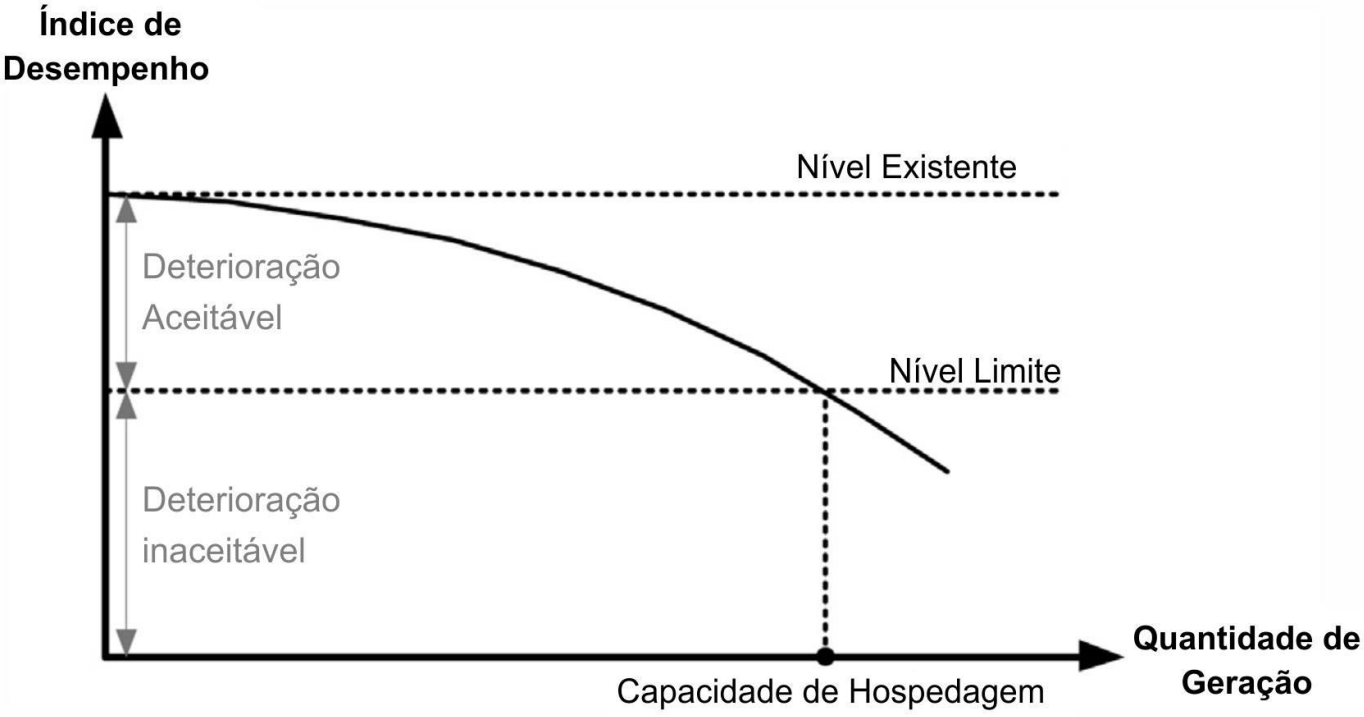
DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA GRÁFICA DESTINADA À VISUALIZAÇÃO DE ÁREAS DE CAPACIDADE DE HOSPEDAGEM DETERMINADAS PELOS LIMITES DE DISTORÇÕES HARMÔNICAS DO PONTO DE CONEXÃO DE FONTES RENOVÁVEIS

GDS / Ivan Nunes Santos* - UFU
Fabrício Montes Silva - UFU
Paulo Fernando Ribeiro - UNIFEI

