



GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO TÉRMICA - GGT

UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA INSERÇÃO DE EQUIPAMENTOS NO PORTFÓLIO DO SELO PROCEL

GEORGE CAMARGO DOS SANTOS(1); LEONARDO PINHO MAGALHÃES(2); RODRIGO FERNANDES MORIMOTO(2)
ELETROBRAS(1); CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS SA(2)

RESUMO

Este Informe trata de uma proposta metodológica para inserção de equipamentos no portfólio do *Selo Procel de Economia de Energia* (Selo Procel). A Eletrobras tem estudado algumas demandas de inclusão de novos equipamentos para o Selo Procel. Foi feito um estudo de caso em inversores *off grid* a fim de apresentar o Método Paraconsistente de Decisão Modificado - MPDM. Este MPDM é um método de tomada de decisão elaborado em Lógica Paraconsistente Anotada. A aplicação do proposto MPDM, observando os critérios técnicos de ensaios dos laboratórios, é pertinente para estudos de viabilidade técnica para a inclusão ou não de equipamentos para o Selo Procel.

PALAVRAS-CHAVE: Lógica Paraconsistente Anotada; Tomada de Decisão; Conservação de Energia; Eficiência Energética; Selo Procel; e Inversores para Sistemas Fotovoltaicos.

1.0 INTRODUÇÃO

Os desafios mundiais acerca do abastecimento energético sustentável têm estado em voga nos debates internacionais. Otimizar o uso dos recursos energéticos é o contexto da “fonte energética oculta” (1). Neste tema, o Brasil tem se destacado ao longo dos anos por meio das ações energéticas do *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica* – o Procel.

Coordenado pelo *Ministério de Minas e Energia* (MME) e sob a gestão da *Centrais Elétricas Brasileiras* - Eletrobras, o Procel é um Programa do Governo Federal criado em 30 de dezembro de 1985 pela Portaria Interministerial nº. 1.877 com a finalidade de atuar como facilitador de uma rede de conhecimento, fomento e inovação em eficiência energética. O Procel transmite as informações de uso eficiente da energia para a sociedade brasileira por meio do conhecido Selo Procel de Economia de Energia, ou simplesmente, Selo Procel. Este tem a função principal de identificar os equipamentos com os melhores níveis de eficiência energética e apresentá-los ao mercado consumidor, por meio de uma etiqueta de endosso. Dessa forma, o Selo Procel tem contribuído em duas frentes: a tecnológica – referente às novas tecnologias e aos processos mais eficientes – e a social – referente às mudanças de comportamento que levem ao consumo eficiente de energia.

A Eletrobras tem estudado as demandas de inclusão de novos equipamentos no portfólio do Selo Procel, que, em 2020, contava com diversos eletrodomésticos; lâmpadas fluorescentes compactas, a vapor de sódio e LED; reatores; luminárias a LED; bombas e motobombas; motores elétricos; e sistemas de aquecimento solar e fotovoltaicos (2). Seguindo essa prática, é importante a avaliação de viabilidade de concessão do Selo Procel para equipamentos como os Inversores para Sistemas Fotovoltaicos – ISFs, que faz parte do debate hodierno sobre geração de energia fotovoltaica. Nesse sentido, uma ferramenta de tomada de decisão confiável com base nas informações ofertadas pelos diversos parceiros da Eletrobras (instituições de ensino superior e de pesquisa, laboratórios, associações de fabricantes etc.) é oportuna ambos.

Porém, como elaborar um método de tomada de decisão que contemple as opiniões dos profissionais das instituições supramencionadas com perspectivas que podem ser até paradoxais? Uma resposta preliminar é: se existe uma lógica que trabalha com opiniões paradoxais, então pode existir um método de tomada de decisão fundamentado nessa lógica; e se existe como compatibilizar as opiniões dos profissionais parceiros da Eletrobras com esse método, então pode existir um método de tomada de decisão que satisfaça os interesses da Eletrobras. Sendo assim, o Método Paraconsistente de Decisão Modificado (MPDM) sugerido por G. C. dos Santos (3), fundamentado na Lógica Paraconsistente Anotada (4), torna-se uma ferramenta interessante para responder essa questão norteadora.

O objetivo deste Informe Técnico é apresentar a proposta metodológica de inclusão de equipamentos no portfólio do Selo Procel tendo como orientação uma perspectiva técnica e laboratorial. Para isso, este Informe Técnico está estruturado em sete seções divididas em uma introdução, quatro seções de desenvolvimento, uma conclusão e, por fim, as referências utilizadas. Na seção 2, é apresentado o Selo Procel como um programa nacional de políticas públicas. Na seção 3, é apresentada a lógica não clássica que fundamenta a metodologia adotada. Na seção 4, são descritas as etapas de pré-processamento, processamento e pós-processamento do MPDM. E, finalmente, na seção 5, são apresentados os resultados do caso estudado para um universo de quinze inversores *offgrid*.

1.0 SELO PROCEL

O *Selo Procel de Economia de Energia* ou simplesmente Selo Procel foi instituído por meio do Decreto Presidencial de 8 de dezembro de 1993. É um produto desenvolvido e concedido pelo Procel, coordenado pelo MME e executado pela Eletrobras. Tem por objetivo principal identificar os produtos que apresentem os melhores níveis de eficiência energética em uma dada categoria de equipamentos, motivando o mercado consumidor a adquirir e utilizar produtos mais eficientes. Esse objetivo é cumprido de duas maneiras. A primeira é por meio da afixação do Selo Procel em todas as unidades fabricadas ou importadas, de modo a orientar o consumidor no ato da compra. A segunda maneira é mediante o acesso à página eletrônica do Procel, que é atualizada periodicamente, indicando todos os produtos contemplados com o Selo Procel no ano em curso.

