

Grupo de Estudo de Proteção, Medição, Controle e Automação em Sistemas de Potência-GPC

Avaliação de Diferentes Características de Proteção Diferencial para Linhas de Transmissão com Compensação Série

DAVID RODRIGUES PARRINI(1)(2); TATIANA MARIANO LESSA ASSIS(2);
PSR(1); UFRJ(2);

RESUMO

Esse informe técnico apresenta a avaliação de características de proteção diferencial em linhas de transmissão longas com compensação série. As características de restrição percentual, plano alfa e adaptativa de plano $R\lambda$ são exploradas quanto aos aspectos dos seus ajustes e vantagens em relação às filosofias tradicionais. O desempenho de tais características na proteção de um circuito real é analisado em comparação com o desempenho de relés de distância por meio de simulações computacionais. Nos resultados se verificam a alta seletividade e a imunidade aos fenômenos de inversão de tensão e de corrente, tipicamente observados quando da ocorrência de defeitos.

PALAVRAS-CHAVE

Proteção diferencial, linha de transmissão, compensação série.

1.0 - INTRODUÇÃO

A expansão do sistema elétrico brasileiro para o suprimento de regiões antes isoladas, a integração da geração hidrelétrica de bacias remotas e o reforço da capacidade de transmissão para o atendimento à crescente demanda, têm motivado a realização de grandes obras de transmissão como foi a do circuito Xingu-Manaus, ilustrado na Figura 1. Circuitos que cobrem longas distâncias como esse apresentam dificuldades para o projeto de proteção devido às complexidades inerentes e à exposição às condições climáticas. Dentre as complexidades observadas estão os elevados níveis de tensão, o pronunciado efeito capacitivo das linhas longas e o emprego de compensação por meio da utilização de bancos de capacitores série. Consequentemente, para o atendimento dos requisitos básicos de proteção, tais como rapidez, seletividade e segurança, devem ser avaliadas as alternativas disponíveis, que incluem a proteção de distância e a proteção diferencial.

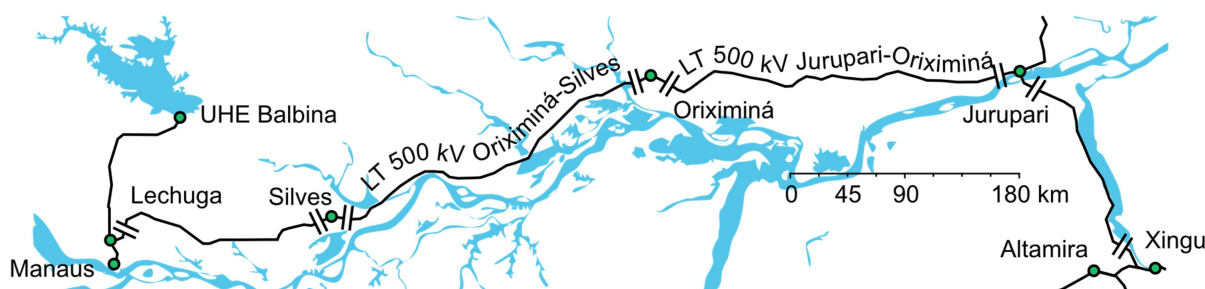


Figura 1 – Circuito Xingu-Manaus (1,2).

Nesse trabalho, a proteção diferencial é avaliada como alternativa às filosofias tradicionais como de sobrecorrente e de distância para a proteção de linhas de transmissão (LT) compensadas. As particularidades da proteção dessas LTs são apresentadas na Seção 2, assim como os fenômenos que são acometidos e o impacto da proteção dos Bancos de Capacitores Série (BCS). Na Seção 3, aspectos da proteção de linhas compensadas e das diferentes filosofias de proteção diferencial de linhas são abordados. A Seção 4 analisa o desempenho da proteção diferencial comparando-o com o da proteção de distância para um dos trechos do circuito da Figura 1 por meio de simulações computacionais realizadas no *software* ATP. As conclusões do trabalho são apresentadas na Seção 5.