CAPACIDADE DE HOSPEDAGEM

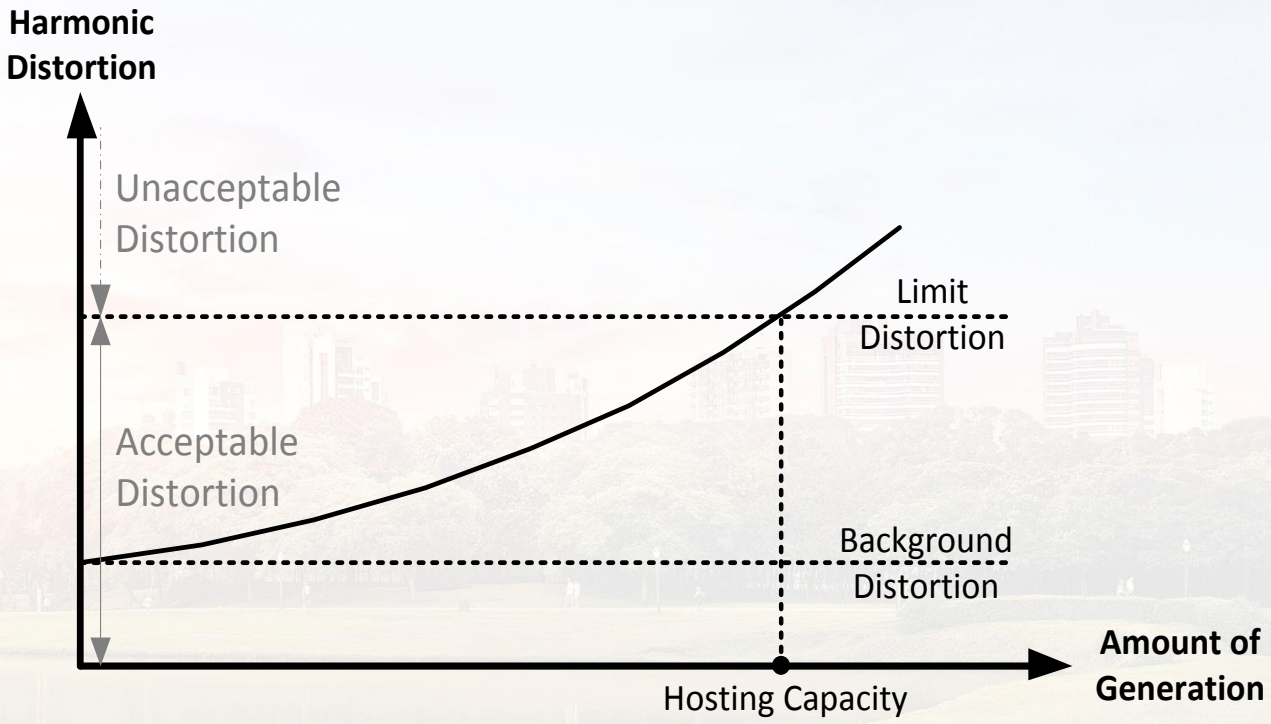


CAPACIDADE DE HOSPEDAGEM

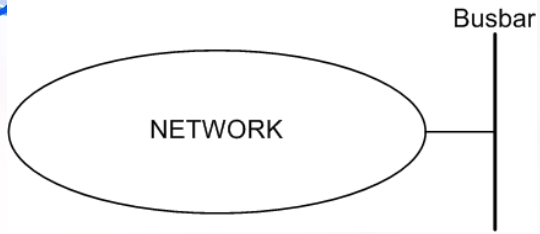
Capacidade de Hospedagem

- Sobretensão, Subtensão
- Harmônicos, Inter-hamônicos
- Sobrecargas, Flicker, Desbalanço, etc

CAPACIDADE DE HOSPEDAGEM HARMÔNICA

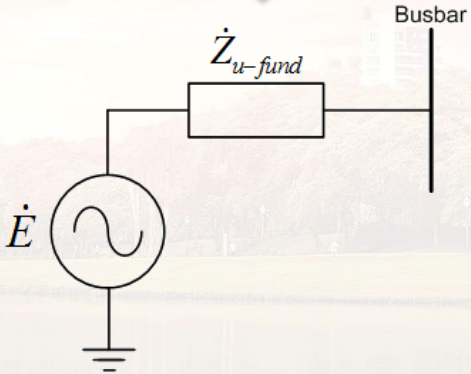


PROCEDIMENTO PARA CÁLCULO DE CAPACIDADE DE HOSPEDAGEM HARMÔNICA



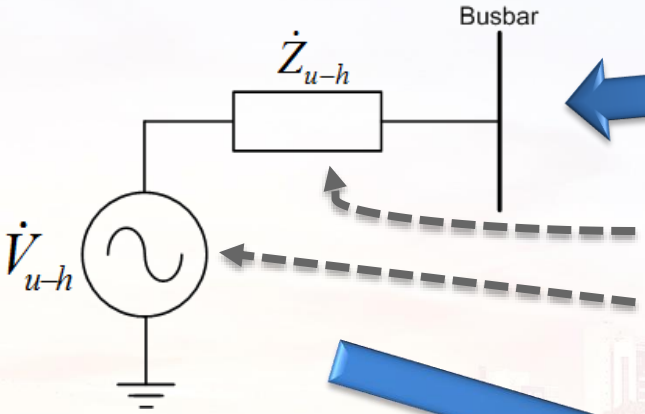
Rede Genérica da Concessionária
(distribuição ou transmissão)

