

Avaliação dos Riscos de Violações de Conformidade de Tensão em Sistemas de Distribuição, utilizando Métodos Probabilísticos e Técnicas de Inteligência Artificial.

R. O. Guimarães, C. C. Oliveira, A. Méffe e M. A. D. Alves

Resumo - ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica estabeleceu a resolução nº 505/2001 que especifica indicadores de variação de tensão de longa duração, contendo os indicadores individuais e coletivos a serem mensurados, assim como, as penalidades pelo não cumprimento dos prazos limites estabelecidos para regularização. A ENERSUL – Empresa Distribuidora do Grupo EDP – Eletricidade de Portugal e o ENERQ – Centro de Estudos em Regulação e Qualidade de Energia Elétrica desenvolveram um projeto de P&D para a obtenção de metodologia e software de simulação dos indicadores de variação de tensão de longa duração. Um módulo computacional foi especificado e desenvolvido para calcular o fluxo de carga com uma abordagem probabilística. Partindo-se das curvas de carga típicas, que representam a variação temporal da carga (demanda máxima e desvio padrão), obtendo-se as curvas de distribuição de probabilidades da tensão, que permitiram calcular, para cada ponto da rede, os riscos de transgressão dos indicadores de variação de tensão de longa duração. Após o projeto de P&D, uma nova abordagem que utiliza a teoria de conjuntos difusos (fuzzy) foi desenvolvida e foi possível a comparação com o método probabilístico. Baseado em números fuzzy que representam a estimativa de níveis tensão para cada ponto na rede, e com métodos específicos de classificação fuzzy, calculam-se os indicadores de DRP e DRC.

Palavras-chave – Indicador, Fluxo de carga, Fuzzy, Probabilidade, Variação de tensão de longa duração.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o Órgão Regulador do setor de energia elétrica do Brasil (ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica) tem estabelecido novas resoluções com relação à qualidade de fornecimento de energia elétrica. A Resolução ANEEL 505/2001 especifica indicadores de variação de tensão de longa duração, contendo os indicadores individuais e coletivos a serem mensurados, os limites para estes indicadores, os métodos de coleta de informações (através de medição de tensão em consumidores selecionados por amostragem ou em resposta a reclamações do nível de tensão por parte de consumidores), e as penalidades pelo não cumprimento dos prazos limites estabelecidos para regularização.

R. O. Guimarães e M. A. D. Alves são da ENERSUL - Empresa Energética de Mato Grosso do Sul S/A – Energias do Brasil (e-mail: renatoguimaraes@enbr.com.br, marco.alves@enbr.com.br, respectivamente).

C. C. Barioni de Oliveira e A. Méffe são do Enerq – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (e-mails: barioni@pea.usp.br, meffe@daimoninterplan.com.br, respectivamente)

Foram estabelecidas três faixas de tensões de atendimento das unidades consumidoras: adequada, precária e crítica, e dois indicadores de transgressão: DRP - Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária, e DRC - Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica.

Estes indicadores referem-se à duração relativa das leituras de tensão, nas faixas de tensão precária e crítica, respectivamente, e não devem ultrapassar um percentual máximo de tempo das leituras de tensão no período de observação definido.

A ENERSUL – Empresa Distribuidora do Grupo EDP – Eletricidade de Portugal, que atua no Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, e que conta com mais de 690.000 consumidores, e o ENERQ – Centro de Estudos em Regulação e Qualidade de Energia Elétrica desenvolveram um projeto de P&D para a obtenção de metodologia e software de simulação que permita a avaliação, pela empresa, de circuitos de distribuição ou áreas do sistema de distribuição quanto aos indicadores de qualidade.

Neste trabalho de P&D foi adotado o enfoque probabilístico, partindo-se das curvas de carga típicas discretizadas em 144 pontos a cada 24 horas, que representam a variação temporal (ao longo do dia) da carga (demanda máxima e desvio padrão) e da modelagem da rede elétrica, obtendo as curvas de distribuição de probabilidades da tensão, que permitiram calcular, para cada ponto da rede, os riscos de transgressão dos indicadores DRP e DRC.

Uma nova abordagem que utiliza a teoria de conjuntos difusos (fuzzy) foi desenvolvida e foi possível a comparação com o método probabilístico. Baseado em números fuzzy que representam a estimativa de níveis tensão para cada ponto na rede, e com métodos específicos de classificação fuzzy, calculam-se os indicadores de DRP e DRC. Esta nova abordagem apresenta algumas vantagens em comparação à probabilística, com destaque para significativa redução no tempo de processamento computacional.