Além dos critérios associados à eficiência energética, o Procel pode exigir critérios adicionais para a concessão do Selo Procel, de forma a garantir o melhor desempenho energético do equipamento e/ou atender a requisitos ambientais. Dessa forma, o Selo Procel configura-se como um importante instrumento para o combate ao desperdício de energia elétrica, estimulando os fabricantes à constante evolução do desempenho energético dos seus equipamentos. Periodicamente, novas categorias de equipamentos são incluídas, incentivando cada vez mais a oferta de bens energeticamente eficientes e de melhor qualidade, contribuindo com a formação, nos consumidores, de uma cultura de permanente preocupação com o uso eficiente da energia e seus impactos ambientais.

Nesse sentido, no último relatório de 2021 (ano-base 2020), contabilizavam no portfólio do Procel diversos eletrodomésticos; lâmpadas fluorescentes compactas, a vapor de sódio e LED; reatores; luminárias a LED; bombas e motobombas; motores elétricos; e sistema de aquecimento solar e fotovoltaicos (2). Este Informe Técnico apresenta um estudo de aplicação da MPDM em inversores para sistemas fotovoltaicos *off grid*, segundo critérios técnicos estabelecidos pelo Anexo III da Portaria INMETRO nº 004/2011 (5) e retificações dadas pela Portaria INMETRO 357/2014 (6) com a finalidade de apresentar a metodologia em questão e sua adequação como critério de decisão para a inclusão no portfólio do Selo Procel.

2.0 A LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA ET

2.1 Um breve histórico

A história da Lógica Paraconsistente (LP) foi descrita por Gomes (7) de forma exaustiva. Por outro lado, Béziau (8) se utilizou de uma orientação pedagógica para classificar o desenvolvimento da LP nos quatro períodos descritos a seguir.

O primeiro período da classificação de Béziau, denominado de gestação, ocorreu entre 1910 e 1963. Em 1910, começaram as primeiras reflexões sobre a LP com o polonês Jan Łukasiewicz (1878-1956), que publicou um artigo, cuja tradução em português é: *Sobre o princípio da contradição em Aristóteles*. Já o russo Nikolai Aleksandrovich Vasil'ev (1880-1940) publicou quatro artigos, cujos títulos em português dessas publicações são: *Sobre proposições particulares, o triângulo de oposições e a lei do quarto excluído* em 1910, *Lógica imaginária: resumo de uma palestra* em 1911, *Lógica (não-aristotélica) imaginária* em 1912 e *Lógica e Metalógica* em 1913. É importante registrar que, em seu primeiro artigo, Vasil'ev se concentrou em interrogar o princípio do terceiro excluído, enquanto que nos outros três artigos debruçou-se em interrogar o princípio da não contradição. Ele chamou essa reflexão paraconsistente de *lógica imaginária*. Em 1948, outro logicista polonês Stanisław Jaśkowski publicou um artigo, cuja tradução é *Um cálculo proposicional para sistemas dedutivos inconsistentes*, no qual elaborou uma *lógica discursiva*, que tem a não trivialidade como pressuposto. Com isso, surgiu a primeira sistematização por meio de cálculo proposicional paraconsistente. Em 1963, a tese de Cátedra de Newton da Costa, intitulada *Sistemas Inconsistentes Formais* (9), foi publicada, contribuindo para a sistematização de diversas famílias de cálculos proposicionais, cálculos de predicados sem e com igualdade, teoria da descrição e teoria dos conjuntos. Foi nesse momento que se pode declarar o nascimento de uma família de lógicas paraconsistentes ou de sistemas inconsistentes formais e não triviais.

O período de 1963 a 1976 é marcado pelo nascimento e pela infância. De 1963 a 1976, vários trabalhos de Newton da Costa foram disseminados para a comunidade científica, entre eles, na renomada *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris*. Por outro lado, ainda não havia um nome específico para a *nova lógica*.

O período de 1976 a 1991, contempla o batismo e a adolescência. Foi, em 1976 que o filósofo peruano Francisco Miró Quesada sugeriu o nome *lógica paraconsistente* no lugar de *sistemas inconsistentes formais e não triviais*. No dia 15 de julho de 1976 em pleno *III Simpósio Latino-Americano de Lógica Matemática* realizado na Unicamp, ocorreu o batismo do projeto de sistematização de Newton da Costa. A partir desse dia, a empreitada se chamaria *lógica paraconsistente*. Alguns avanços na linha de pesquisa das LPs já podem ser destacados nesta época, como por exemplo: a demonstração da decidibilidade de C_1 por métodos algébricos por Manuel M. Fidel em 1977, a criação de uma semântica para C_1 por Newton da Costa e Elias H. Alves em 1976, a demonstração da não algebrização de C_1 por Chris Mortensen em 1980 e o desenvolvimento de um *cálculo de sequentes* por Béziau em 1990. De forma semelhante, em março de 1984, houve a edição especial do periódico *Studia Logica*, dedicada aos assuntos relacionados à lógica paraconsistente. Em 1989, foi publicada a primeira coleção de artigos editada por Priest, Routley e Norman, intitulada *Paraconsistent Logic: Essays on the Inconsistent* (10).

