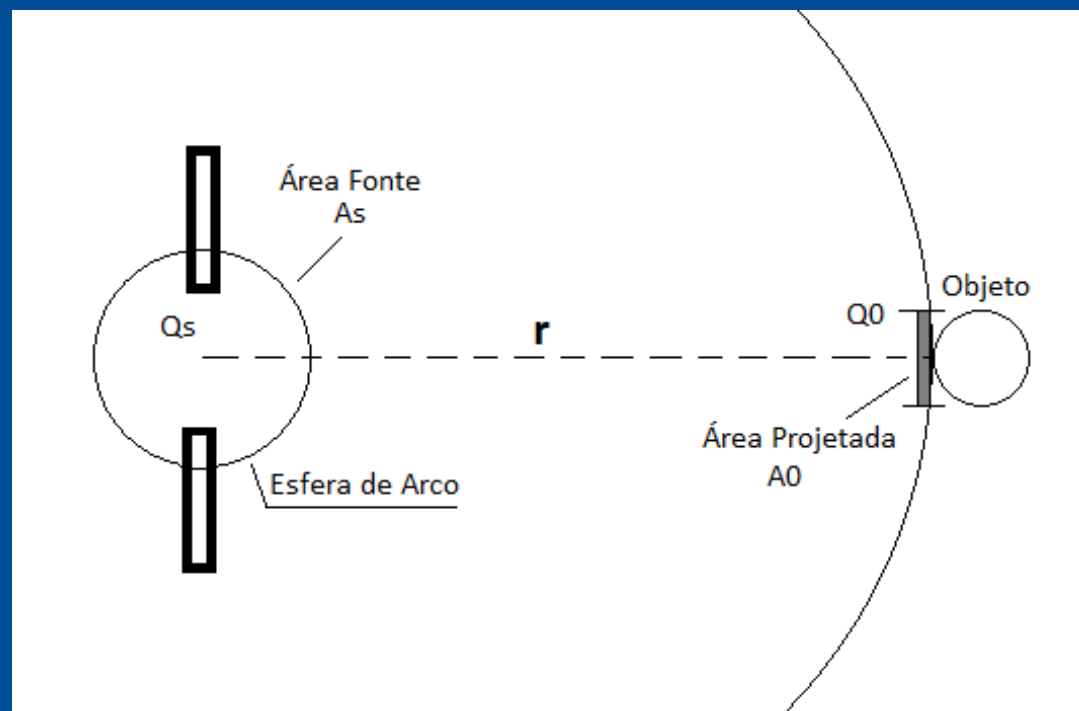
Risco de morte em distâncias de até 150 cm do arco

Risco de segurança até 300 cm do arco



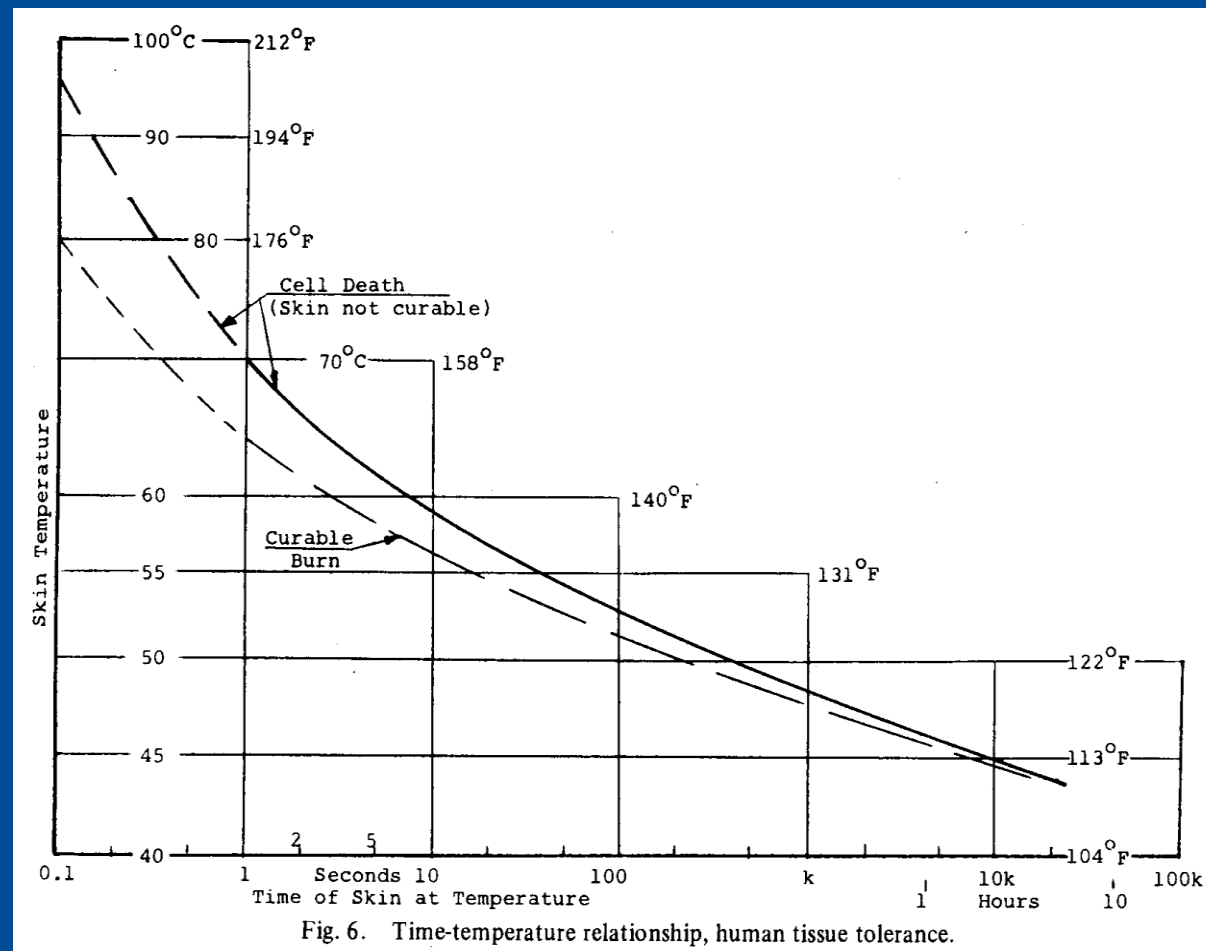
# A energia incidente

Ralph Lee



# A energia incidente

Ralph Lee



## Outros modelos



### Dought/Neil ... e Floyd (2001)

Predicting Incident Energy to Better Manage the Electric Arc Hazard on 600-V Power Distribution Systems

Estabelecimento de modelo empírico em arcos trifásicos de 600 V em modelos Aberto e Confinado (Box)

## Outros modelos

# IEEE 1584, GUIDE FOR PERFORMING ARC FLASH HAZARD CALCULATIONS

O documento é um guia

Traz aproximações e orientações

Não tem caráter mandatório

Não tem julgamento sobre a escolha do EPI

Não tem recomendações quanto ao trabalho em sistema energizado

# NFPA 70E - Standard for Electrical Safety in the Workplace - 2018 Edition

D2: Ralph Lee – Limites (fronteira) de proteção para arco aberto (trifásico 600 V) - Energia incidente > 600 V trifásico, modelo conservador

D3: Dought/Neil/Floyd – Energia incidente (até 600 V trifásico) – Arco aberto e confinado

D4: IEEE 1584 – Limites (fronteira) e Energia Incidente – Arco Aberto e confinado

D5: ANSI/IEEE C2 NESC – Sistemas DC – até 1 kV

# NFPA 70E - Standard for Electrical Safety in the Workplace - 2018 Edition

Tipo de proteção	Arc Rating mínimo [kJ/m <sup>2</sup> (cal/cm <sup>2</sup> )]	Categoria de Risco
Proteção do tronco, membros superiores e inferiores ou corpo inteiro	167,36 (4)	1
	334,72 (8)	2
	1046,00 (25)	3
	1673,60 (40)	4

**Ensaio normalizado com Arco Elétrico**

**X**

**Cálculos para Energia Incidente em  
Instalações Elétricas**





# Ensaio de caracterização e avaliação

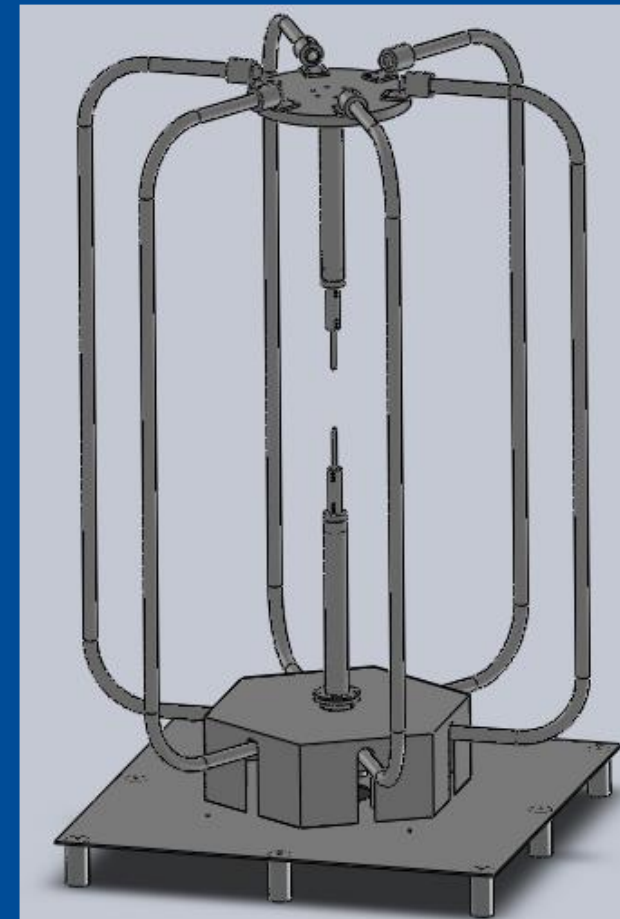
ASTM F 1959/2621/2178/2675

IEC 61482-1-1 (IEC 61482-2: Requisitos)

Resistência ao Arco Elétrico – ARC RATING

ATPV (Arc Thermal Performance Value)

EBT50 (Breakopen Threshold Energy)



# Resistência ao Arco Elétrico

## ATPV (Arc Thermal Performance Value)

O ATPV (Valor de Desempenho Térmico ao Arco Elétrico) é por definição um valor numérico de energia incidente atribuído a um produto ensaiado (expresso em  $\text{kJ/m}^2$  ou mais comumente em  $\text{cal/cm}^2$ ), que descreve suas propriedades térmicas de atenuação de um fluxo de calor gerado por um arco elétrico.