II. LEGISLAÇÃO

De acordo com a Resolução 505/2001 da ANEEL, é um direito do consumidor solicitar à concessionária a medição do nível da tensão de atendimento sempre que acreditar que este não está dentro dos limites legalmente estabelecidos. A ANEEL também estabelece um programa periódico de medições, na qual é estabelecida uma amostra para apuração dos indicadores de conformidade de tensão.

As medições devem ter duração de 168 horas, com intervalos de integração de 10 minutos, a partir de leituras com janelas fixas e consecutivas de 12 a 15 ciclos, totalizando 1008

registros. As medições devem ser feitas entre fases e entre fases e o neutro.

Os indicadores que são apurados são o *DRP - Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária*, e *DRC - Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica*.

O *DRP* expressa o número de leituras realizadas nas faixas precárias de tensão como um percentual do total de leituras realizadas no período de medição. Analogamente, o *DRC* expressa o percentual de leituras nas faixas críticas de tensão.

III. REPRESENTAÇÃO DA CARGA

A carga de cada consumidor é representada por uma curva diária que fornece a potência ativa e reativa demandada, discretizada em intervalos de tempos pré-definidos. No caso do presente trabalho a curva de carga típica terá 144 pontos em intervalos de 10 minutos. As curvas de carga típicas são compostas de curvas média e de desvio padrão para contemplar eventuais desvios, devidos aos diferentes comportamentos da carga nos dias úteis e de fim de semana. A variabilidade da carga será contemplada pela curva de desvio padrão. As curvas típicas são estabelecidas para diferentes tipos de consumidores como residenciais, comerciais, industriais, iluminação pública e rurais. E para cada tipo de consumidor são geradas diferentes curvas associadas as diferentes faixas de consumo mensal de energia elétrica (por exemplo, 0-100 kWh, 101-300 kWh, etc.). Estas curvas são calculadas em pu da demanda (potência ativa) média mensal. A Figura 1 mostra uma curva típica de potência ativa de cliente residencial com consumo mensal superior a 500 kWh.

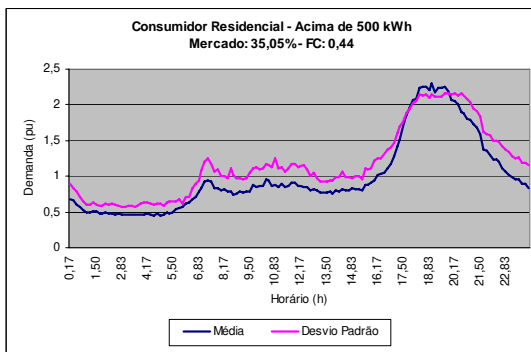


Figura 1 – Curva típica de potência ativa

IV. METODOLOGIAS FLUXO DE POTÊNCIA

Nesta seção, descreve-se a metodologia utilizada neste trabalho, que compreende duas abordagens diferentes para o cálculo de fluxo de potência determinístico.

A. Fluxo de Potência Probabilístico

O fluxo de potência probabilístico baseia-se em processamentos do fluxo de potência determinístico, valendo-se de simulações baseadas no Método de Monte Carlo, que é adotado para o tratamento das cargas nos diferentes cenários a partir das curvas de probabilidades de demandas.

Os resultados obtidos com esta modelagem são mais realistas no que se refere aos comportamentos aleatórios das cargas existentes nas redes de distribuição.

Os cálculos determinísticos produzem apenas o resultado de um cenário de distribuição de cargas ao longo da rede, ao

passo que os probabilísticos são mais realistas, já que produzem resultados que vêm associados a uma distribuição de probabilidades, representando a carga em vários cenários, denominados ensaios.

Nesta modelagem, as demandas passam a ser variáveis aleatórias (por terem uma distribuição de probabilidades associada).

Resulta que as variáveis dependentes (por exemplo, a tensão em cada nó da rede) são também aleatórias. Portanto, elas possuem uma curva de distribuição de probabilidades associadas, com valores para média e desvio padrão.

Com este enfoque, a queda de tensão em um nó qualquer, por exemplo, deve ser entendida como faixas de valores com probabilidades de ocorrência: “a queda de tensão no nó i varia entre 3 e 6% com probabilidade de 90%” ou “a probabilidade (ou risco) da queda de tensão neste nó i ser superior a 7,5% é de 1%”.