A partir de 1991 ocorre o quarto período denominado por Béziau de idade da razão. Foi em 1991 que a *Mathematical Subject Classification*, organizada pelos escritórios editoriais de *Mathematical Reviews* e *Zentralblatt für Mathematik*, reconhece a lógica paraconsistente como um domínio efetivo de estudos da matemática atual (5). Com isso, surgiram nove áreas de concentração em LP. São elas: (i) *caracterização, decidibilidade e semântica*; (ii) *métodos dedutivos*; (iii) *desenvolvimentos algébricos*; (iv) *paraconsistência e lógicas polivalentes*; (v) *teoria de quase-verdade*; (vi) *teorias de quase conjuntos*; (vii) *cálculo diferencial paraconsistente*; (viii) *lógica da inconsistência formal*; e (ix) *paraconsistência e lógicas anotadas* (7).

A metodologia adotada neste Informe Técnico está alinhada com a nona área da concentração, ou seja, *paraconsistência e lógicas anotadas*. Isso se deve também às publicações de lógicas anotadas de H. Blair e V. S. Subrahmanian (11); de M. Kifer e E. Lozinskii (12); de M. Kifer, T. Krishnaprasad e D. S. Warren (13); N. C. A. da Costa, J. M. Abe, V. S. Subrahmanian (14). Em 1992, J. M. Abe defendeu a sua tese doutoral intitulada *Fundamentos da Lógica Anotada* (4) orientada por Newton da Costa. E em 2006 F. R. de Carvalho apresentou um método de tomada de decisão em lógica paraconsistente anotada (15). Até que, em 2016, G. C. dos Santos publicou o Método Paraconsistente de Decisão Modificado (3) que é o método proposto neste Informe Técnico.

2.2 Conceitos da LPA Et

A LPA Et possui uma *Linguagem Et* e anotações dadas por meio de proposições simples do tipo $p(\mu_1; \mu_2)$, onde p é uma proposição simples; μ_1 é grau de evidência favorável de p e μ_2 é o grau de evidência contrária de p . Na LPA Et, os dois graus de evidência pertencem a um intervalo real unitário fechado – ou seja: $\mu_1, \mu_2 \in [0, 1]$. Nesse sentido, a leitura da proposição $p(\mu_1; \mu_2)$ na LPA Et é: “creio na proposição p com grau de evidência favorável μ_1 e grau de evidência contrária μ_2 ”. De forma semelhante, a leitura da proposição atômica $q(\mu_1; \mu_2)$ é: “creio na proposição q com grau de evidência favorável μ_1 e grau de evidência contrária μ_2 ”. Essa leitura é chamada de “intuitiva” (16).

Para ilustrar, sejam dois laboratórios distintos que avaliam equipamentos para o Selo Procel. O grau de evidência favorável é a avaliação feita pelo laboratório do fabricante (primeira parte) e o grau de evidência contrária é obtido pelo complemento da avaliação, feita pelo laboratório de segunda parte ou de terceira parte. Já a proposição simples p se refere a um tipo de ensaio, por exemplo, o ensaio de eficiência energética para um inversor *off grid* descrito no Anexo III da Portaria INMETRO nº 004/2011 (5). As medidas encontradas no Sistema Internacional são convertidas para uma escala de 0 a 1 adimensional, onde 0 é o mínimo e 1 é o máximo de grau de evidência. Nesse exemplo, a proposição $p(0,8; 0,2)$ tem a seguinte leitura intuitiva: “o ensaio de eficiência energética do inversor *off grid* tem uma medida de 0,8 relativo ao laboratório do fabricante e uma medida de 0,2 relativo ao complemento do laboratório de segunda ou terceira parte”. Isso significa que as duas medidas anotadas nos dois ensaios laboratoriais foram 0,8.

Em Lógica, o cálculo é realizado por meio de conectivos. Um conectivo é uma expressão de uma linguagem natural, como por exemplo: “não” (*NOT*), “e” (*AND*), “ou” (*OR*), “ou [...] ou [...]”, mas não ambos” (*OR EXCLUSIVE*), “se [...] então [...]” e “se e somente se”. Além disso, eles podem ser representados por um símbolo de uma linguagem formal, como por exemplo: negação (\neg), conjunção (\wedge), disjunção (\vee), condicional (\rightarrow), bicondicional (\leftrightarrow).

Na LPA Et, são apresentados cinco operadores ou conectivos, a saber: NOT, AND, OR, MÁX, MÍN. O primeiro é o operador NOT. A negação da proposição p é NOT $p(\mu_{p1}; \mu_{p2})$ que é equivalente a $p(\mu_{p2}; \mu_{p1})$. O segundo é o operador AND. Seja a operação entre duas proposições $p(\mu_{p1}; \mu_{p2})$ e $q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$, que resulta na proposição r . A conjunção entre $p(\mu_{p1}; \mu_{p2})$ e $q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$ é $p(\mu_{p1}; \mu_{p2})$ AND $q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$ que é equivalente à proposição $r(\min(\mu_{p1}; \mu_{q1}); \min(\mu_{p2}; \mu_{q2}))$. O terceiro é o operador OR. A disjunção entre $p(\mu_{p1}; \mu_{p2})$ e $q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$ é $p(\mu_{p1}; \mu_{p2})$ OR $q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$ que é equivalente à proposição $r(\max(\mu_{p1}; \mu_{q1}); \max(\mu_{p2}; \mu_{q2}))$. O quarto é o operador MÁX. O maximizante entre $p(\mu_{p1}; \mu_{p2})$ e $q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$ é MÁX($p(\mu_{p1}; \mu_{p2}); q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$), que é equivalente a proposição $r(\max(\mu_{p1}; \mu_{q1}); \min(\mu_{p2}; \mu_{q2}))$. O quinto é o operador MÍN. O minimizante entre $p(\mu_{p1}; \mu_{p2})$ e $q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$ é MÍN($p(\mu_{p1}; \mu_{p2}); q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$), que é equivalente a proposição $r(\min(\mu_{p1}; \mu_{q1}); \max(\mu_{p2}; \mu_{q2}))$. É importante registrar que não se deve confundir o “máximo” (máx) e o “mínimo” (mín) com os operadores maximizante (MÁX) e minimizante (MÍN) aqui grafados em caixa alta.