2.0 - ASPECTOS DA PROTEÇÃO

2.1 Proteção de linha de transmissão com compensação série

Nessa seção são exploradas as particularidades das LTs com compensação série que impactam nas filosofias tradicionais de proteção, como as proteções de sobrecorrente, direcional e de distância. Será analisada, sobretudo, a proteção de distância, cujas características normalmente utilizadas são a *mho* e a quadrilateral, da Figura 2 (a) e (b), respectivamente.

Quando protegido por uma função de distância, a primeira consideração relevante é a definição do alcance. Na Figura 2 (c) é ilustrado um circuito com compensação série posicionada no meio da linha, sujeito a um defeito em um dado ponto. Para um relé em S, a Figura 2 (d) ilustra a impedância observada conforme o defeito se distancia de S. O lugar geométrico descontinuo dificulta o ajuste da primeira zona e pode provocar sobrealcance. Por outro lado, se ocorrer o *bypass* do BCS, um ajuste considerando o BCS durante um defeito provocará o subalcance da proteção. O *bypass* de um BCS pode ocorrer pela atuação dos elementos que o protegem de sobretensões, ilustrados na Figura 3.

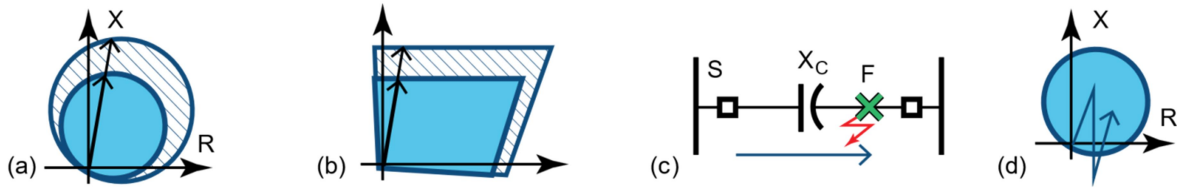


Figura 2 - Características da função de distância (a) circular/*mho* e (b) quadrilateral. (c) Circuito com compensação série em falta e (d) impedância do circuito observada pela função de distância.

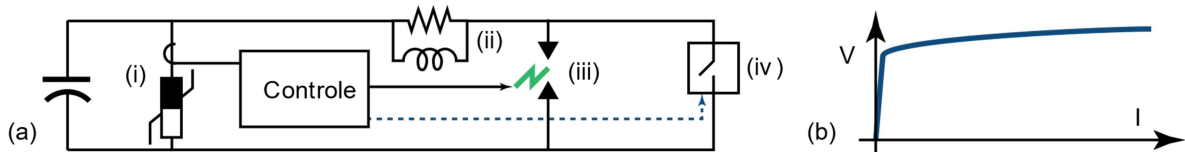


Figura 3 – (a) Estrutura de um BCS e proteção associada: (i) MOV, (ii) circuito de amortecimento, (iii) *spark gap* e (iv) disjuntor de *bypass*. (b) Característica v-i de um MOV. Num primeiro momento, o MOV desvia a corrente do BCS caso este esteja em sobretensão, efetuando o *bypass* instantaneamente. Para a proteção do MOV, que não pode operar por tempo prolongado, um sistema de controle o monitora por sobrecorrente e energia dissipada, ativando um centelhador (*spark gap*) e o disjuntor de *by-pass*. O centelhador opera em aproximadamente 1 ms e o disjuntor em tempo suficiente para retirada de serviço do BCS e proteger todo o conjunto.