# Resistência ao Arco Elétrico

## EBT50 (Breakopen Threshold Energy)

O EBT50 (Energia Limite de Rompimento) é por definição um valor numérico de energia incidente atribuído a um produto ensaiado (expresso em  $\text{kJ/m}^2$  ou mais comumente em  $\text{cal/cm}^2$ ), evidenciado por um ou mais rompimentos no material que permitem a passagem de calor ou chama.

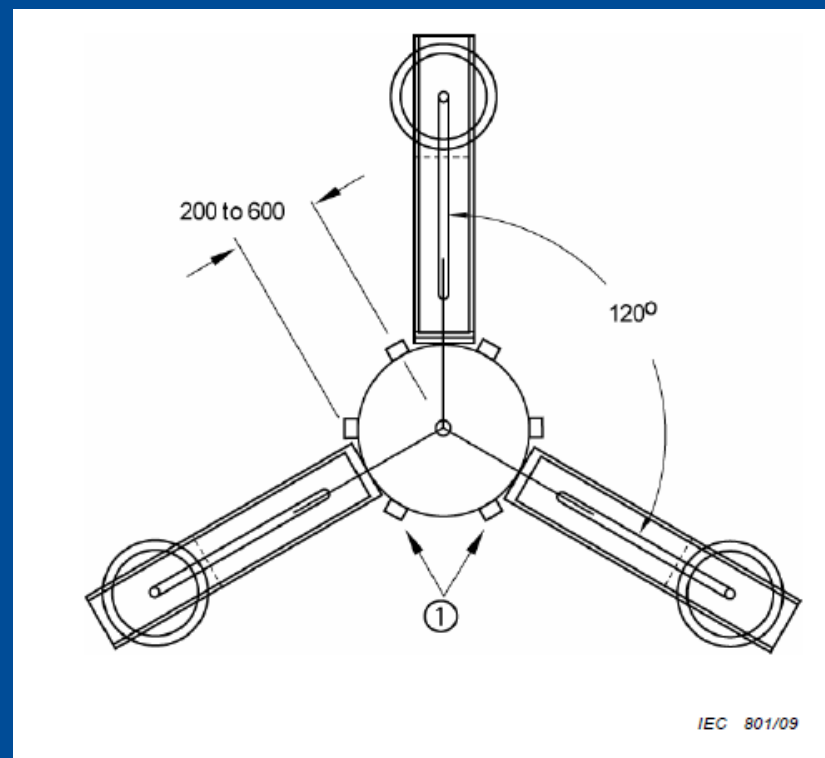
# Resistência ao Arco Elétrico

Resumidamente, a determinação do ATPV (e analogamente do EBT) é baseada em uma regressão **logística** (binária) aplicada a dados obtidos durante ensaios de tecidos e outros materiais submetidos a arcos elétricos com diversas energias sob condições controladas.

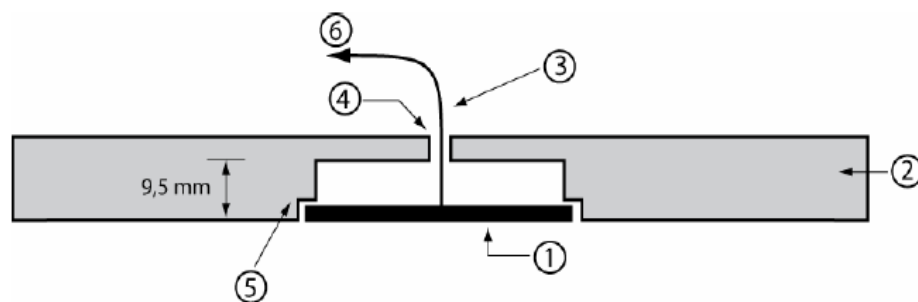
A probabilidade de ocorrência de Queimadura ou Rompimento, respectivamente, é de 50%!



# Ensaio de caracterização



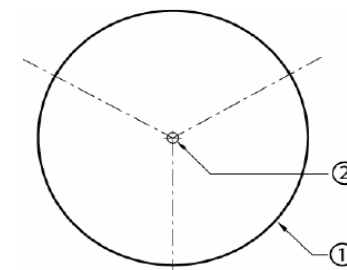
# Sensores



IEC 810/09

## Key

- |   |   |   |                            |
|---|---|---|----------------------------|
| 1 | Electrical grade copper disk of 18 g , Ø 40 mm, 1,6 mm thick, (pinned in place) | 4 | Hole of 3,2 mm diameter    |
| 2 | Insulation board, minimum thickness ~1,3 cm                                     | 5 | Ledge, 1,6 mm × 1,6 mm     |
| 3 | Type K (NiCr - NiAl) or Type J (Fe - CuNi) thermocouple                         | 6 | Signal to data acquisition |

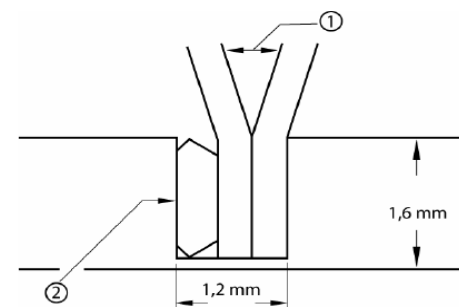


IEC 808/09

## Key

- 1 Sensor of electrical grade copper, of 40 mm diameter
- 2 Thermocouple location  
The central hole shall have a diameter of 1,2 mm and a depth of 1,3 mm.

Figure 7a – Installation of the thermocouple in the calorimeter



IEC 809/09

## Key

- 1 Separate thermocouple wires
- 2 Position a thermocouple with total outer diameter of 0,254 mm. The plug shall be pressed into the hole such as to fill it up completely. The separation point of the thermocouple wires shall be at the surface of the copper disk, as shown in the drawing.

Figure 7b – Thermocouple wire installation – Hole detail and method of securing thermocouple

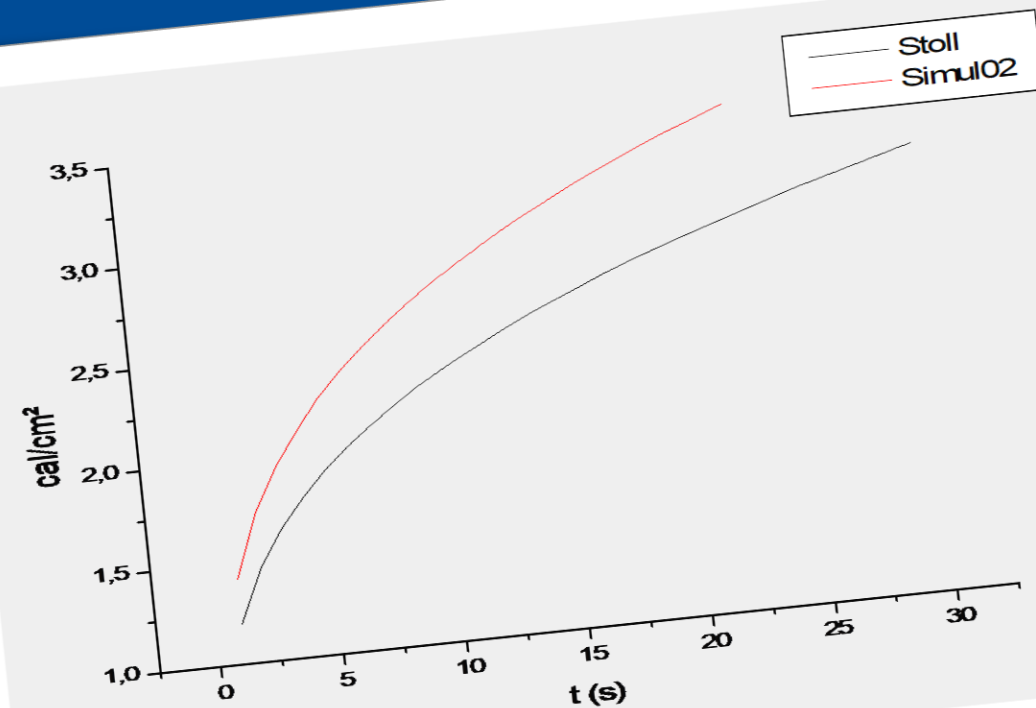
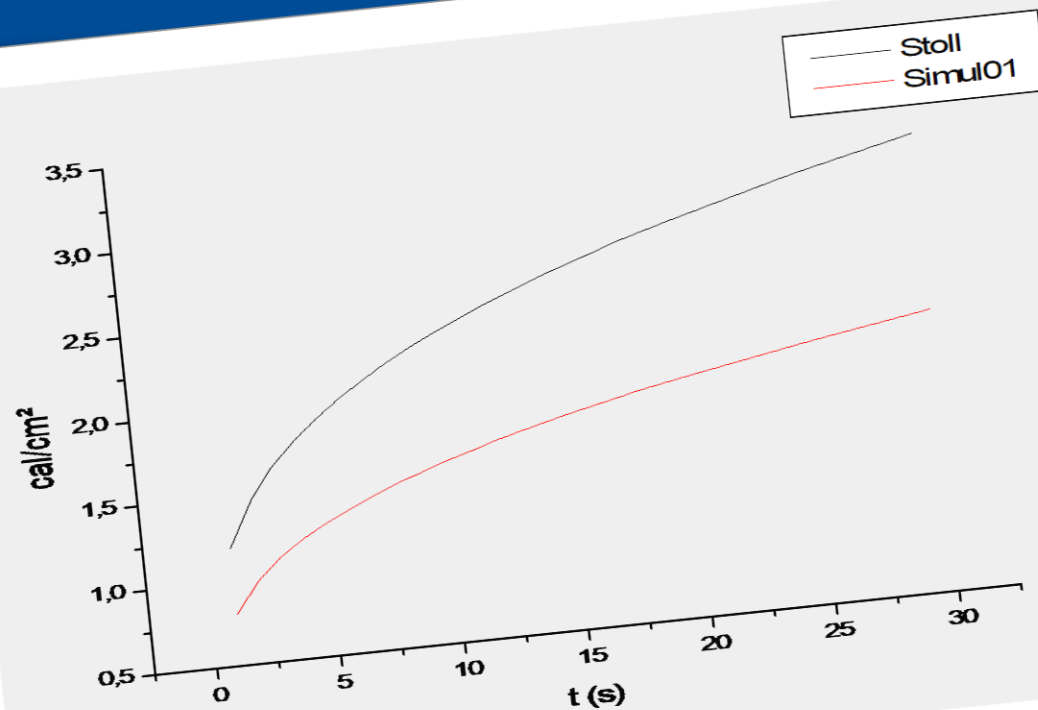
# Caracterização ATPV