Como já visto, as anotações $(\mu_1; \mu_2)$ são associadas a uma dada proposição. Cada proposição é um dado de entrada do dispositivo para-analisador, que é uma manipulação de um reticulado τ originando o *Quadrado Unitário do Plano*

Cartesiano (QUPC), conforme visualizado na Figura 1 e na Tabela 1. Neste dispositivo para-analisador, o grau de evidência favorável μ_1 é colocado no eixo das abscissas, enquanto o grau de evidência contrária μ_2 no eixo das ordenadas. A área composta pelos pontos notáveis D , H e I tem o valor lógico verdadeiro na LPA $E\tau$. Essa é a área de viabilidade do Método Paraconsistente de Decisão Modificado (MPDM). Já a área composta pelos pontos B , F e G tem o valor lógico falso na LPA $E\tau$. De forma análoga, essa é a área de inviabilidade do MPDM.

As doze áreas não hirtas como também a sua relação com os estados lógicos e a linguagem simbólica devem ser observadas na Figura 1. As quatro regiões extremas e seus símbolos no dispositivo para-analisador são: Paracompleto (\perp), Falso (F), Inconsistente (\top), Verdadeiro (V). Já as oito regiões não extremas e seus símbolos são: quase Falso tendendo ao Paraconsistente ($qF \rightarrow \perp$), quase Paracompleto tendendo ao Falso ($q\perp \rightarrow F$), quase Falso tendendo ao Inconsistente ($qF \rightarrow \top$), quase Inconsistente tendendo ao Falso ($q\top \rightarrow F$), quase Inconsistente tendendo ao Verdadeiro ($q\top \rightarrow V$), quase Verdadeiro tendendo ao Inconsistente ($qV \rightarrow \top$), quase Verdadeiro tendendo ao Paracompleto ($qV \rightarrow \perp$) e quase Paracompleto tendendo ao Verdadeiro ($q\perp \rightarrow V$).

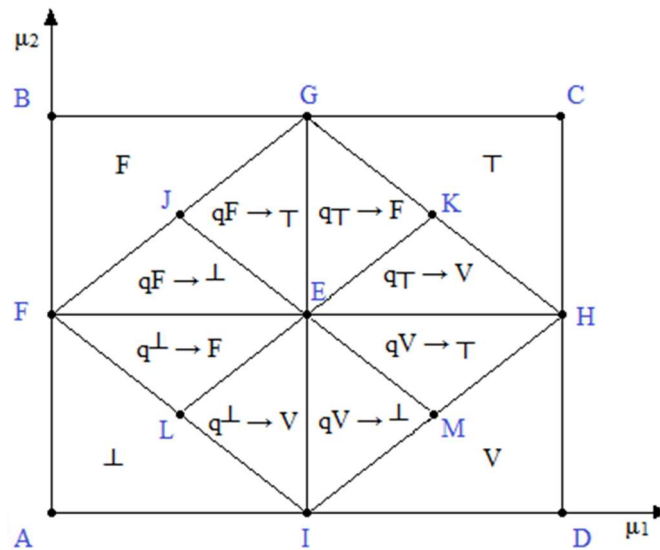


Figura 1 – O dispositivo para-analisador em função das anotações (μ_1 ; μ_2)

Tabela 1 – As regiões, os estados lógicos e os símbolos de um dispositivo para-analisador.

| REGIÃO | ESTADO LÓGICO | SÍMBOLO |
|--------|--|------------------------|
| AFI | Paracompleto | \perp |
| BFG | Falso | F |
| CGH | Inconsistente | \top |
| DHI | Verdadeiro | V |
| EFJ | quase Falso tendendo ao Paraconsistente | $qF \rightarrow \perp$ |
| EFL | quase Paracompleto tendendo ao Falso | $q\perp \rightarrow F$ |
| EGJ | quase Falso tendendo ao Inconsistente | $qF \rightarrow \top$ |
| EGK | quase Inconsistente tendendo ao Falso | $q\top \rightarrow F$ |
| EHK | quase Inconsistente tendendo ao Verdadeiro | $q\top \rightarrow V$ |
| EHM | quase Verdadeiro tendendo ao Inconsistente | $qV \rightarrow \top$ |
| EIL | quase Verdadeiro tendendo ao Paracompleto | $qV \rightarrow \perp$ |
| EIM | quase Paracompleto tendendo ao Verdadeiro | $q\perp \rightarrow V$ |

3.0 O MÉTODO PARACONSISTENTE DE DECISÃO MODIFICADO

O Método Paraconsistente de Decisão Modificado (MPDM) é um cotejamento do Método Paraconsistente de Decisão proposto por F. R. de Carvalho (15). Nesta seção, o MPDM é utilizado para interpretar os dados dos ensaios do *inversor off grid* pelos critérios descritos do Anexo III da Portaria nº 004/2011 (5) e as retificações da Portaria INMETRO nº 357/2014 (6). Dessa forma, é feito um estudo de ensaio de inversores *off grid* idealizado para se realizado em dois laboratórios distintos. Os dados dos ensaios são convertidos para uma escala de 0 a 1. No MPDM, há três procedimentos descritos a seguir: pré-processamento, processamento e pós-processamento.