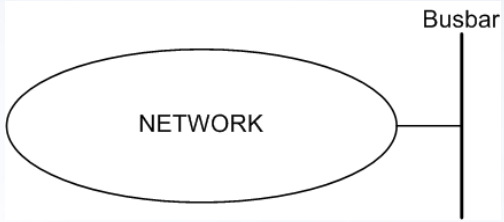
Para Frequência Fundamental



Circuito equivalente de Thevenin
de frequência fundamental

PROCEDIMENTO PARA CÁLCULO DE CAPACIDADE DE HOSPEDAGEM HARMÔNICA

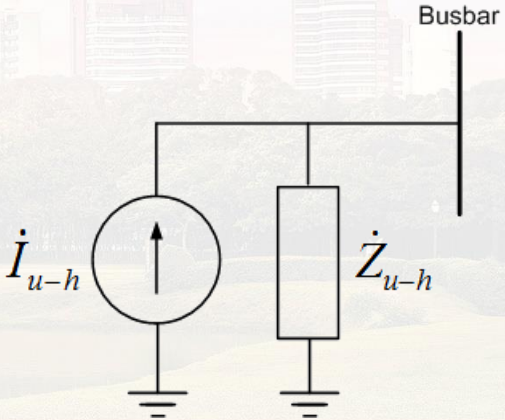




Para cada ordem harmônica

$\dot{Z}_{u-h}$ – impedância harmônica equivalente da concessionária de ordem *h*

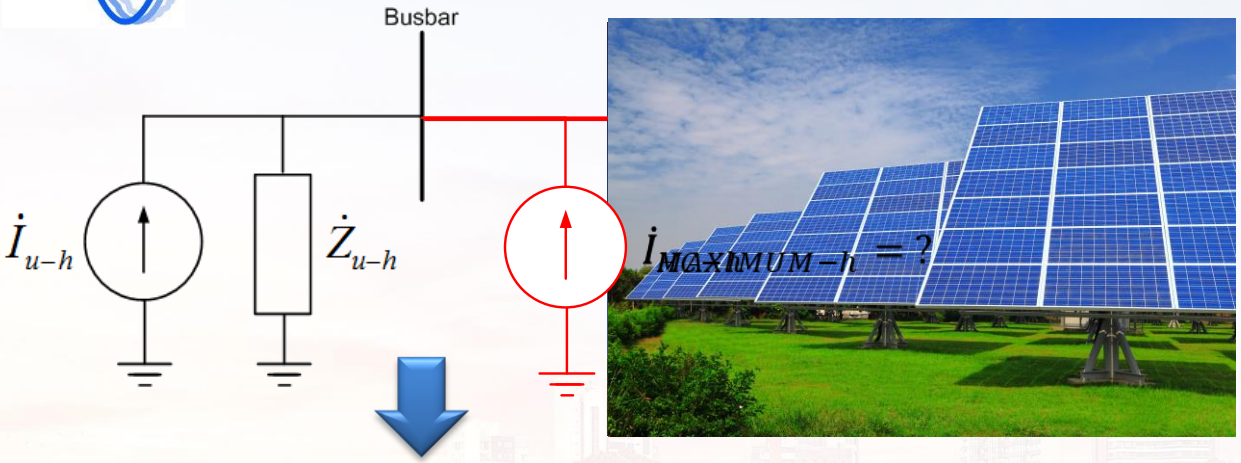
$\dot{V}_{u-h}$ – tensão harmônica de ordem *h* (background distortion)



$$\dot{I}_{u-h} = \frac{\dot{V}_{u-h}}{\dot{Z}_{u-h}}$$

Circuito equivalente de Norton para ordem harmônica *h*

PROCEDIMENTO PARA CÁLCULO DE CAPACIDADE DE HOSPEDAGEM HARMÔNICA



$$\left|\left(\dot{I}_{u-h} + \dot{I}_{HC-h}\right).\dot{Z}_{u-h}\right| = V_{limit-h}$$