Dedução da queima ou não do tecido por meio de comparação direta:

quando a curva de energia transmitida extrapola a curva de Stoll, ocorre queima (1);

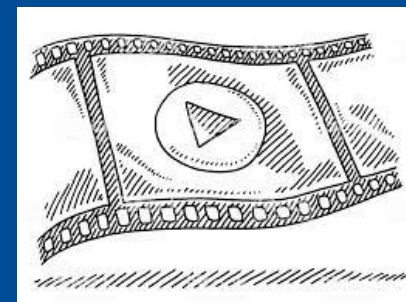
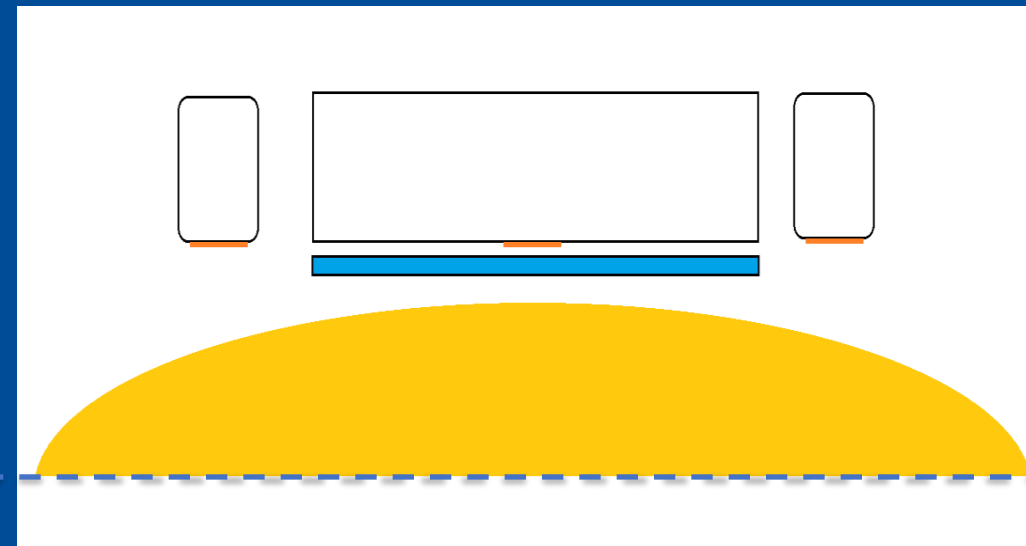
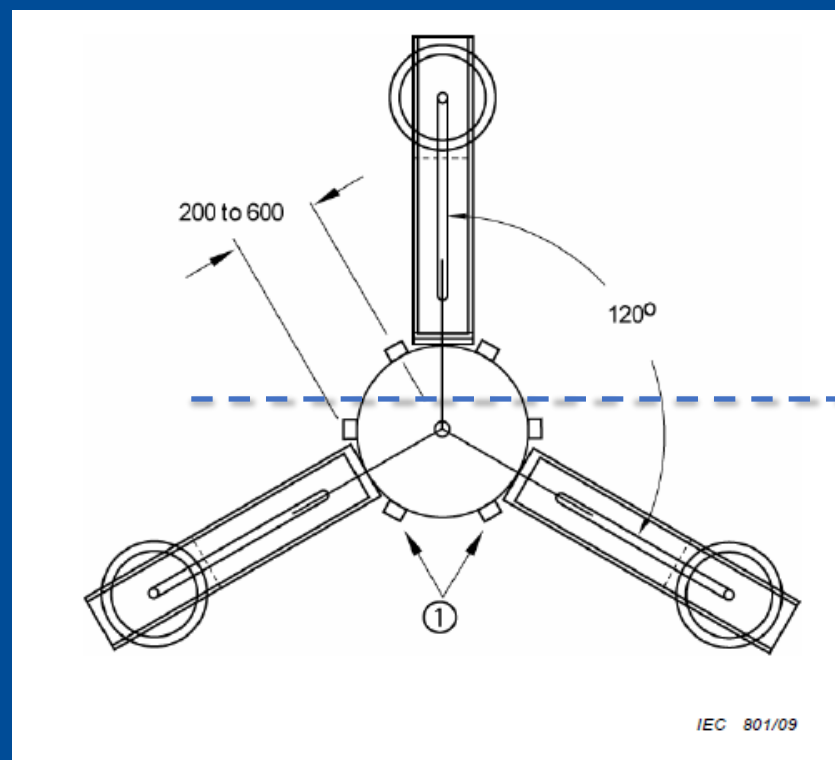
quando a curva de energia transmitida não extrapola a curva de Stoll, não ocorre queima (0).