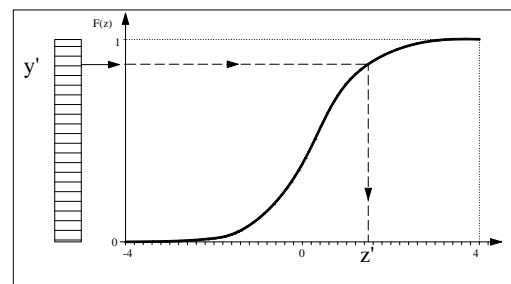


Figura 2 – Sorteio de demanda para um consumidor

O método empregado (Monte Carlo) parte da execução de um número suficiente de ensaios, que identificam possíveis cenários de demandas diversificadas de todos os consumidores da rede (para um mesmo instante), a partir da geração de números aleatórios com distribuição de probabilidade normal.

Para simular a função distribuição de probabilidade acumulada, basta gerar um número aleatório y' com distribuição uniforme, no intervalo $[0;1]$ e obter o valor correspondente de Z' , conforme ilustrado na figura 2. A partir da demanda média em kW do consumidor e do valor Z' , que pode ser entendida como sendo a demanda normalizada desse consumidor, calcula-se a demanda sorteada em kW por

$$D_{i,t} = D_{med,i,t} + Z' \cdot \sigma_{i,t} \quad (1)$$

na qual:

- $D_{i,t}$: demanda do consumidor i no instante t [kW];
- $D_{med,i,t}$: demanda média do consumidor i no instante t [kW];
- $\sigma_{i,t}$: desvio padrão do consumidor i no instante t [kW];
- Z' : demanda normalizada obtida por sorteio.

Para melhor monitoração do método de Monte Carlo, em termos da convergência do processo, é comum dividir o número total de ensaios em grupos. Por exemplo, são realizados 10 grupos de 100 ensaios e, para cada grupo, monitoram-se os parâmetros elétricos de interesse, por meio da monitoração de suas médias e desvios padrão acumulados.

Quando os valores médios e de desvio-padrão das variáveis param de variar (ou a variação é menor que uma tolerância pré-determinada) entre dois grupos consecutivos, existe indicação de convergência do processo.

B. Fluxo de Potência Fuzzy

Neste item, apresenta-se uma proposta de metodologia possibilística (Fuzzy) para o cálculo de fluxo de potência, assim como na abordagem anterior, para redes de distribuição secundárias (redes de baixa tensão).

Nesta modelagem, as demandas, para a aplicação da metodologia do fluxo de potência fuzzy passam a ser variáveis fuzzy, representadas por números fuzzy.

Resulta que, as variáveis dependentes (por exemplo, tensão em cada nó, queda de tensão, carregamento e perdas – total e trecho por trecho – da rede) também passam a ser fuzzy, portanto, com um valor mínimo, médio e máximo definidos. Com este enfoque, a queda de tensão em um nó qualquer, por exemplo, deve ser entendida como um número fuzzy: “a queda de tensão no ponto ‘i’ possui um valor mínimo, médio e máximo esperado”.

As cargas são modeladas por T.F.N.’s (triangular fuzzy numbers), com um valor fuzzy de demanda para cada intervalo de 10 minutos, ou seja, 144 valores de demanda fuzzy para cada ponto de carga, considerando-se uma variação $\pm k\%$ em torno do valor mais possível, que neste trabalho foi adotado como sendo o valor médio obtido da curva típica de carga de cada consumidor.

Isto significa representar uma carga ligada ao ponto i, para uma determinada fase f, para um intervalo de tempo t, dentro os 144 valores possíveis, de valores de demanda ativa e reativa como:

$$\tilde{P}_{i,f,t} = ((1-k)P_{med}, P_{med}, (1+k)P_{med}) \quad (2)$$

$$\tilde{Q}_{i,f,t} = ((1-k)Q_{med}, Q_{med}, (1+k)Q_{med}) \quad (3)$$

Para este cálculo inicial, assume-se que as tensões nos diversos pontos da rede possuem o mesmo valor, que para um ponto i qualquer, para uma das fases f, possui o seguinte formato:

$$\tilde{v}_{i,f} = ((1-k)v_{i,f}, v_{i,f}, (1+k)v_{i,f}) \quad (4)$$

Com isto, conhecidos os valores fuzzy de demanda ativa e reativa, de um ponto i da rede de baixa tensão, para uma determinada fase f, para um intervalo de tempo t, pode-se especificar as correntes nas barras de carga como $\tilde{i}_{i,f,t} = \tilde{i}_{i,p} - j\tilde{i}_{i,q}$.