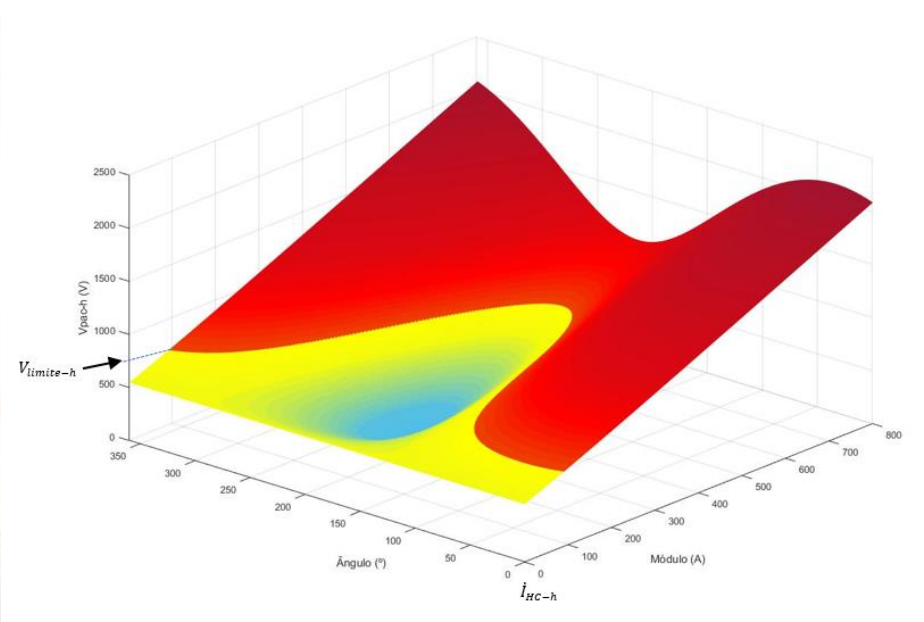
$V_{limit-h}$ – tensão harmonica limite de ordem h

$$I_{HC-h} = -I_{u-h}.\cos(\alpha - \beta) + \sqrt{I_{u-h}^2[\cos^2(\alpha - \beta) - 1] + \left(\frac{V_{limit-h}}{Z_{u-h}}\right)^2}$$

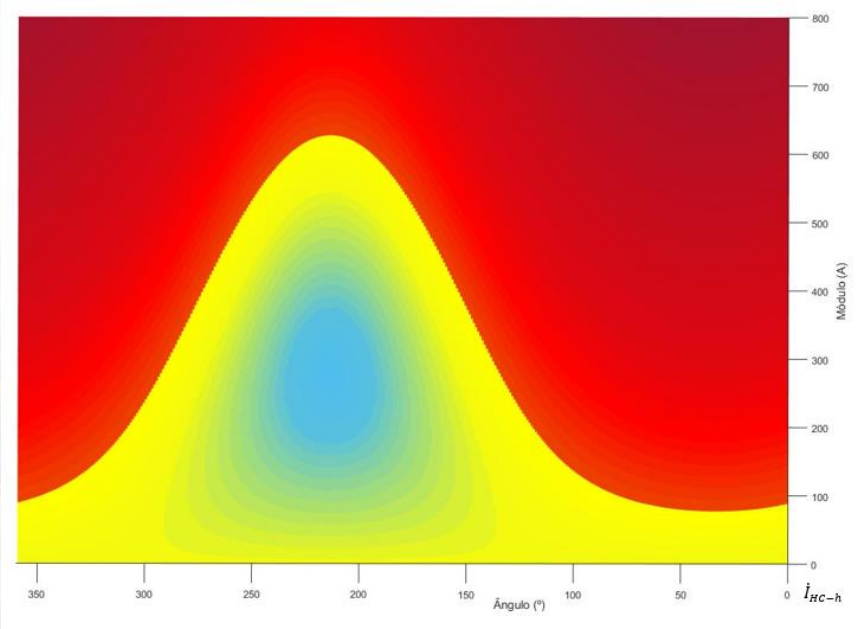
$$\dot{I}_{u-h} = I_{u-h} \measuredangle \alpha$$

$$\dot{I}_{HC-h} = I_{HC-h} \measuredangle \beta$$

GRÁFICO DE VISUALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE CAPACIDADE DE HOSPEDAGEM HARMÔNICA



Para contornar a dificuldade de visulização da equação anterior.