# Curva de Stoll



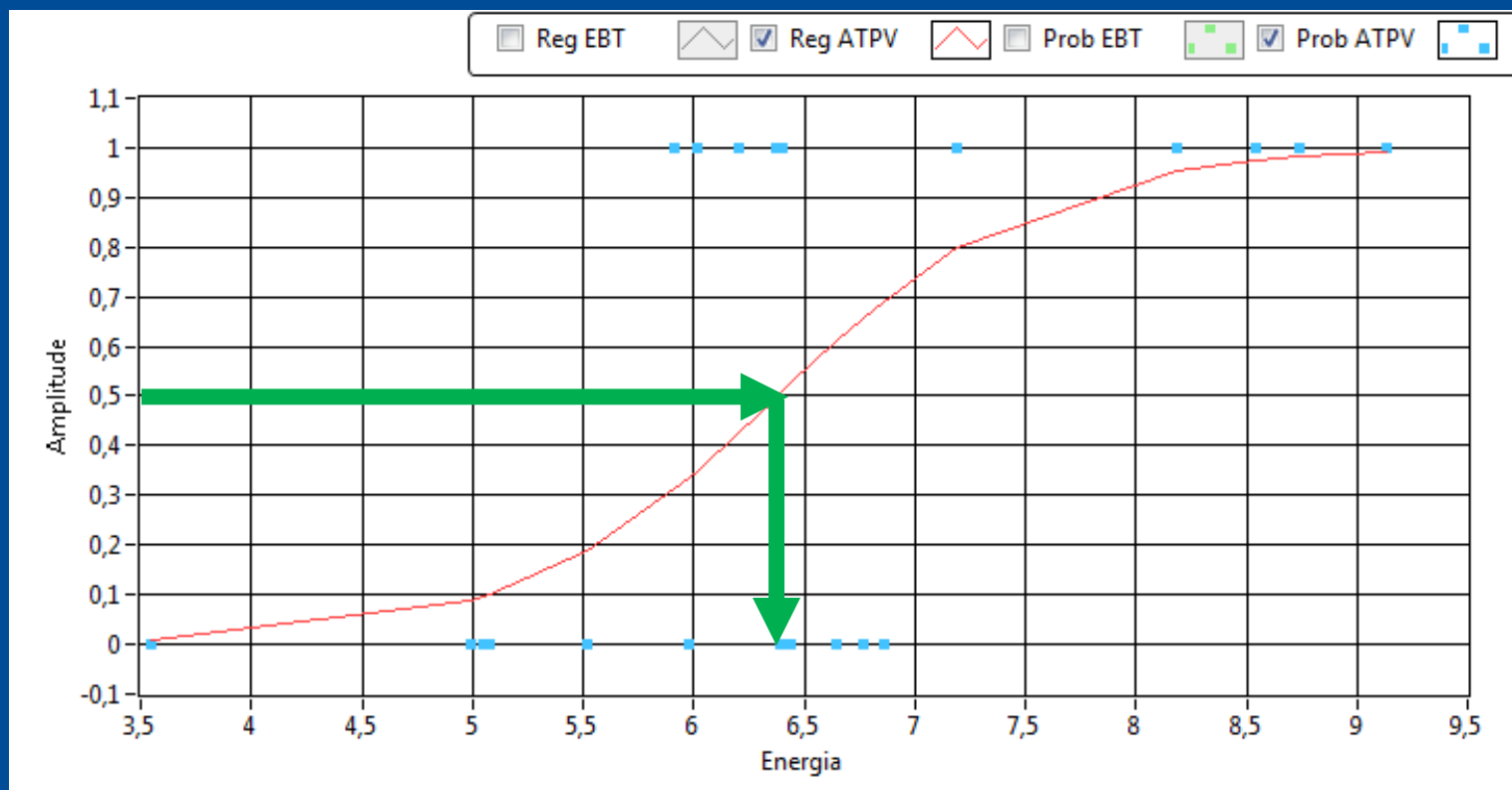


# Ensaio de caracterização



# ATPV (Arc Thermal Performance Value)

Uma série de dados avaliados com base na Curva de Stoll



# Caracterização EBT

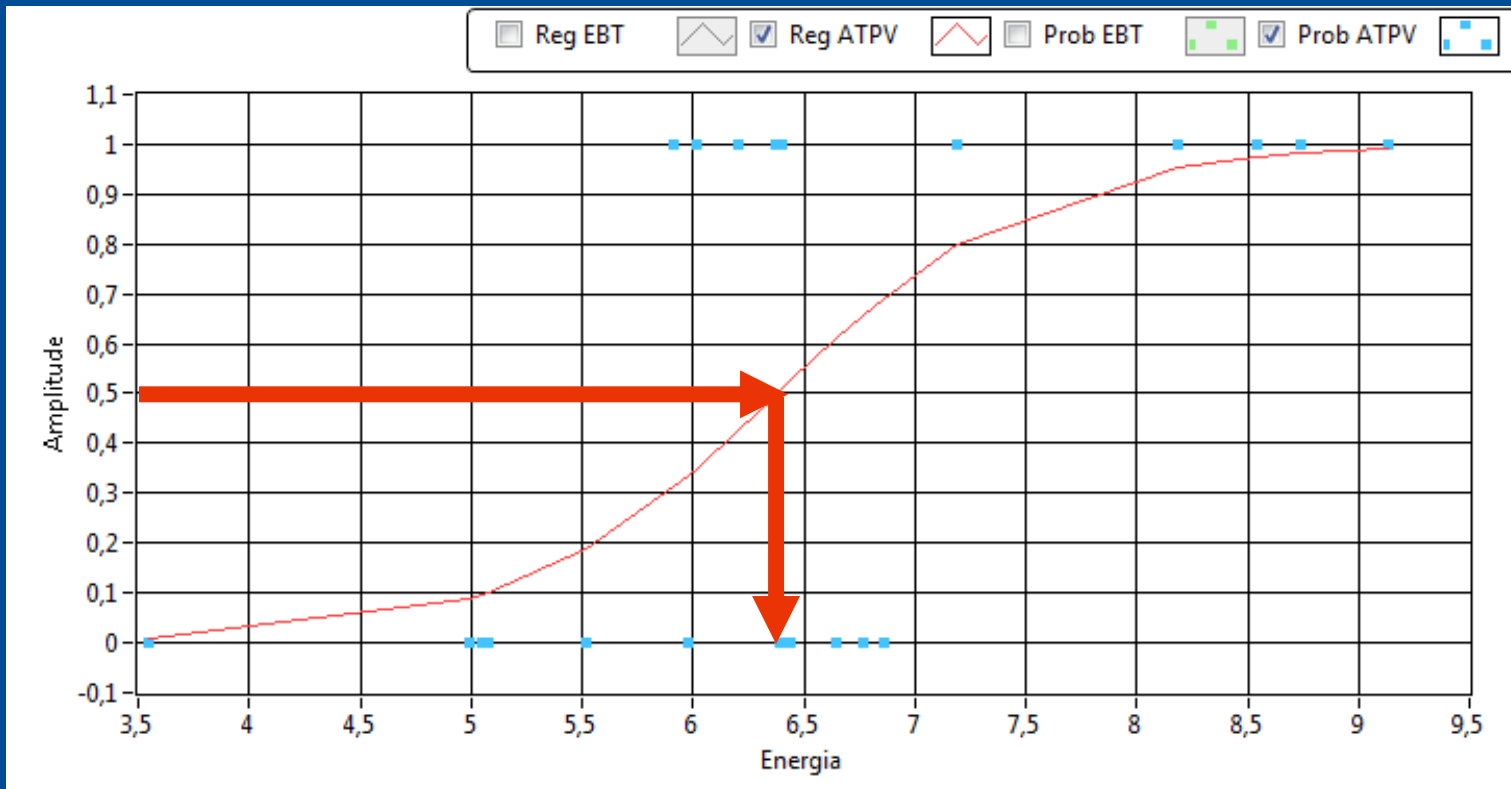
Dedução do rompimento ou não do tecido por meio de verificação e medição:

quando é evidenciado rompimento, ocorre queima (1);

quando não é evidenciado rompimento, não ocorre queima (0).

# EBT50 (Breakopen Threshold Energy)

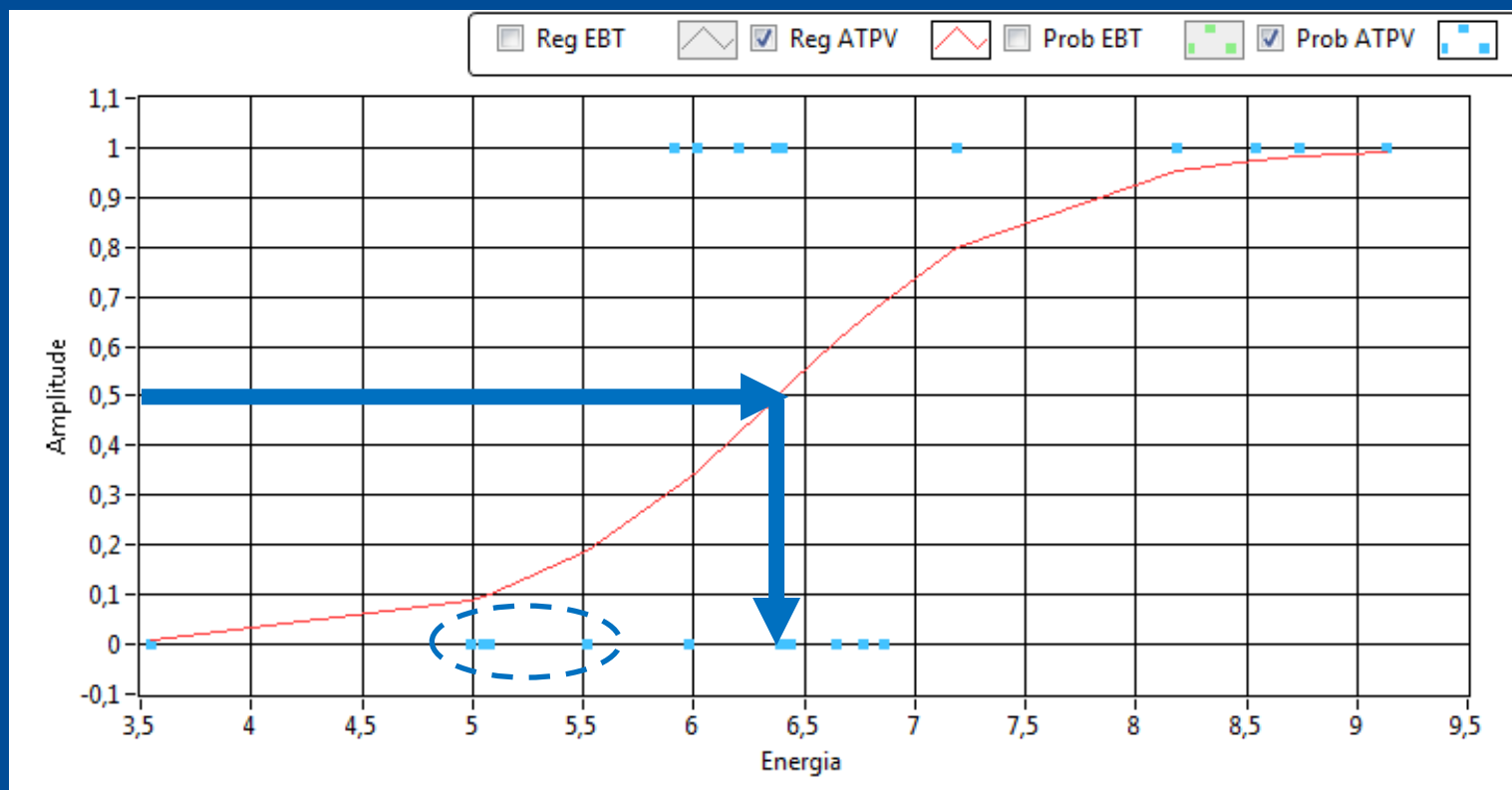
Uma série de dados avaliados com base em Rompimentos