3.1 Pré-processamento

O procedimento de pré-processamento tem a finalidade de executar a leitura dos dados dos relatórios de avaliação de conformidade até o armazenamento dos dados em anotações ($\mu_1; \mu_2$) para cada proposição em um banco de dados. Vale ressaltar que o objetivo deste IT é mostrar a proposta metodológica, exemplificada pelo estudo de caso.

Pode-se dividir o procedimento de pré-processamento em cinco etapas.

A primeira etapa é composta pelos fatores de influência. Para isso, foram observados os ensaios dos inversores *off grid* da Portaria INMETRO nº 004/2011 e da Portaria INMETRO nº 357/2014. Desse modo, os fatores de influência para os ensaios de inversores *off grid* totalizam em doze ensaios. Para as condições nominais, são seis ensaios: autoconsumo, eficiência energética, distorção harmônica, regulação de tensão, frequência, sobrecarga. E para as condições extremas, os seis ensaios restantes: proteção contra inversão de polaridade, proteção contra curto-circuito na saída, eficiência energética em ambiente a 40°C, distorção harmônica em ambiente a 40°C, regulação de tensão em ambiente a 40°C e frequência em ambiente a 40°C. Na MPDM, os fatores de influência são conjuntos e seus elementos são proposições simples ou atômicas. Por exemplo, o conjunto do ensaio de eficiência energética em condição normal F_B é composto de 24 elementos ou proposições, ou seja, $F_B = \{b_1, b_2, b_3, \dots, b_{22}, b_{23}, b_{24}\}$, onde b_1 a b_8 é o ensaio para tensão nominal, b_9 a b_{16} é para tensão mínima e b_{17} a b_{24} para tensão máxima. Além disso, a título de exemplo, a proposição $b_1(\mu_{1b1}; \mu_{2b1})$ tem a seguinte leitura intuitiva: "A eficiência energética com 10% da potência nominal do inversor *off grid* na tensão nominal está em conformidade com o critério $\eta > 0,80$ ". De forma análoga, a leitura intuitiva da proposição $b_8(\mu_{1b8}; \mu_{2b8})$ é: "A eficiência energética na potência nominal do inversor *off grid* na tensão nominal está em conformidade com o critério $\eta \geq 0,85$ ".

A segunda etapa trata das seções de influência. Estes são subconjuntos dos fatores de influência, que identificam a conformidade ou a não conformidade das proposições pertencentes ao conjunto dos fatores de influência. Nesse sentido, SA e SB são as seções de influência para a conformidade e não conformidade respectivamente. Por exemplo, se a proposição $b_1(\mu_{1b1}; \mu_{2b1}) \in SA$, então, o inversor *off grid* nessa medição do ensaio de eficiência energética está em conformidade. Caso contrário, se a proposição $b_1(\mu_{1b1}; \mu_{2b1}) \in SB$, o inversor *off grid* nessa medição do ensaio de eficiência energética está em não conformidade.

A terceira etapa é o critério de viabilidade para os ensaios de conformidade. Esta etapa depende da natureza do ensaio realizado. O ensaio pode ser classificado em três critérios. O primeiro critério trata da conformidade do ensaio quando esse está em conformidade abaixo de uma faixa limite. Esse critério é o passa-baixa. Já o segundo critério tem a conformidade entre dois limites. Esse critério é o passa-faixa. Por fim, o terceiro critério tem a conformidade acima do limite exigido. Esse critério é o passa-alta. Assim, o critério passa-baixa está relacionado aos ensaios de autoconsumo, de distorção harmônica, de sobrecarga, de proteção contra inversão de polaridade, de proteção contra curto-circuito na saída e de distorção harmônica em ambiente a 40° C. Já o critério passa-faixa está associado aos ensaios de regulação de tensão, de frequência e de regulação de tensão em ambiente de 40° C. Por fim, o critério passa-alta está agremiado aos ensaios de eficiência energética em condição normal e em condição extrema.

A quarta etapa é o cálculo das anotações ($\mu_1; \mu_2$) para as 214 proposições existentes pelo INMETRO no ensaio de inversor *off grid*. Esse cálculo é feito por meio da mudança de escala do Sistema Internacional para um sistema de 0 a 1. O grau de evidência favorável se refere ao laboratório 1 e o grau de evidência contrária ao outro laboratório.

A quinta etapa é o armazenamento dessas informações em um banco de dados. Nesse projeto, as rotinas computacionais e o banco de dados foram feitos em Matlab. Todavia, poder-se-ia construir as rotinas em Excel.

3.2 Processamento

O procedimento do processamento faz a leitura do banco de dados e é executado em duas etapas.