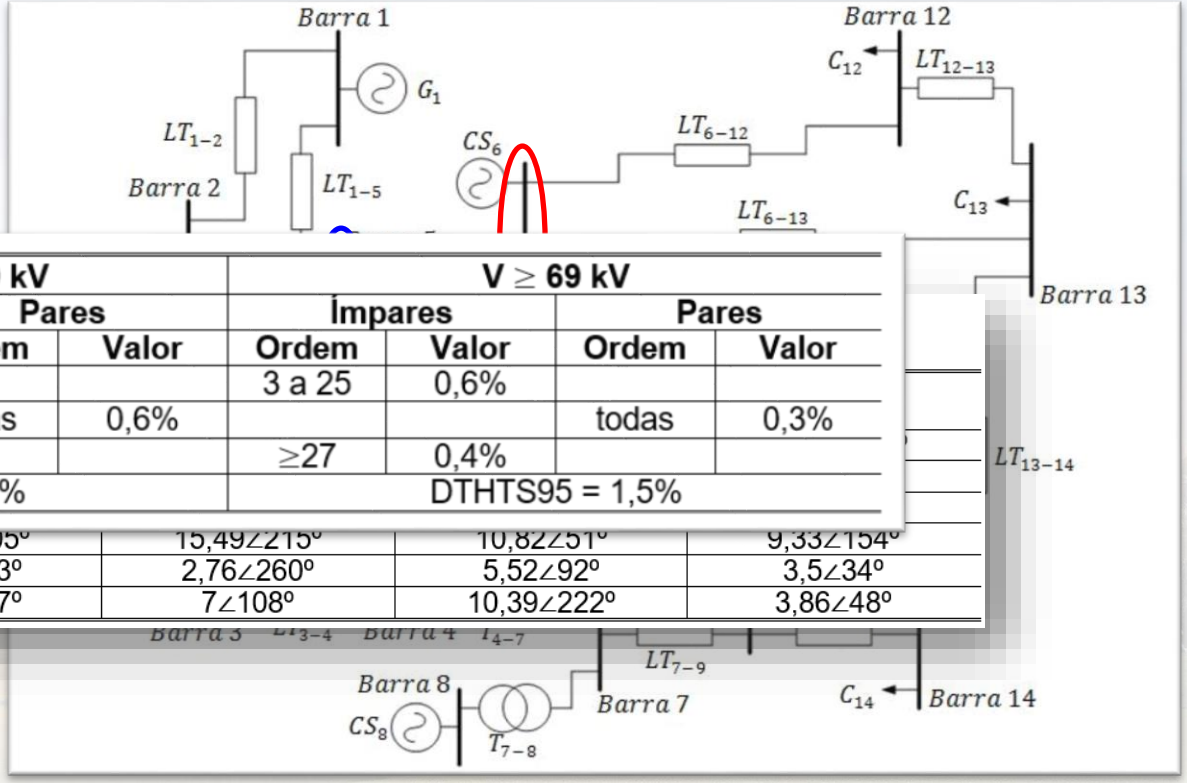


Exemplo Hipotético

variando-se β da I_{HC}
variando-se magnitude

ESTUDO DE CASO

Sistema de 14 barras do IEEE:



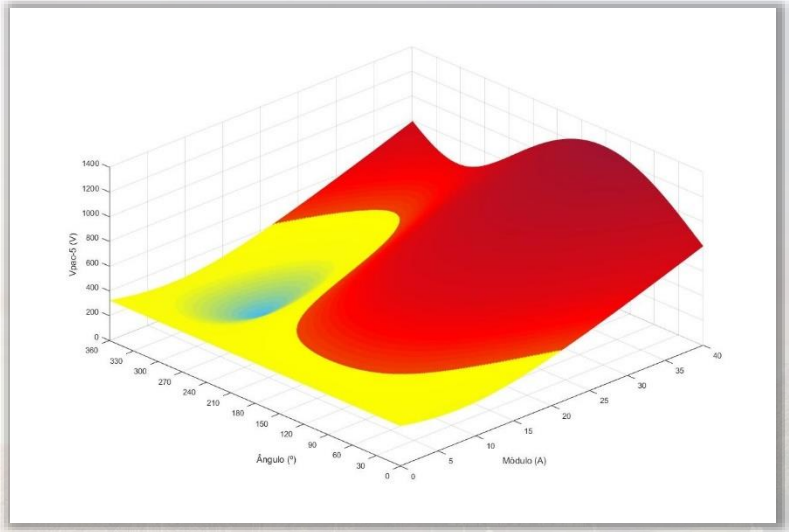
13,8 kV ≤ V < 69 kV				V ≥ 69 kV			
Ímpares		Pares		Ímpares		Pares	
Ordem	Valor	Ordem	Valor	Ordem	Valor	Ordem	Valor
3 a 25	1,5%			3 a 25	0,6%		
		todas	0,6%			todas	0,3%
≥27	1,5%			≥27	0,4%		
DTHTS95% = 3%				DTHTS95 = 1,5%			