Logo teremos, o cálculo das correntes fuzzy nos trechos obtidas pela soma das correntes fuzzy de carga das barras a jusante do trecho com a corrente da carga da barra terminal do trecho, conforme ilustra a figura 4.

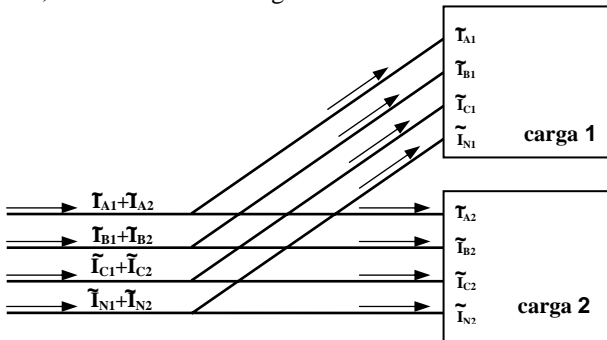


Figura 4 - Ilustração da obtenção da corrente fuzzy em um trecho genérico.

Por consequência, as quedas de tensão nos trechos são calculadas a partir do produto da corrente fuzzy do trecho pela impedância série do trecho. Adotando-se um trecho genérico, que possua os terminais identificados por p e q respectivamente, a queda de tensão fuzzy é obtida por:

$$\Delta\tilde{v}_{r,pq} - j\Delta\tilde{v}_{i,pq} = (r_{pq} + jx_{pq}) \cdot (\tilde{i}_{i,p} - j\tilde{i}_{i,q}) \quad (5)$$

V. CÁLCULO DOS INDICADORES

A. Indicadores a partir do Fluxo de Potência Probabilístico

Com o método de Monte Carlo é feito um número determinado de simulações, com um fluxo de potência para cada um dos 144 pontos que fazem parte da curva de carga típica do dia, para cada barra do sistema. As tensões obtidas em cada fluxo de potência deste processo serão classificadas segundo as faixas de tensão estabelecidas na Resolução ANEEL n° 505/2001. O objetivo será obter um histograma de distribuição de freqüências das tensões das barras para cada poste, resumizando os resultados das tensões, conforme ilustrado nas figuras 5 e 6.

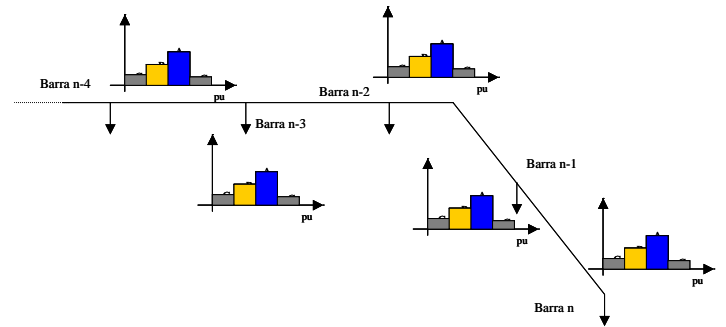


Figura 5 - Rede de distribuição com histograma para cada uma das barras.

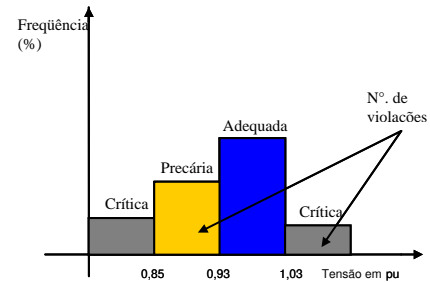


Figura 6 - Histograma com os valores de DRP e DRC probabilísticos.

Com o total de pontos dentro de cada faixa do histograma e o total de pontos simulados para cada barra, calculam-se o DRP e o DRC probabilísticos de uma dada rede secundária e serão considerados os piores índices obtidos, por fase, entre o total de barras da rede.

$$DRP_{\text{probabilístico}} = \frac{ntp}{nts} \cdot 100[\%] \quad (6)$$

$$DRC_{\text{probabilístico}} = \frac{ntc}{nts} \cdot 100[\%] \quad (7)$$

na qual:

ntp: número de tensões resultantes de simulação, de uma fase, de uma barra, com valores situados na faixa precária;
ntc: idem ao anterior, porém associado a faixa crítica;

nts: número total de tensões resultantes de simulação, de uma fase, de uma barra.

B. Indicadores a partir do Fluxo de Potência Fuzzy

Nesta seção serão apresentadas 3 propostas de métodos de avaliação fuzzy dos resultados, que foram denominados da seguinte forma:

- Comparação via operador MAX-MIN entre tensões fuzzy;
- Comparação de áreas entre tensões fuzzy;
- Indicadores DRP/DRC fuzzy.