O fenômeno de inversão de tensão ocorre quando a reatância vista do ponto de medição do relé até o defeito é capacitiva. Na Figura 4 (a) é ilustrada essa condição supondo um relé instalado em S e uma falta no ponto F a uma distância d do terminal S. Para a condição de inversão de tensão, $X_C > dX_L$ mas também $X_C < (X_S + dX_L)$. Ou seja, o relé observará uma reatância capacitiva e a corrente de defeito será indutiva. Nessa condição, $V_S = j(dX_L - X_C) \cdot I_{FS}$ e $V_{src} = j(X_S + dX_L - X_C) \cdot I_{FS}$. Visto que $X_C > dX_L$, o ângulo de V_S/V_{src} será de 180° . Assim, a tensão V_S estará em oposição de fase em relação à tensão V_{src} e, consequentemente, à tensão V_S pré-falta. Na Figura 4 (b) é ilustrado o diagrama fasorial para uma LT com os BCS fora de operação (disjuntor de *by-pass* fechado), enquanto a Figura 4 (c) mostra o diagrama para o BCS em condução e durante a inversão de tensão. Um relé "olhando" para dentro da linha, conforme gráfico da tensão na Figura 4 (a), não observaria a inversão de tensão. Por outro lado, se ocorresse um defeito externo que satisfizesse a condição para inversão de tensão, o mesmo relé seria afetado.

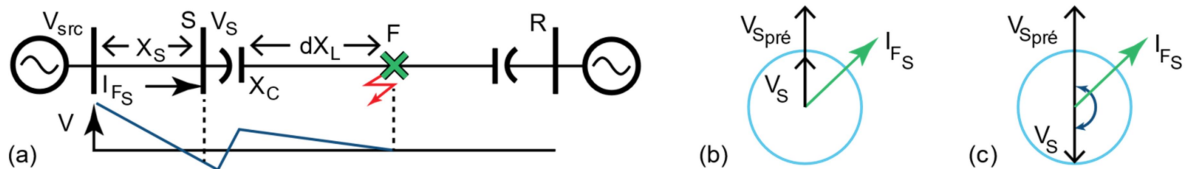


Figura 4 – (a) Defeito que provoca inversão da tensão V_S no terminal S. (b) Diagrama fasorial sem inversão de tensão e (c) com inversão de tensão.

A inversão de corrente, por outro lado, ocorre quando a reatância total vista da fonte até o ponto de defeito é capacitiva. Utilizando o circuito de exemplo ilustrado na Figura 5 (a), essa condição é satisfeita com $X_C > (X_S + dX_L)$. Durante uma inversão de corrente, um relé no ponto S não somente medirá uma corrente de defeito interno com sentido para fora do circuito como também uma tensão elevada. Nesse caso, não importaria o ponto de conexão do

relé (na barra ou na linha). A Figura 5 (b) contém o diagrama fasorial para a condição dos BCS fora de operação (disjuntor de *by-pass* fechado), onde as correntes I_{FS} e I_{FR} apontam para dentro da LT, e, a Figura 5 (c) para a condição de inversão de corrente da Figura 5 (a).

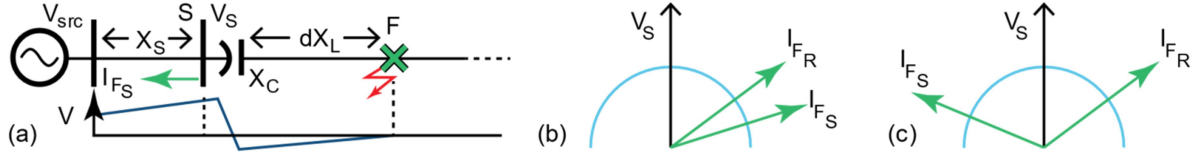


Figura 5 – (a) Defeito que provoca a inversão da corrente I_{FS} . (b) Diagrama fasorial das correntes para um defeito cujas impedâncias vistas pelas fontes são indutivas e (c) vista pela fonte V_{src} seja capacitiva.

Nesses dois exemplos analisados, a impedância calculada por uma função de distância no terminal S é afetada e provocará a operação incorreta do relé. No Seção 2.2 é abordada a proteção diferencial para LTs, que possui vantagens na proteção de LTs com compensação série.