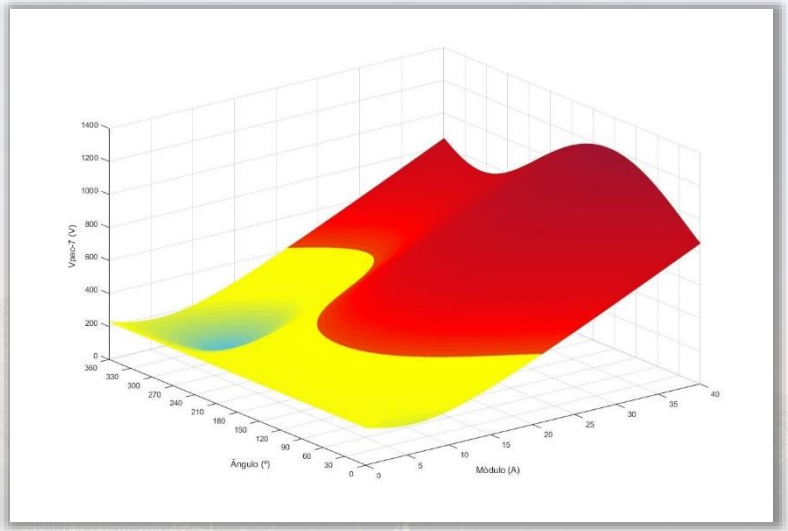
9	21,64∠105º	15,49∠215º	10,82∠51º	9,33∠154º
13	3,39∠153º	2,76∠260º	5,52∠92º	3,5∠34º
14	7,85∠137º	7∠108º	10,39∠222º	3,86∠48º

Ordens harmônicas: 5h, 7h, 11h, 13h

ESTUDO DE CASO - RESULTADOS

Barra 5:





5ª Harmônica:

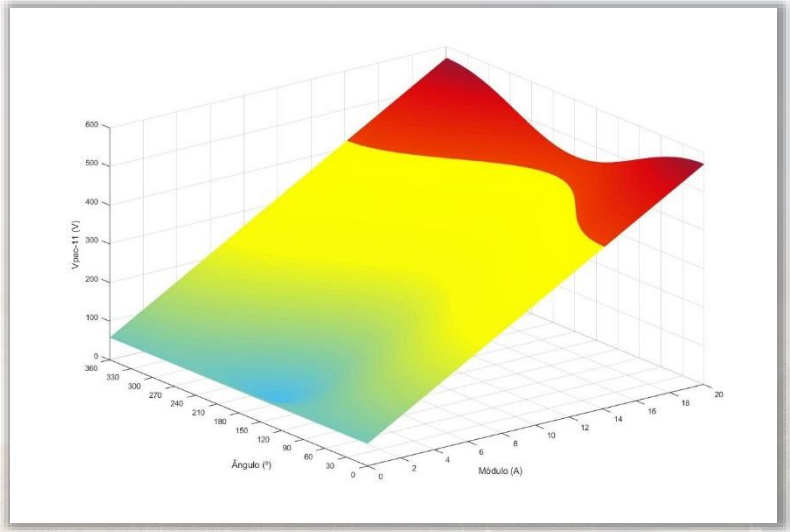
- *5A* entre 60º e 120º;
- *32A* na região de 300º.

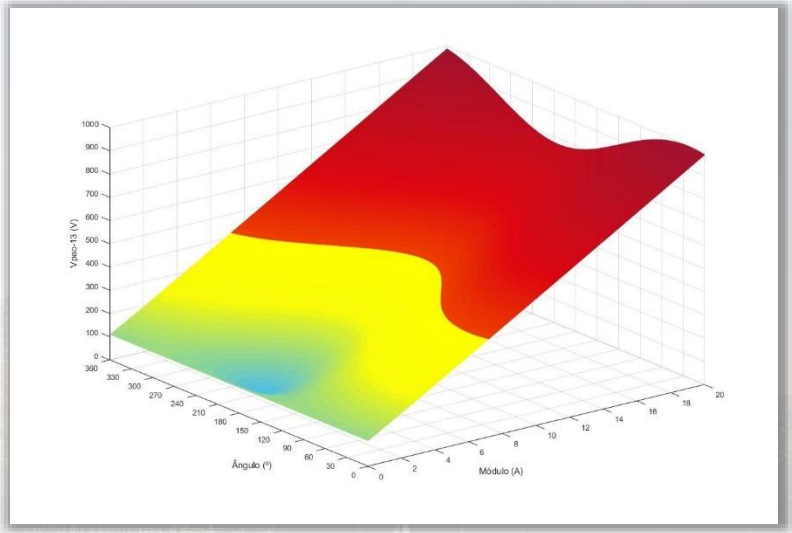
7ª Harmônica:

- *7A* entre 60º e 120º;
- *25A* na região de 300º.