Foi estabelecido um conjunto de números fuzzy trapezoidais, sendo que cada um destes números representa uma das faixas de classificação previstos na Resolução n.º505/2001 da ANEEL, conforme figura 7.

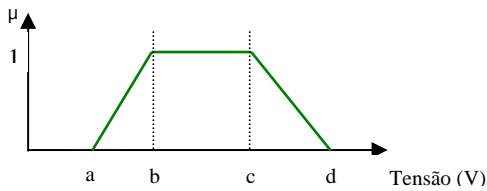


Figura 7 - Ilustração número fuzzy de função trapezoidal.

B.1. Comparação via operador MAX-MIN entre tensões fuzzy

Este primeiro método proposto baseia-se no operador MAX-MIN da teoria de conjuntos fuzzy, que consiste na comparação entre cada tensão fuzzy resultante da simulação, de cada fase, de cada barra, com os números que identificam os limites adequado, precários e crítico. O processo consiste em verificar o grau de pertinência de uma tensão calculada com as faixas de classificação, observa-se na figura 8 a seguir, que um resultado “V” pertence tanto a faixa “precária inferior” com pertinência de grau “x” quanto a faixa “adequada” com pertinência de grau “y”, e sendo $y > x$, a tensão o número “V” é classificada como adequada.

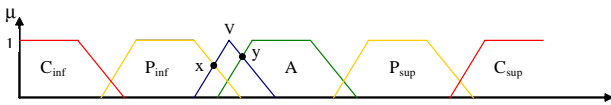


Figura 8 - Ilustração de avaliação a partir da aplicação do operador MAX-MIN

Desta forma, apuram-se os indicadores de DRP e DRC fuzzy da seguinte forma:

$$DRP_{fuzzy} = \frac{ntpp}{nts} \cdot 100 [\%] \quad (8)$$

$$DRC_{fuzzy} = \frac{ntpc}{nts} \cdot 100 [\%] \quad (9)$$

na qual:

ntpp: número de tensões resultantes de simulação, de uma fase, de uma barra, classificadas como tensões precárias em função de maior grau de pertinência associado a faixa precária;

ntpc: idem ao anterior, porém associado a faixa crítica;

nts: número total de tensões resultantes de simulação, de uma fase, de uma barra.

Foi desenvolvido um artifício matemático denominado de “penalidade” (p), de valor adimensional, que varia entre 0 e 1. A aplicação deste recurso implica que, em uma situação hipotética de proximidade numérica entre μ_{vb} e μ_{va} , a classificação seja sempre levada para indicação de v pertença a faixa “a” por exemplo, logo teremos:

$$v \in \text{faixa "a"}, \text{ quando } (\mu_{vb} - \mu_{va}) \leq p, \text{ para } \mu_{vb} > \mu_{va} \quad (10)$$

B.2. Comparação de áreas entre tensões fuzzy

Consiste em calcular a área resultante da intersecção da intersecção entre a área interna à forma geométrica da tensão fuzzy simulada com as áreas internas às formas geométricas dos números fuzzy trapezoidais que representam as faixas de classificação. O cálculo da área de intersecção possibilita classificar o número fuzzy que representa a tensão calculada como pertencente a uma das faixas pré-definidas, classificando-o assim, como adequado, precário ou crítico.

A Figura 9 ilustra uma situação, seja A1 o resultado da intersecção de “V” com a faixa “precária inferior” e A2 o resultado da intersecção de “V” com a faixa “adequada”, sendo $A2 > A1$, a tensão “V” é classificada como estando na faixa adequada, e conseqüentemente, como tensão adequada.

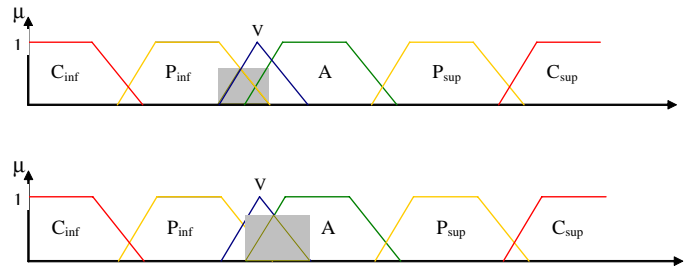


Figura 9 - Ilustração de avaliação da comparação de áreas entre tensões fuzzy

Desta forma, apuram-se os indicadores de DRP e DRC fuzzy da seguinte forma:

$$DRP_{fuzzy} = \frac{ntap}{nts} \cdot 100 [\%] \quad (11)$$

$$DRC_{fuzzy} = \frac{ntac}{nts} \cdot 100 [\%] \quad (12)$$

na qual:

ntap: número de tensões resultantes de simulação, de uma fase, de uma barra, classificadas como tensões precárias em função de uma maior área resultante entre a intersecção da área tensão simulada com a área do número que representa a faixa precária;

ntac: idem ao anterior, porém associado a faixa crítica;

nts: número total de tensões resultantes de simulação, de uma fase, de uma barra.