A primeira etapa do processamento é o cálculo das proposições compostas ou moleculares para cada medida de um determinado ensaio do inversor *off grid* por meio do operador minimizante (Min) de acordo com a Figura 2. Por exemplo, o cálculo da anotação resultante de uma proposição p_R do ensaio do inversor *off grid* é dado por:

$$p_R(\mu_{1R}; \mu_{2R}) = \text{Min}\{inv_1(\mu_{Lab1}; \mu_{Lab2}), inv_2(\mu_{Lab1}; \mu_{Lab2}), \dots, inv_n(\mu_{Lab1}; \mu_{Lab2})\} \quad \text{Eq. 1}$$

A segunda etapa é o cálculo do baricentro para identificar a localização regional no dispositivo para-analisador. Por exemplo, o cálculo do baricentro do ensaio de eficiência energética para tensão nominal de todos os inversores *off grid* é dado por: $\mu_{1bW} = (\mu_{1Rb1} + \mu_{1Rb2} + \dots + \mu_{1Rb8}) / NP$ e $\mu_{2bW} = (\mu_{2Rb1} + \mu_{2Rb2} + \dots + \mu_{2Rb8}) / NP$, onde (μ_{1bW}, μ_{2bW}) são as anotações resultantes do baricentro do ensaio de eficiência energética. Já NP é o número de proposições do ensaio avaliado que no caso do ensaio de eficiência energética para tensão nominal é 8. Quanto a $\mu_{1Rb1}, \mu_{1Rb2}, \dots, \mu_{1Rb8}$ trata-se das anotações resultantes de cada medida do ensaio supramencionado, ou seja, μ_{1Rb1} é a anotação resultante dada pela Equação 1 da proposição b_1 do ensaio de eficiência energética para tensão nominal para os quinze inversores *off grid*. De modo análogo, μ_{1Rb8} é a anotação resultante dada pela Equação 1 da proposição b_8 do ensaio de eficiência energética para tensão nominal para os quinze inversores *off grid*.

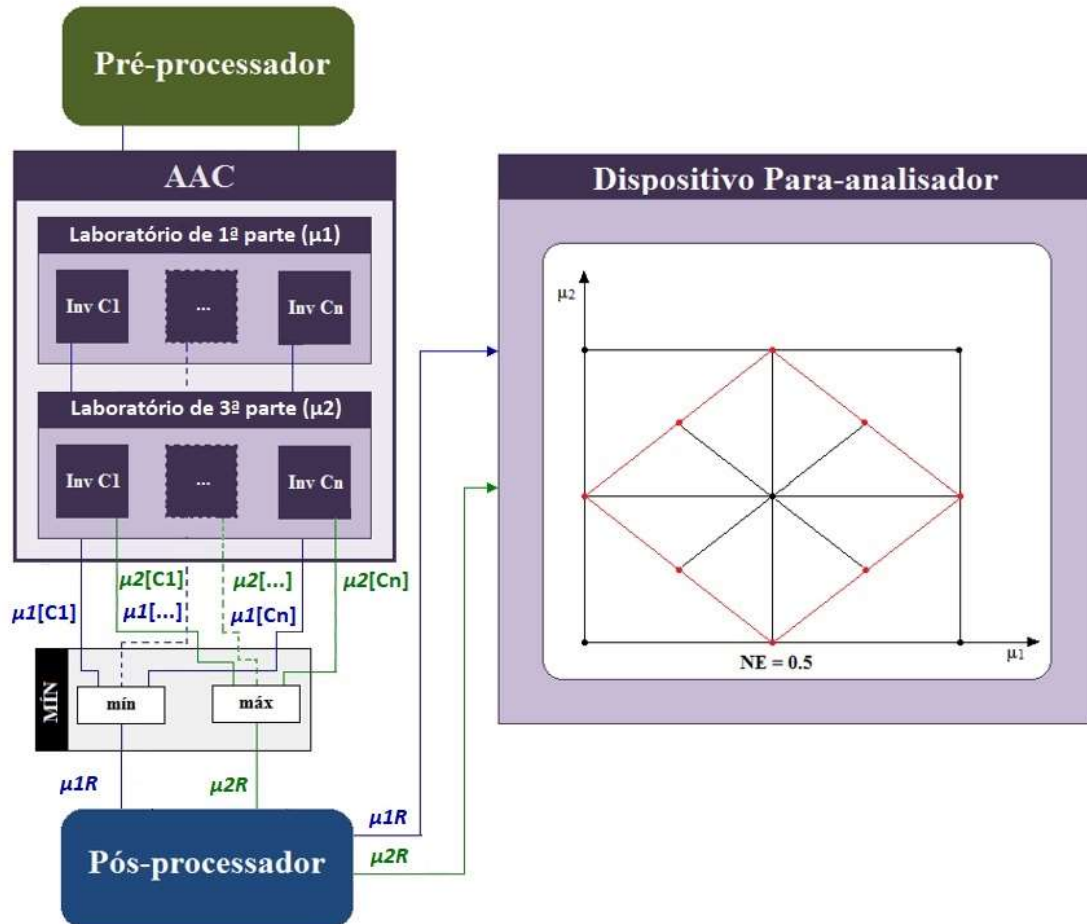


Figura 2 – Esquema das operações lógicas do processamento do MPDM

3.3 Pós-processamento

O procedimento de pós-processamento é a interpretação dos resultados gráficos para a tomada de decisão por meio do dispositivo para-analisador. Para exemplificar, na Figura 3, são mostradas anotações de um inversor *off grid* para o ensaio de eficiência energética em condição normal para a tensão nominal.