# Um novo Parâmetro de Resistência ao ARCO ELÉTRICO - ELIM

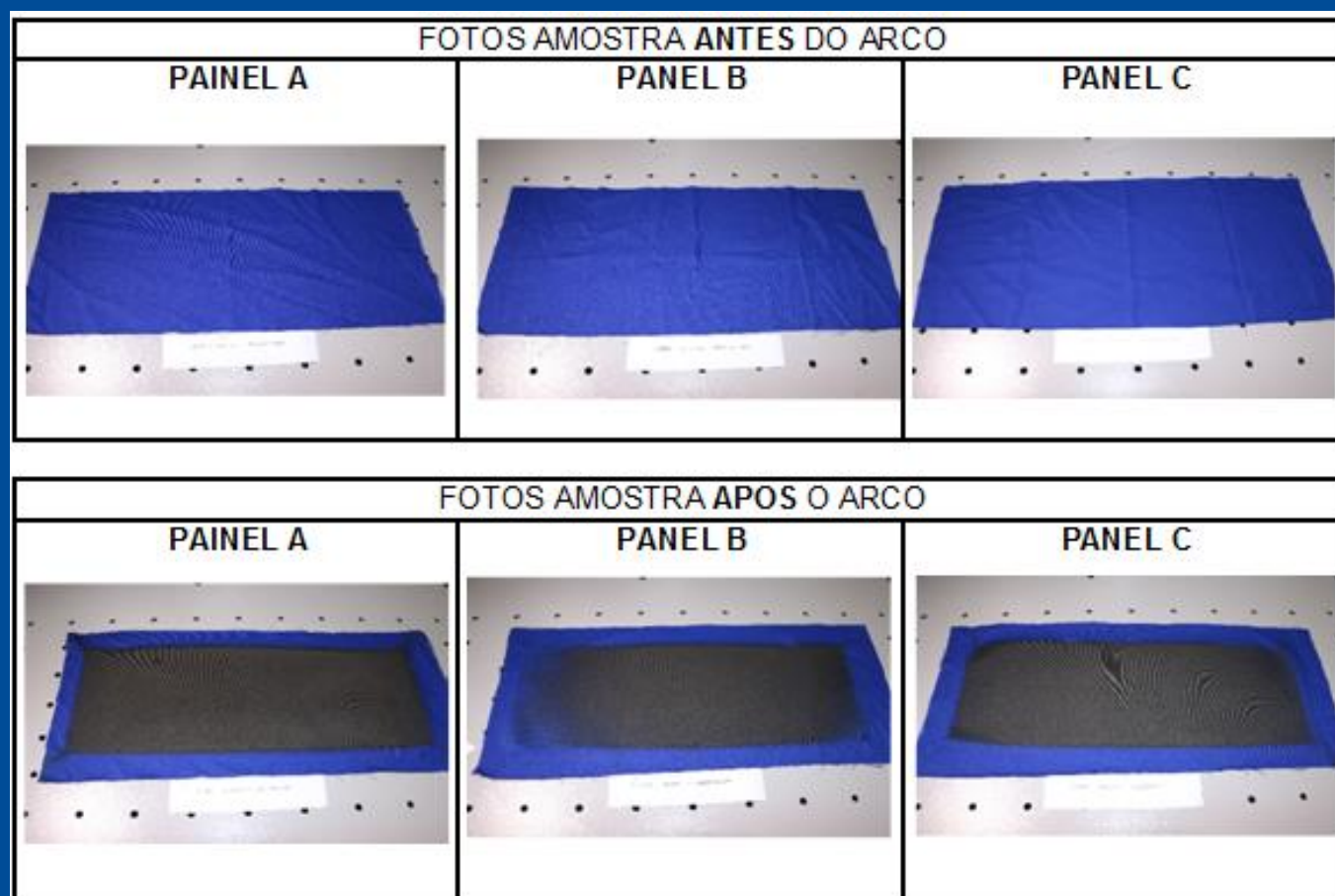
Energia Incidente Limite – Corresponde a probabilidade muito baixa, teoricamente ZERO, de ocorrência de queimadura de segundo grau.