B.3. Indicadores DRP/DRC fuzzy

Este terceiro método baseia-se na montagem de indicadores fuzzy referentes ao DRP e DRC de cada fase para cada barra da rede de distribuição secundária e na defuzzificação destes números para obtenção de um valor percentual (%) para cada um destes indicadores.

Calcula-se então um valor fuzzy de DRC e DRP, em função dos valores obtidos em simulação para cada posição mínimo, médio e máximo simulado.

$$DRP_{posição} = \frac{ntp}{nts} \cdot 100[\%] \tag{13}$$

$$DRC_{posição} = \frac{ntc}{nts} \cdot 100[\%] \tag{14}$$

na qual:

posição: mínimo, médio ou máximo

ntp: número de tensões resultantes de simulação com valores situados na faixa precária, de uma determinada posição, de uma fase, de uma barra;

ntc: idem ao anterior, porém associado a faixa crítica;

nts: número total de tensões resultantes de simulação, de uma fase, de uma barra.

O resultado esperado para este procedimento é que se tenha para cada fase e cada barra, indicadores DRP e DRC fuzzy, descritos por um número fuzzy com valor mínimo, médio e máximo. A figura 10 a seguir, ilustra o processo de composição dos indicadores DRP e DRC fuzzy.

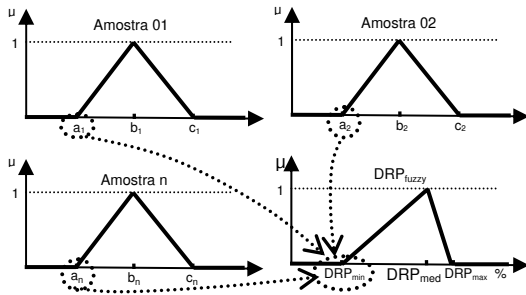


Figura 10 - Exemplo do processo de composição dos indicadores DRP e DRC fuzzy.

O processo encerra-se com a defuzzyficação dos indicadores DRP e DRC fuzzy encontrando-se um valor percentual indicativo de DRP e DRC de cada fase e de cada barra.

O método de defuzzyficação escolhido neste trabalho é o da centróide, que prevê a determinação do valor inteiro para os indicadores pela projeção no eixo de percentuais do valor referente a centróide da área formada pela figura equivalente aos indicadores DRP e DRC fuzzy.

A figura 11 a seguir, ilustra a defuzzyficação de um indicador de DRP fuzzy genérico.

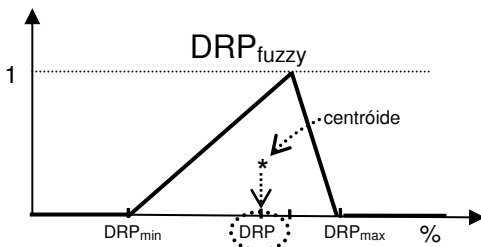


Figura 11 - Exemplo de defuzzyficação de um indicador de DRP fuzzy genérico.

VI. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

As modelagens Probabilística e Fuzzy foram aplicadas a rede real em baixa tensão, suprida pela estação transformadora

“A” de 112,5 kVA, com extensão total de 890 metros, com a configuração apresentada pela figura 12 a seguir:

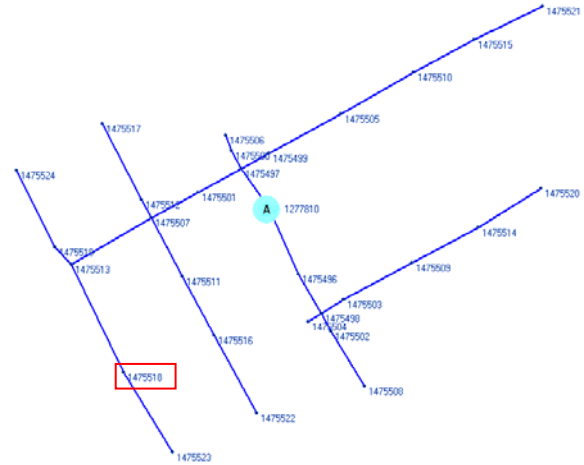


Figura 12 - Arranjo topológico da rede atendida pela estação transformadora “A”.