ESTUDO DE CASO - RESULTADOS

Barra 5:





11ª Harmônica:

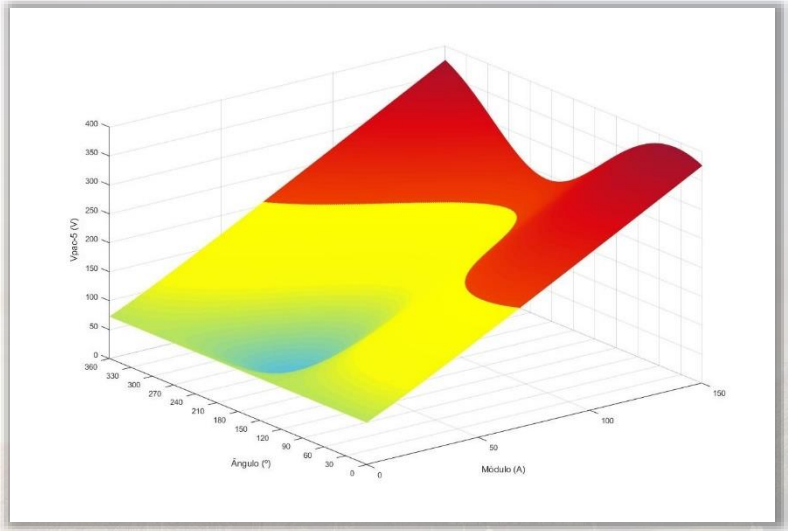
- *14A* na região de 0º;
- *18A* na região de 180º.

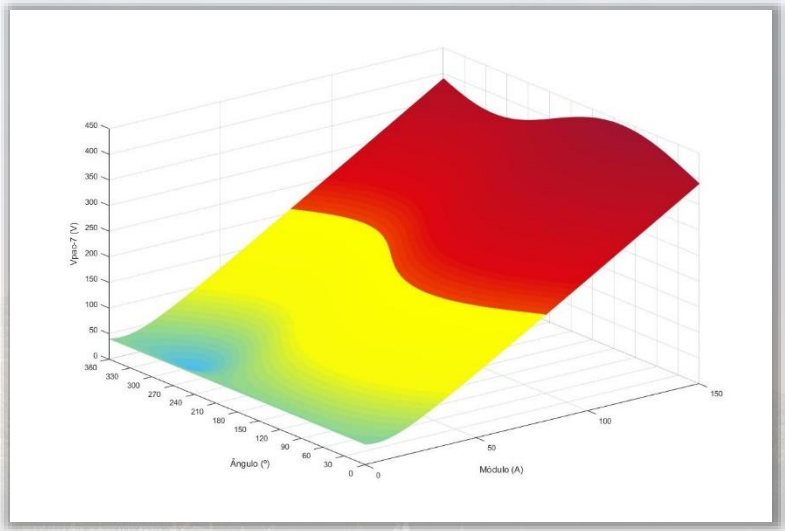
13ª Harmônica:

- *7A* na região de 0º;
- *12A* na região de 180º.

ESTUDO DE CASO - RESULTADOS

Barra 6:





5ª Harmônica:

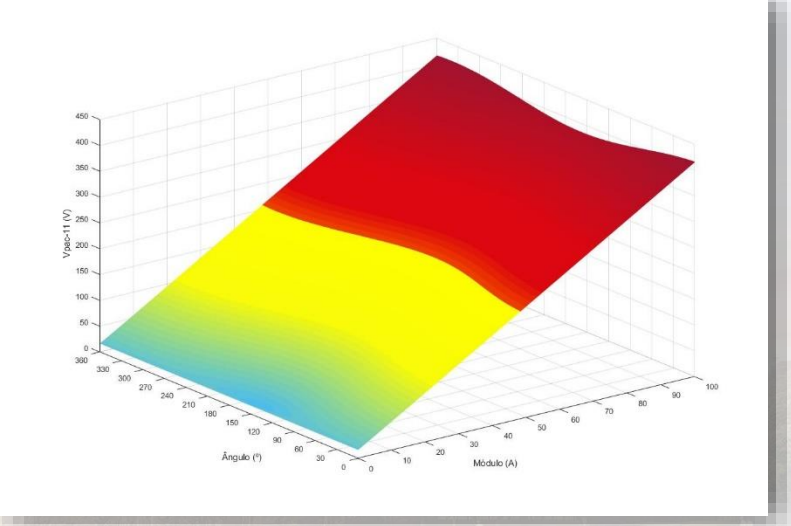
- *60A* entre 0º e 90º;
- *130A* na região de 210º.