## ELIM - Incident Energy Limit - IEC 61482-2 (Requisitos)

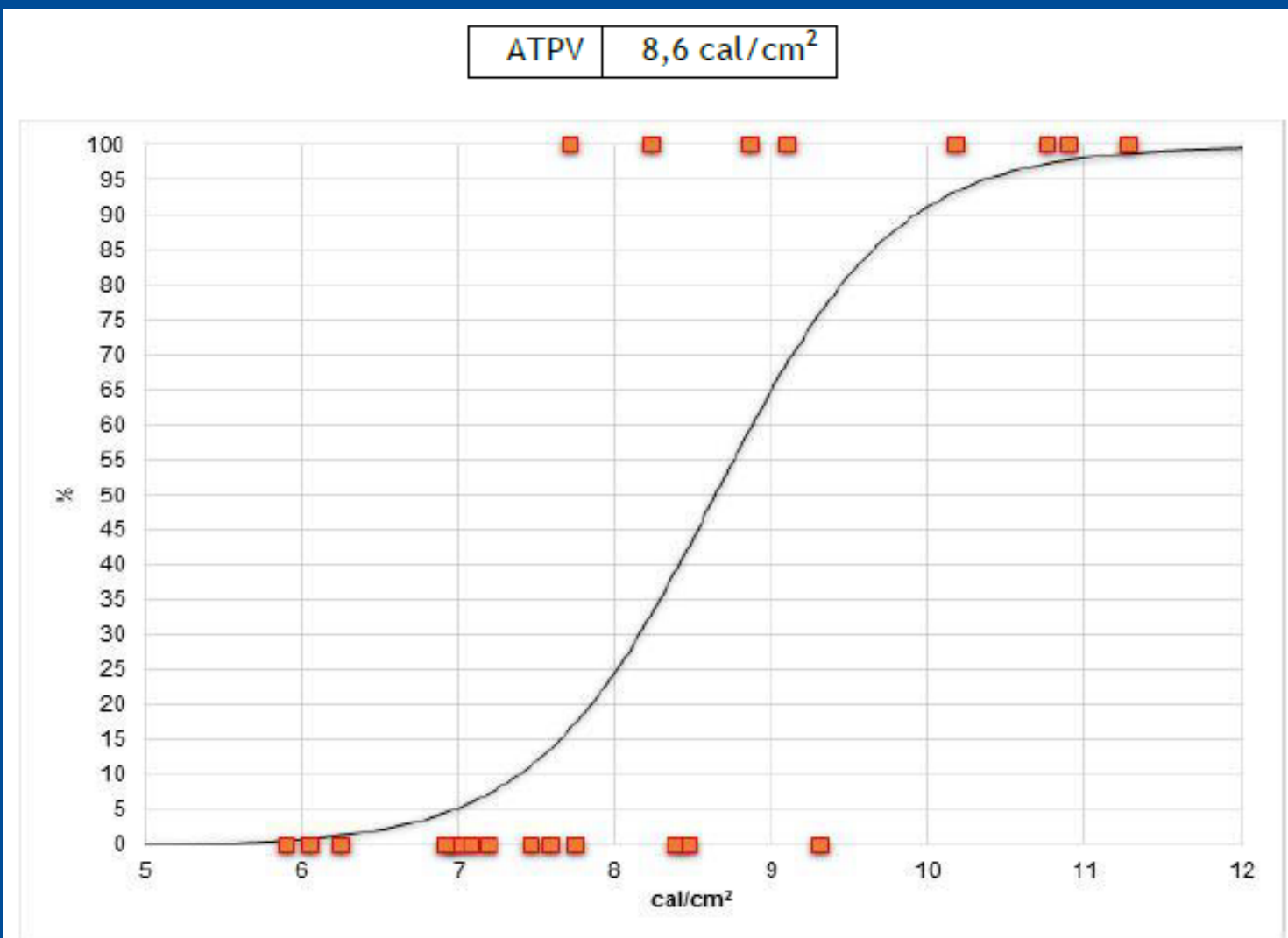


Arelado a  
determinação  
ATPV ou EBT

# Avaliação Tecidos

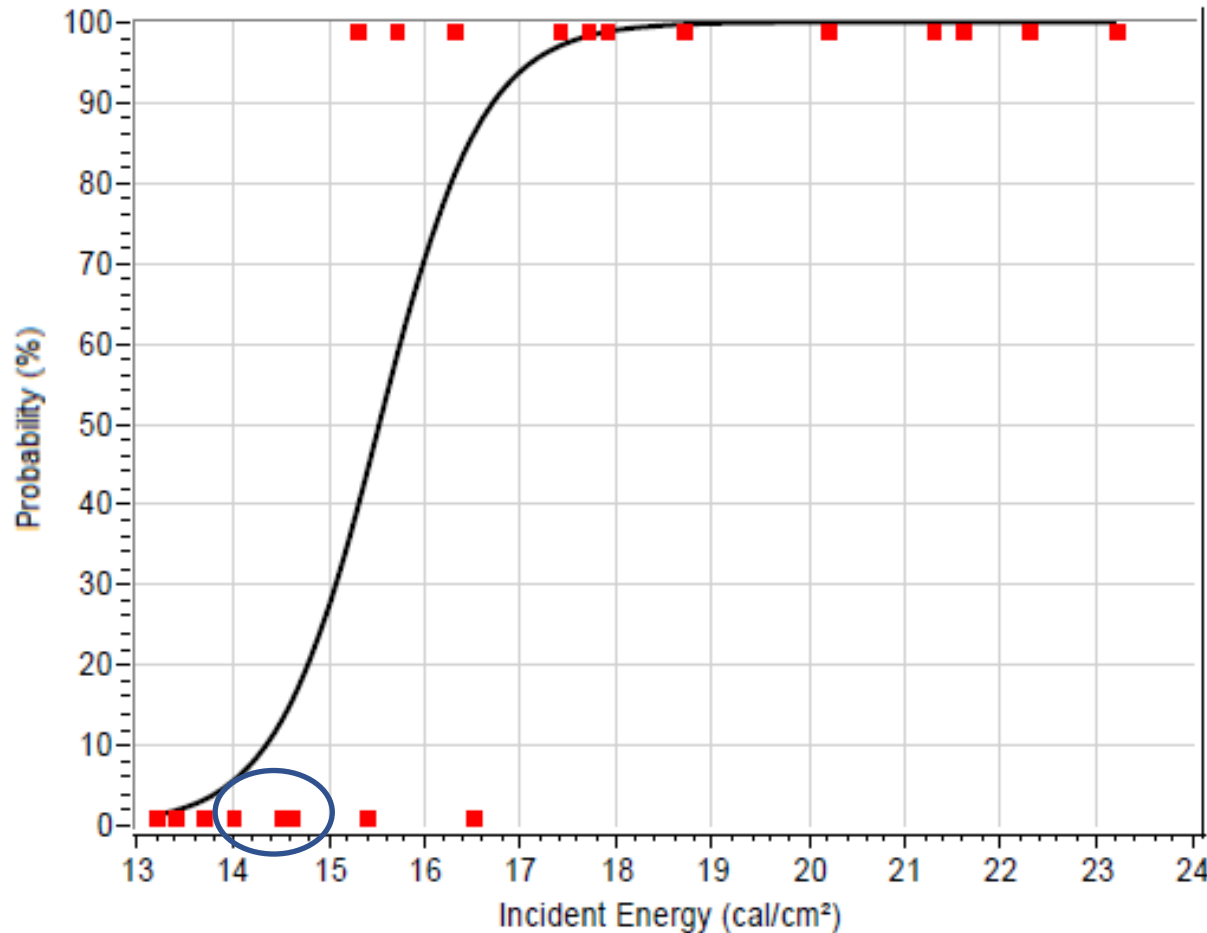


# Caracterização de Tecidos





Determination of ATPV



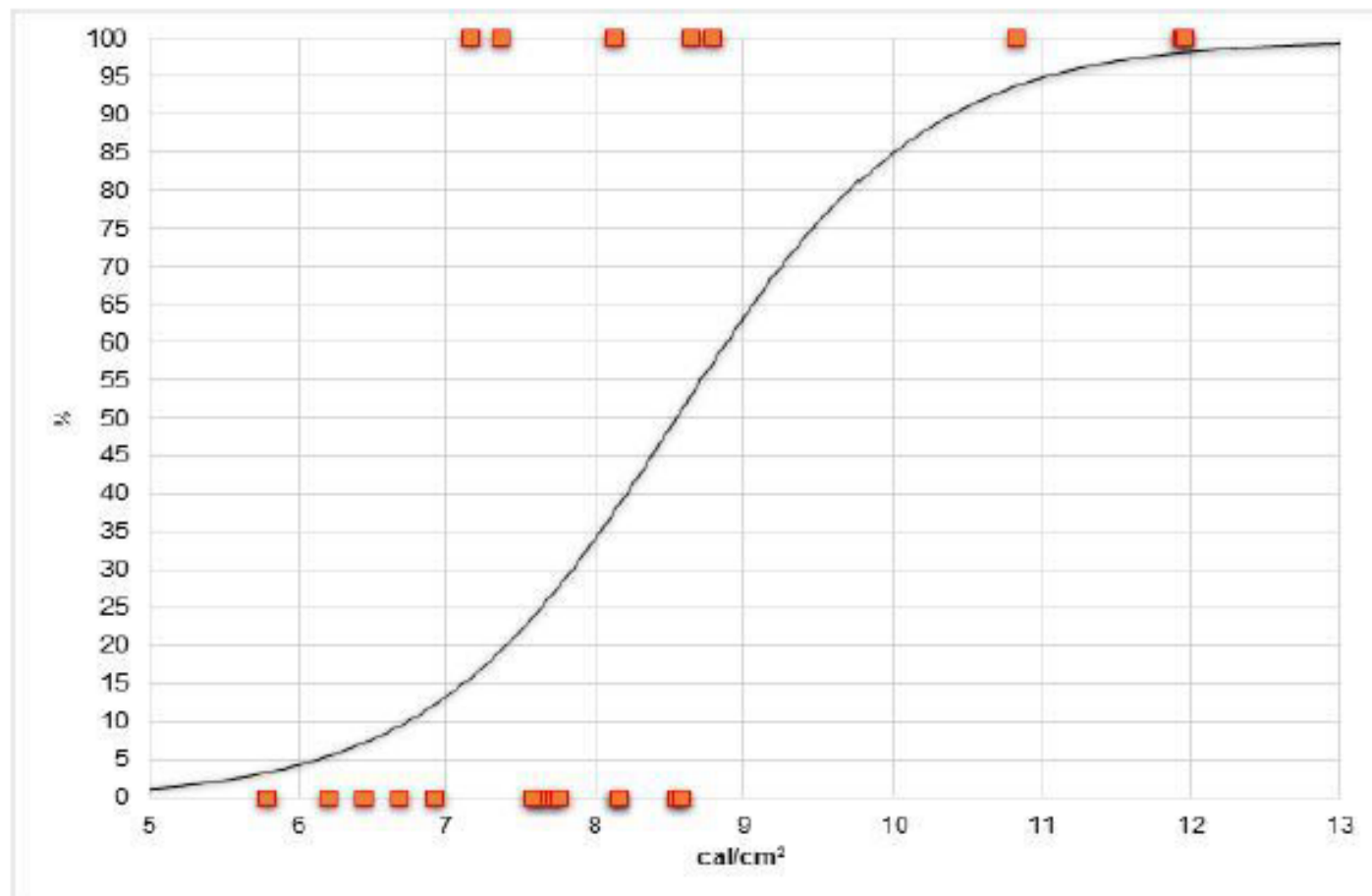
ATPV = 16 cal/cm²

Probability	Ei
5%	13.9
10%	14.3
20%	14.8
30%	15.1
40%	15.3
50%	15.5
60%	15.7
70%	16.0
80%	16.3
90%	16.7

(Note: ATPV is reported to nearest integer  
for ratings above 10 cal/cm²)

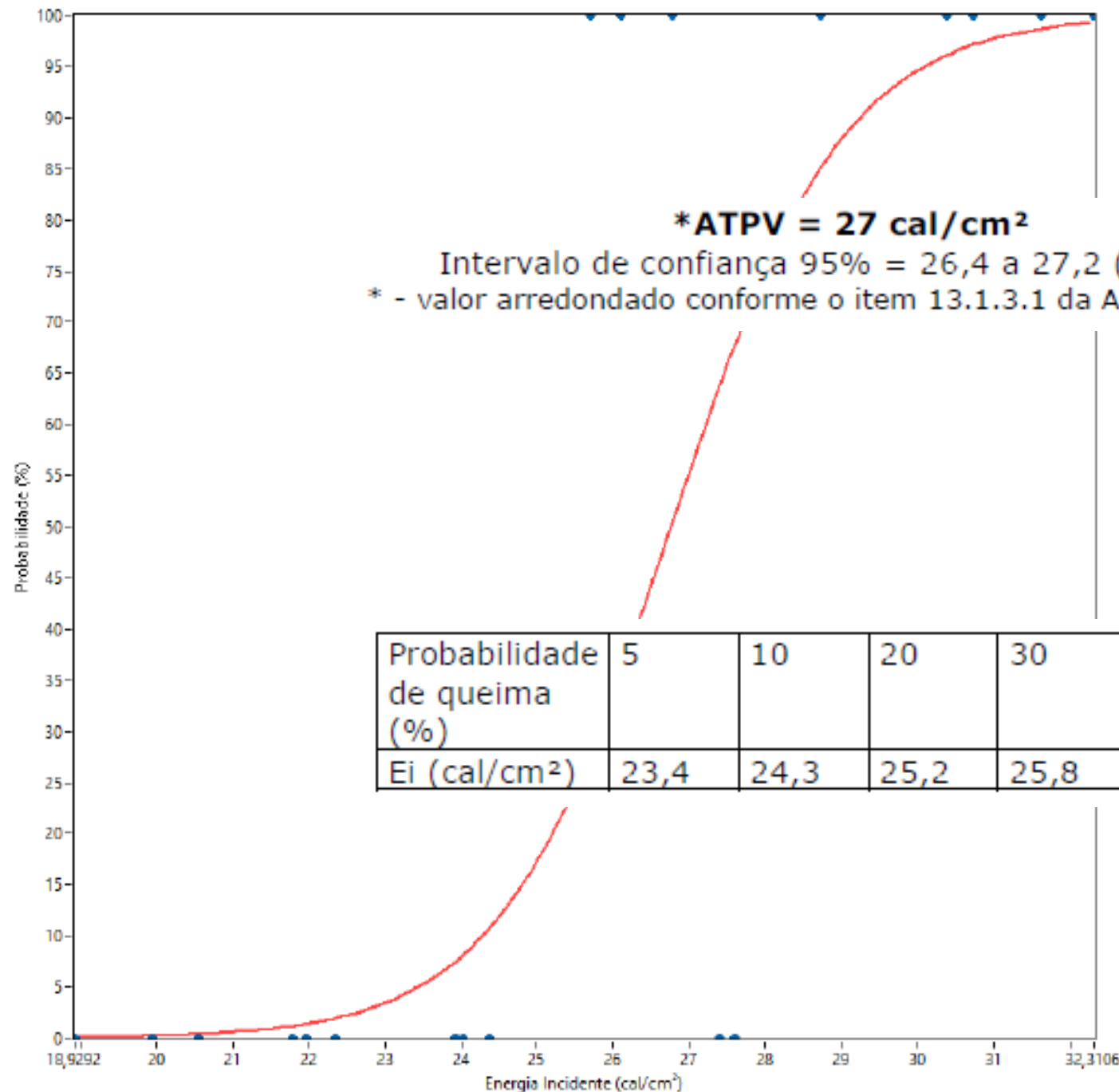
Total points analyzed = 21  
Points above Stoll = 13  
Points above mix zone = 9  
Points below mix zone = 6  
# Pts within 20% = 15  
# Pts in mix zone = 6