Neste circuito houve uma reclamação de tensão que gerou uma medição eletrônica, localizada na barra n.º 1475518, e o resultado servirá como referência para comparação com os valores obtidos nas simulações utilizando as metodologias propostas.

As resultados obtidos para a aplicação dos métodos, nos diversos ajustes de parâmetros realizados estão mostrados na tabela 1 a seguir:

MEDIÇÃO	Kcarga	Penalidade	DRP	DRC	Desvio DRP	Desvio DRC
PROBABILISTICO			23,51	0,00		
FUZZY AREA	0,8 - 1,2		34,66	34,42	47,4%	46,4%
FUZZY AREA	0,6 - 1,6		18,06	0,00	23,2%	100,0%
FUZZY AREA	0,5 - 2,0		31,94	0,00	35,9%	100,0%
FUZZY MAX-MIN	0,8 - 1,2	0,3	41,67	0,00	77,2%	100,0%
FUZZY MAX-MIN	0,8 - 1,2	0,4	9,03	0,00	61,6%	100,0%
FUZZY MAX-MIN	0,8 - 1,2	0,4	13,19	2,78	43,9%	88,2%
FUZZY MAX-MIN	0,8 - 1,2	0,5	26,39	20,83	12,2%	11,4%
FUZZY MAX-MIN	0,6 - 1,6	0,3	15,97	0,00	32,1%	100,0%
FUZZY MAX-MIN	0,6 - 1,6	0,4	19,44	0,00	17,3%	100,0%
FUZZY MAX-MIN	0,6 - 1,6	0,5	34,72	16,67	47,7%	29,1%
FUZZY MAX-MIN	0,5 - 2,0	0,3	20,83	0,00	11,4%	100,0%
FUZZY MAX-MIN	0,5 - 2,0	0,4	27,08	0,00	15,2%	100,0%
FUZZY MAX-MIN	0,5 - 2,0	0,5	37,50	8,33	59,5%	64,6%
FUZZY DRP/DRC	0,8 - 1,2		13,01	0,00	44,7%	100,0%
FUZZY DRP/DRC	0,6 - 1,6		20,42	0,42	13,2%	98,2%
FUZZY DRP/DRC	0,5 - 2,0		25,86	3,93	10,0%	83,3%

Tabela 1 - Resultados a partir de medições e simulações.

Os resultados são apresentados graficamente na figura 13 a seguir, destacando o resultado de DRP na barra 1475518, na opção de variação de potência nas cargas entre 80 e 120% do valor obtido pela curva típica de carga (pu da demanda média) para cada intervalo.

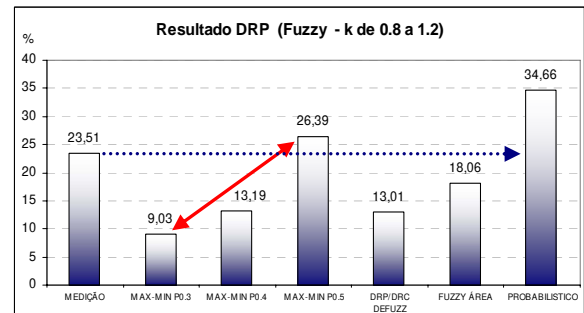


Figura 13 - Gráfico comparativo de resultados de medição e simulações para estação transformadora “A”.

A avaliação dos resultados mostra que o método de comparação via operador MAX-MIN entre tensões fuzzy (FUZZY MAX-MIN) mostrou-se interessante quanto comparados os 3 resultados que utilizaram diferentes valores

de “penalidade”, pois o resultado de DRP obtido via medição eletrônica (23,51%) está dentro da faixa de valores que compreende o resultado do método com “penalidade” 0,3 (9,03%) que é o menor valor e o resultado com “penalidade” 0,5 que é o maior valor (26,39%). Os métodos que utilizam: indicadores DRP/DRC fuzzy (FUZZY DRP/DRC), comparação de áreas entre tensões fuzzy (FUZZY ÁREA) e o Probabilístico não levaram a resultados próximos ao obtido na medição eletrônica, como o método de comparação via operador MAX-MIN entre tensões fuzzy (FUZZY MAX-MIN), porém estes resultados são importantes para sinalização de problemas, ou seja, caráter indicativo, mesmo que o valor final não tenha resultados numericamente próximos.