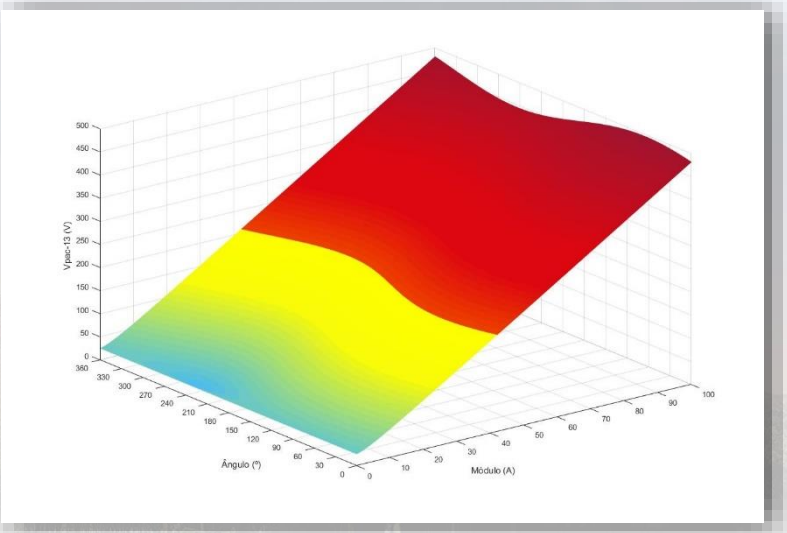
7ª Harmônica:

- *60A* na região de 120º;
- *90A* na região de 300º.

ESTUDO DE CASO - RESULTADOS

Barra 6:





11ª Harmônica:

- *30A* na região de 170º;
- *40A* na região de 350º.

13ª Harmônica:

- *32A* na região de 60º;
- *42A* na região de 240º.

CONCLUSÕES

- Este IT apresentou as bases do procedimento de cálculo da capacidade de hospedagem em termos de harmônico.

- A metodologia adotada trazia meramente expressões para o cálculo dos valores máximos e mínimos de HHC.

- O emprego da presente ferramenta gráfica consegue tornar mais evidente:
  - as regiões de capacidade de hospedagem, bem como;
  - mostrar a complexidade e influência dos ângulos das injeções harmônicas no ponto de acoplamento de fontes renováveis.

XXIV SNPTEE
Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica

UFU

neoenergia

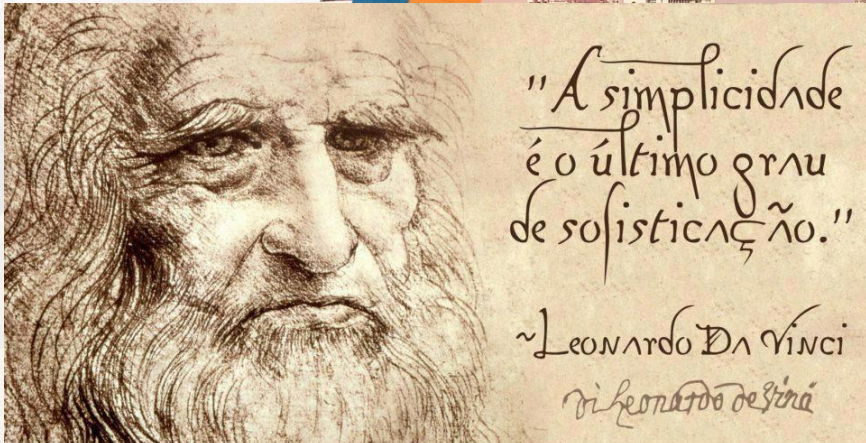
IBERDROLA

GE

IVAN NUNES SANTOS

(34) 3239-4732

(34) 99119-3770

ivan@ufu.br / ivan@ieee.org

www.ivan.pro.br