# Caracterização de Tecidos

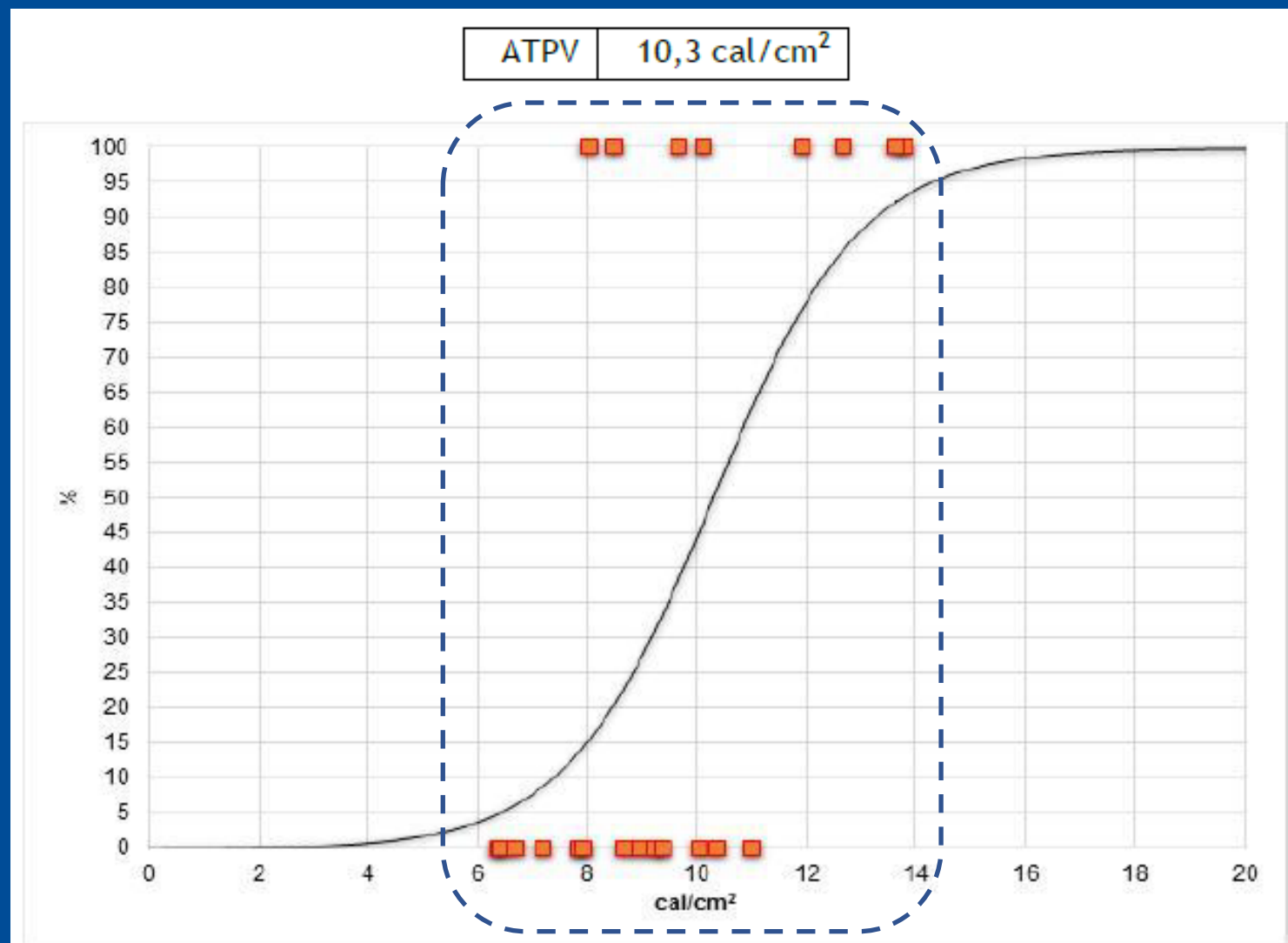
ATPV | 8,5 cal/cm<sup>2</sup>

Probability %	5	10	20	30	40	50	60	70	80	95
E <sub>i</sub> cal/cm <sup>2</sup>	6,1	6,7	7,4	7,8	8,2	8,5	8,9	9,2	9,7	11,0

## Caracterização de Tecidos



# Caracterização de Tecidos



## Caracterização de Tecidos

# Caracterização de Tecidos

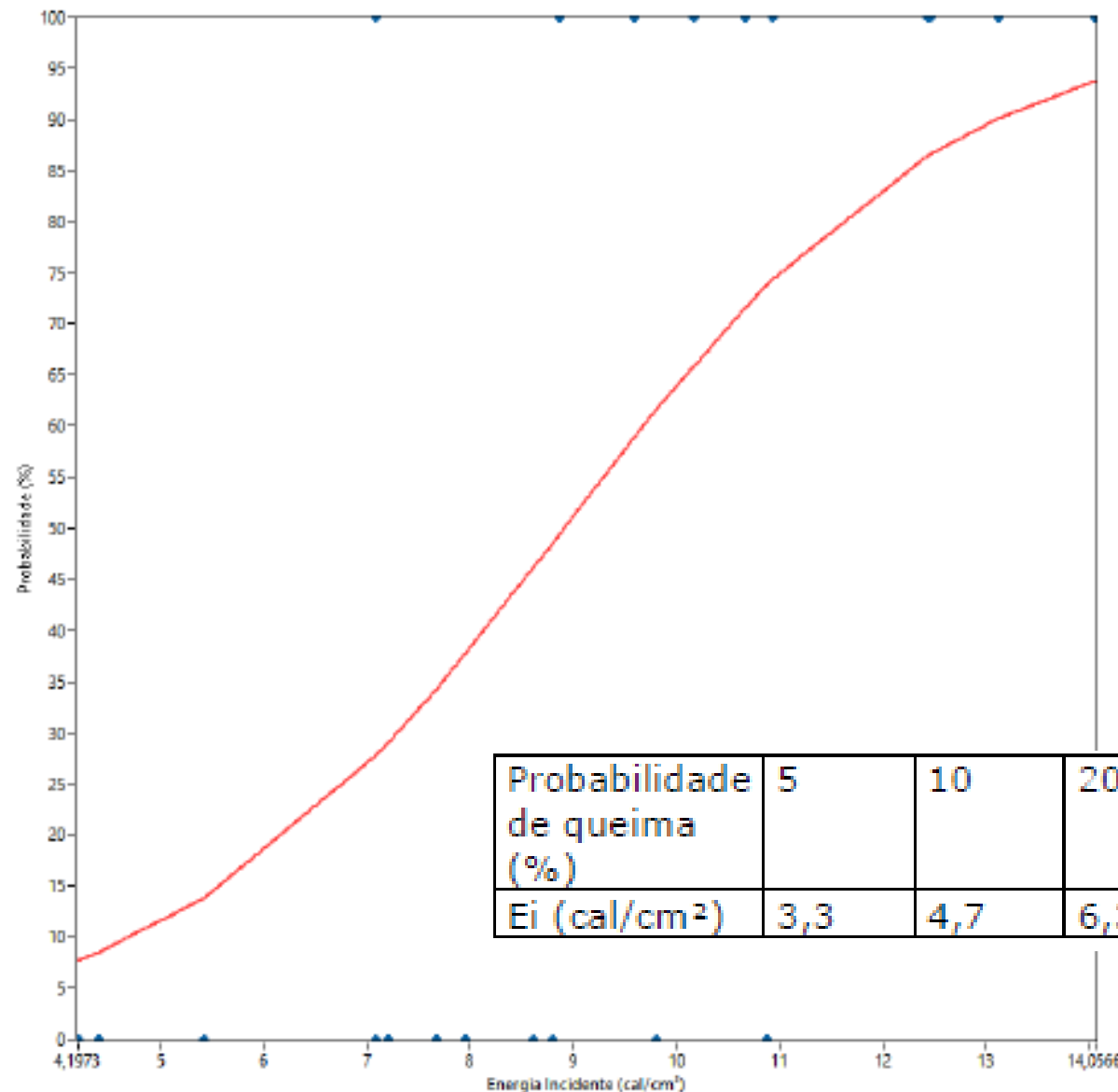


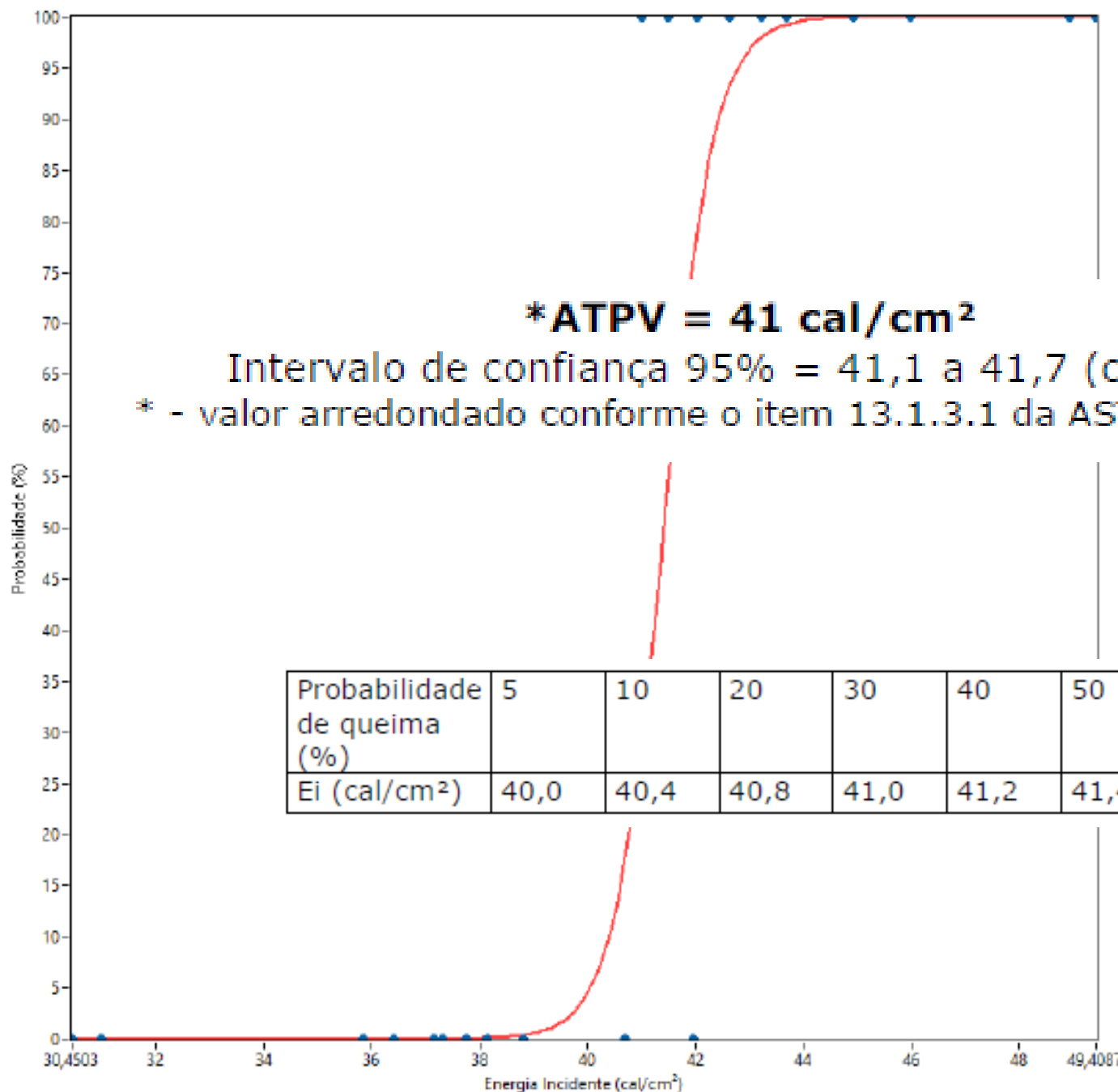
Figura 37 - Regressão logística para o cálculo do ATPV