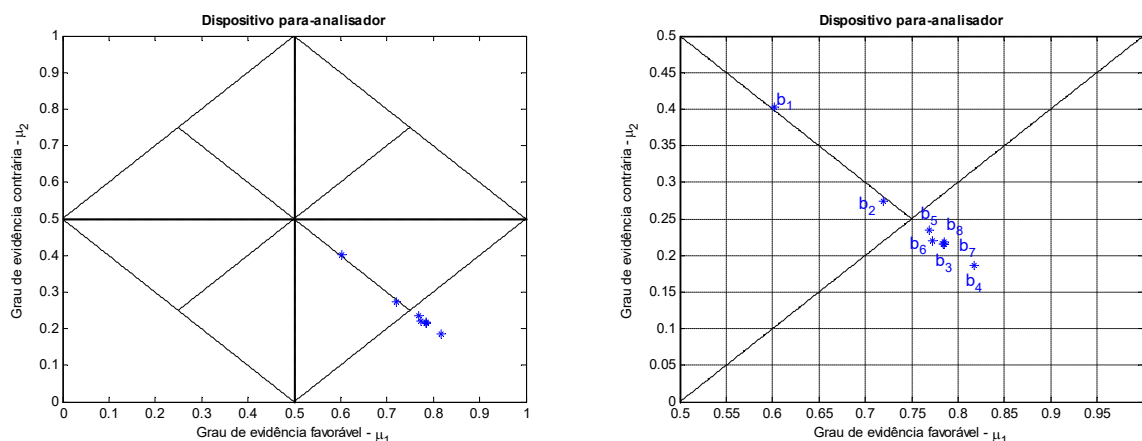


Figura 3 – Resultados gráficos para o ensaio de eficiência energética para tensão nominal em um inversor *off grid*: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

É digno de nota que há duas proposições no resultado gráfico apresentado na Figura 3a que não estão na região triangular do canto inferior direito. Nesse exemplo, isso significa que esse equipamento não está em conformidade com o regulamento vigente. Na Figura 3b, são identificadas as oito proposições do ensaio de eficiência energética em condição normal para tensão nominal de forma gráfica ampliada. São destacadas as proposições b_1 e b_2 deste ensaio de eficiência energética que não estão na região de viabilidade.

Enquanto, na Figura 3 é visualizado um ensaio específico de um inversor *off grid* no dispositivo para-analisador na Figura 4 são associados os resultados do mesmo ensaio para um grupo de inversores *off grid* por meio da operação minimizante.

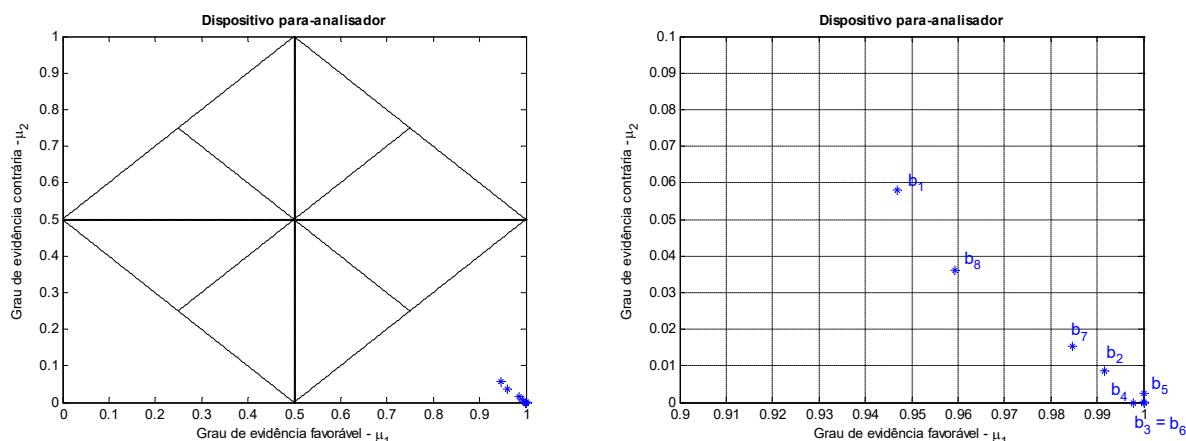


Figura 4 – Resultados gráficos para o ensaio de eficiência energética para tensão nominal em quinze inversores *off grid*: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Nota-se que para essa associação de inversores *off grid* o baricentro das anotações resultantes deve ficar dentro da área de viabilidade uma vez que todas as anotações estão nessa região. Nesse caso, o ensaio de eficiência energética em condição normal para tensão nominal do grupo de inversores ensaiados nos dois laboratórios é viável. Da mesma forma, deve-se fazer esse tipo de ação para todos os ensaios do equipamento avaliado a fim de avaliar a viabilidade.

4.0 CONCLUSÕES

Este Informe Técnico apresentou uma proposta metodológica para inclusão de equipamentos no portfólio do Selo Procel. O método proposto foi o Método Paraconsistente de Decisão Modificada. Para isso, foram mostrados os

procedimentos do MPDM bem como um estudo de caso com inversores *off grid* segundo os critérios de ensaios laboratoriais da Portaria INMETRO 004/2011 e da Portaria INMETRO 357/2014, considerando um laboratório de primeira parte e um laboratório de terceira parte em cada ensaio. Além disso, foi considerada uma adequação do Sistema Internacional das medidas dos ensaios de inversores *off grid* para constantes de anotações do MPDM.