VII. CONCLUSÕES

O tratamento probabilístico exige elevado esforço computacional, pois simula o sistema diversas vezes (método de Monte Carlo) até alcançar a convergência do processo, por sua vez o método fuzzy requer esforço computacional muito menor, pois os resultados são gerados em apenas uma simulação para cada intervalo de tempo.

Sabe-se ainda que, para obter-se eficácia nos resultados, alguns fatores devem ser respeitados independente do método em aplicação, que são: adequada representação de hábitos de consumo (curvas de cargas), fidelidade do cadastro elétrico das redes e fidelidade do cadastro elétrico das cargas ligadas, seja no valor de consumo atribuído a cada ponto de carga, como para a posição das cargas na rede elétrica.

Independente da precisão dos resultados das simulações envolvendo as metodologias apresentadas, estes são importantes para sinalização de problemas, ou seja, possuem caráter indicativo, mesmo que os valores finais não sejam numericamente próximos aos obtidos em medições eletrônica.

VIII. AGRADECIMENTOS

Agedecimento especial ao especialista em sistemas de informática João Carlos Guaraldo - Enerq/USP, pelo apoio na realização das simulações digitais e implementações computacionais.

IX. REFERÊNCIAS

- [1] R. A. Rodríguez, 2002, *Modelo Probabilístico para o Cálculo de Fluxo de Potência em Redes de Distribuição*, Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, Brasil.
- [2] J. A. Jardini e outros, 1996, “Curvas diárias de carga – base de dados estabelecida com medições em campo”, *CIREL 1996*, Argentina.
- [3] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2001, *Resolução n.º 505/2001*.
- [4] C. C. Barioni de Oliveira, *Configuração de Redes de Distribuição de Energia Elétrica com Múltiplos Objetivos e Incertezas Através de Procedimentos Heurísticos*. Tese de Doutorado. EPUSP, São Paulo, 1997.

X. BIOGRAFIAS



Carlos C. Barioni de Oliveira obteve os títulos de Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica da Universidade de São Paulo - USP, Brasil, em 1991 e em 1997, respectivamente. Professor no Departamento da Engenharia Elétrica da Universidade de São Paulo desde 1991.

Barioni é diretor geral da ‘Daimon Engenharia e Sistemas’, uma companhia especializada no desenvolvimento de softwares de engenharia e projetos de P&D. Seus interesses principais estão nas áreas: planejamento da distribuição de energia elétrica, avaliação da confiabilidade de sistemas e custos marginais e de tarifas.

Renato O. Guimarães graduou-se na Universidade Federal de



Mato Grosso Sul em 1996. Obteve o título de Mestre em Engenharia Elétrica na Universidade Estadual Paulista - UNESP em 1998. Atualmente está doutorando em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo – USP. Professor do Departamento da Engenharia Elétrica da

Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região de Pantanal - UNIDERP desde 1998 e trabalha no na Gerência de Planejamento de Redes da ENERSUL - Empresa Energética de Mato Grosso do Sul S/A – Energias do Brasil desde 1999. Seus interesses atuais da pesquisa incluem: Inteligência artificial aplicada à Engenharia Elétrica, planejamento da distribuição de energia elétrica e metodologias para cálculo perdas técnicas.



André Méffe guardou-se na Universidade São Paulo em 1998. Obteve o título de mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo em 2001. Trabalhou em pesquisas envolvendo o sistemas de distribuição de energia elétrica pelo Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de São Paulo entre os anos de 1999 a 2004.

Atualmente, trabalha na “Daimon Engenharia e Sistemas”, uma empresa especializada no desenvolvimento de software para engenharia e projetos de Pesquisa e Desenvolvimento. Seus interesses atuais da pesquisa incluem: planejamento da distribuição de energia elétrica e metodologias para cálculo perdas técnicas.



Marco Aurélio Duarte Alves graduou-se pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS em 2006. Participou do Projeto SMVSUIA – Sistema de Monitoramento e Calibração de Sensores Utilizando Inteligência Artificial pelo BatLab-UFMS. Atualmente trabalha na ENERSUL – Empresa Energética de

Mato Grosso do Sul S/A – Energias do Brasil, na Gerência de Relacionamento com o Cliente. Seus interesses atuais da pesquisa incluem: Inteligência artificial aplicada à Engenharia Elétrica, planejamento da distribuição de energia elétrica e metodologias para cálculo perdas técnicas.