$$\text{ATPV} = 8,9 \text{ cal/cm}^2$$

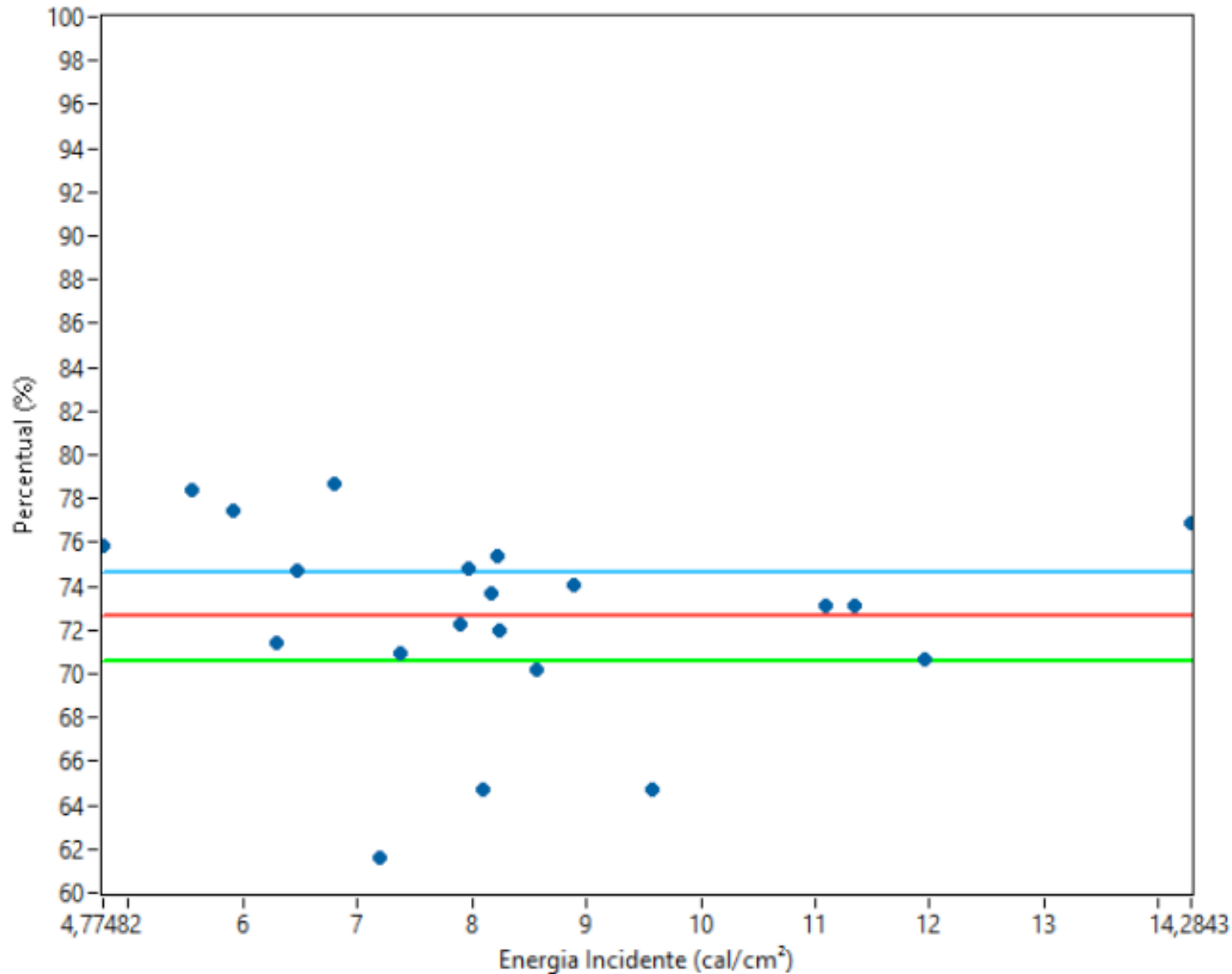
Intervalo de confiança 95% = 8,1 a 9,7 (cal/cm²)

Total de pontos = 21 dados

# Caracterização de Tecidos

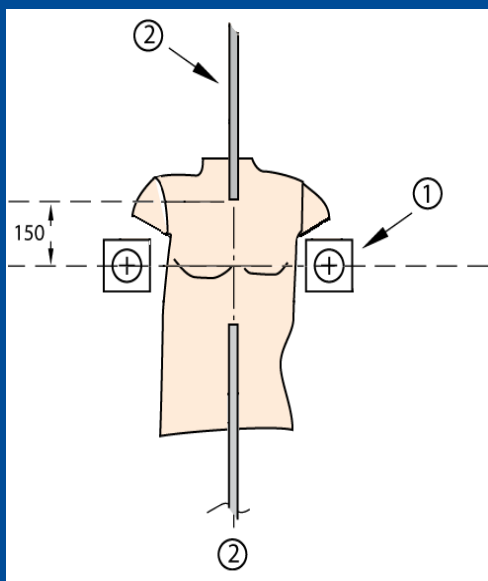


Pontos indicam HAFs Individuais

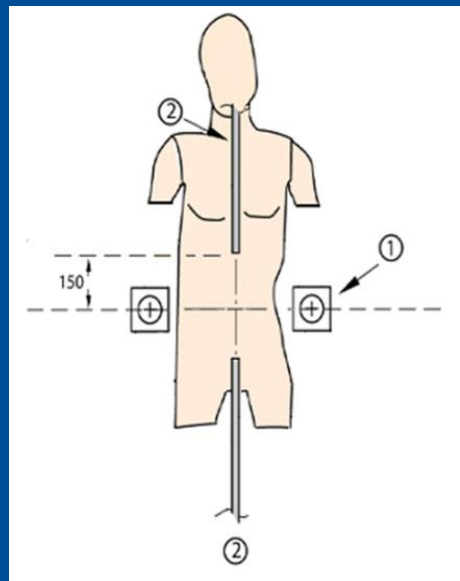
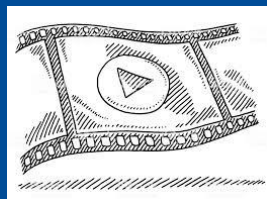


# Caracterização de Tecidos

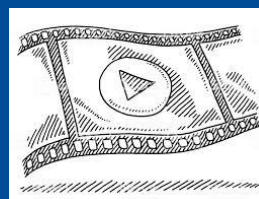
# Avaliação da vestimenta



Risco 2



Risco 4







# Avaliação da Vestimenta



# Avaliação da Vestimenta



# Avaliação da Vestimenta





# Avaliação da Vestimenta



## Avaliação da Vestimenta





# Avaliação da Vestimenta

## CLT (antigo artigo 167)

- Art. 166 - A empresa é obrigada a fornecer aos empregados, gratuitamente, equipamento de proteção individual adequado ao risco e em perfeito estado de conservação e funcionamento, sempre que as medidas de ordem geral não ofereçam completa proteção contra os riscos de acidentes e danos à saúde dos empregados.
- Art. 167 - O equipamento de proteção só poderá ser posto à venda ou utilizado com a indicação do Certificado de Aprovação do Ministério do Trabalho.

## CLT (antigo artigo 167)

- Art. 166 - O MESMO.
- Art. 167 - O equipamento de proteção individual só poderá ser posto à venda ou utilizado com a indicação de certificado de conformidade emitido no âmbito do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - SINMETRO ou de laudos de ensaio emitidos por laboratórios acreditados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro, conforme o disposto em ato da Secretaria Especial de Previdência e Trabalho do Ministério da Economia. (Redação dada pela Medida Provisória nº 905, de 2019)



## Papel do Laboratório na Avaliação do EPI

- Laboratório Não Certifica Produto
- Ensaio é o relato com base em uma amostra significativa
- O que garante a eficácia do EPI neste cenário?

# Não podemos nos limitar ao cenário atual.

- Auditoria de EPI
- Consideração sobre histórico e relevância dos ensaios
- Certificação Voluntária

# Dúvidas?



# OBRIGADO !