O MPDM mostrou-se pertinente como ferramenta metodológica para esse tipo de estudo de tomada de decisão, que no caso de demonstração adotado referiu-se à inclusão de inversores *off grid* no portfólio do Procel. Dessa forma, a adequação do MPDM para inversores *off grid* se aplica para outros equipamentos respeitando a regulamentação brasileira vigente como critério técnico para tomada de decisão.

Por fim, é digno de registro que esses estudos de viabilidade técnica devem ser realizados com uma quantidade significativa de modelos, respeitando-se as características técnicas de cada equipamento, a fim de sempre contar com um banco de dados, que represente o atual estágio tecnológico e comercial.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) NOGUEIRA, L. A. H. – Uso racional: a fonte energética oculta. Estudos Avançados, v. 21, n. 59, São Paulo, Janeiro–Abril de 2007, p. 91-105.
- (2) ELETROBRAS – Relatório do Procel 2021, ano-base 2020. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2021.
- (3) DOS SANTOS, G. C. – O uso do Método Paraconsistente de Decisão Modificado para inclusão de equipamentos no portfólio do Selo Procel: Um estudo em inversores *off grid* para sistema fotovoltaico. 2016. 208 pp. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá, 2016.
- (4) ABE, J. M. – Fundamentos da Lógica Anotada. 1992. 98 pp. Tese (Doutorado em Filosofia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1992.
- (5) INMETRO – Portaria Inmetro n° 004, de 4 de janeiro de 2011. 49 pp. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/rtac001652.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2021.
- (6) INMETRO – Portaria Inmetro n° 357, de 1 de agosto de 2014. 2 pp. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002145.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2021
- (7) GOMES, E. L. - Sobre a História da Paraconsistência e a Obra de da Costa: A instauração da Lógica Paraconsistente. 2013. 666 pp. Tese (Doutorado em Filosofia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas (IFCH), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2013.
- (8) BÉZIAU, J.-Y. – A Lógica Paraconsistente: História de uma Revolução Conceitual. In: DA COSTA, N. C. A.; BÉZIAU, J.-Y.; BUENO, O. – Elementos de Teorias de Conjuntos Paraconsistentes. Campinas: UNICAMP, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, Coleção CLE, v. 23, p. 99-112, 1998.
- (9) DA COSTA, N. C. A. – Sistemas formais inconsistentes. Tese (Cátedra em Análise Matemática e Análise Superior) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade do Paraná, Curitiba; Rio de Janeiro: Núcleo de Estudos e Pesquisas Científicas do Rio de Janeiro (NEPEC), 1963.
- (10) PRIEST, G.; ROUTLEY, R.; NORMAN, J. (eds.) – Paraconsistent logic: essays on the inconsistent. München: Philosophia Verlag, p. 99-130, 1989.
- (11) BLAIR, H.; SUBRAHMANIAN, V. S. – Paraconsistent foundations for logic programming. Journal of non-classical logic, v. 5, n. 2, p. 45-73, 1988.
- (12) KIFER, M.; LOZINSKII, E. – RI: a logic for reasoning with inconsistency. In: Proceedings 4th Symposium on Logic in Computer Science, Asilomar, CA, June 1989.
- (13) KIFER, M.; KRISHNAPRADAD, T.; WARREN, D. S. – On the declarative semantics of inheritance networks. In: LUSIC, E.; OVERBEEK, R. Proceedings North American Conference on Logic Programming, MIT Press, 1989.
- (14) DA COSTA, N. C. A.; ABE, J. M.; SUBRAHMANIAN, V. S. – Remarks on annotated logic. Zeitschrift für Mathematik, Logik und Grundlagen der Mathematik, Berlin, vol. 37, p. 561-570, 1991.

(15) DE CARVALHO, F. R. – Aplicação de Lógica Paraconsistente Anotada para tomada de decisão na Engenharia de Produção. 348 pp. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

(16) ABE, J. M.; DA SILVA FILHO, J. I.; CELESTINO, U.; DE ARAUJO, H. C. – Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et. São Paulo: apostila editada pelos autores, 2011. 121 p.

DADOS BIOGRÁFICOS**GEORGE CAMARGO DOS SANTOS**

Graduou-se em Engenharia Elétrica pela UFRJ (2002). Obteve o título de especialista em Uso Racional de Energia pela UNIFEI (2010). É mestre em Engenharia Elétrica pelo PEE-COPPE/UFRJ (2006) e mestre em Engenharia de Energia pela UNIFEI (2016). Atualmente, é doutorando em Engenharia Elétrica pelo PEE-COPPE/UFRJ. É engenheiro eletricitista do Programa Nacional de Conservação de Energia e Eficiência Energética da Eletrobras.

(2) LEONARDO PINHO MAGALHÃES

Graduou-se em engenharia elétrica pela UFRJ em 2001. Especialista em Uso Racional de Energia pela UNIFEI (2010), obteve o título de mestre em ciências em Engenharia de Energia também pela UNIFEI em 2014. Atualmente é doutorando em engenharia elétrica pelo PEE-COPPE/UFRJ e atua na Assessoria de Regulação de Geração da Eletrobras.

(3) RODRIGO FERNANDES MORIMOTO

Graduou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste, campus de Foz do Iguaçu/PR em 2005. Desde 2006 é funcionário da Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - Eletrobras, integrando o Programa Nacional de Conservação de Energia e Eficiência Energética.