2.2 Proteção diferencial para linhas de transmissão

A proteção diferencial é baseada na corrente diferencial, definida como a soma fasorial das correntes terminais do equipamento (I), considerando o sentido positivo para dentro dele. É uma filosofia aplicada em tipos diversos de equipamentos de sistemas de potência, como transformadores e barramentos. Para LTs, é adaptada para a longa distância entre os terminais.

$$I_d = |I_S + I_R| \quad (I)$$

A corrente diferencial I_d poderia, então, ser comparada contra uma corrente diferencial de *pickup* ajustável para que se possa determinar a condição de defeito. Valores de (I), inferiores ao ajuste de *pickup*, indicariam que o equipamento está operando sem problemas e, valores que superem esse ajuste, um defeito interno. Entretanto, além de defeitos internos, outras condições operativas também podem levar a elevados valores de I_d (I), tais como defeitos externos que levem à saturação de TCs, a operação em carga leve e a existência de erros de medição. Nessas condições, pode haver a presença de corrente diferencial falsa (3), suficiente para provocar a atuação indevida da proteção. Sendo assim, apenas a utilização de (I) não é suficiente para a utilização segura da filosofia diferencial.

Tendo em vista aprimorar a segurança da filosofia diferencial mantendo a sua seletividade, são utilizadas características como a de restrição percentual e a de plano alfa na proteção de LTs. Para a característica de restrição percentual são definidas duas grandezas: a corrente de restrição (*bias*) I_b (II), como grandeza de estabilização, e a corrente diferencial I_d (I), como a grandeza de operação. Aqui é considerada a corrente de restrição I_b como a média dos módulos das correntes nos terminais, mas outras definições podem ser encontradas, como, por exemplo, a do valor máximo de (II) nas três fases. A corrente de restrição I_b serve como um indicador do carregamento no circuito, possibilitando diferenciar condições de carga leve e pesada.

$$I_b = \frac{|I_S| + |I_R|}{2} \quad (II)$$

Dispostas em um plano cartesiano, as correntes (II) e (I) são utilizadas para a definição da característica de restrição percentual. Uma prática comum é a de definir o valor de *pickup* de corrente diferencial I_d como uma função da corrente de restrição I_b , como por exemplo $I_d > (kI_b + I_{pickup})$. Nessa definição, k é um fator da corrente de restrição, sendo essa a origem do nome da característica. Como são esperados erros de medição como os ocorridos durante a saturação dos TCs, pode ser utilizada uma das características de dupla inclinação (a) e (b) da Figura 6. Nessa figura, I_{S_1} é o *pickup* de corrente diferencial, k_1 e k_2 são as inclinações e I_{S_2} define a mudança de inclinações. Nesse trabalho, foi considerada a característica (a).

A Figura 6 (c) contém uma ilustração das diferentes regiões na característica. Para baixos valores de I_b , o relé pode estar observando uma condição normal de carga com corrente I_d baixa. Na ocorrência de um defeito interno de alta impedância, a corrente I_b terá valores relativamente baixos a corrente I_d poderá ter um valor que supere a parte de baixa inclinação da região de restrição e leve à operação do relé. Para defeitos internos de relativa baixa impedância, elevadas correntes serão medidas nos terminais e ambos I_b e I_d terão valores elevados. Por outro lado, na ocorrência de defeitos externos, a corrente passante na LT poderá ser elevada, provocando um valor elevado de I_b . Se não ocorrer a saturação de um dos TCs, a corrente I_d tenderá para valores inferiores à região de restrição. Na ocorrência da saturação de um dos TCs, entretanto, I_d poderá ser elevado e as características da

Figura 6 preveem essa condição com a utilização de uma inclinação maior, evitando o falso *trip*. O atraso na comunicação entre os terminais provoca aumento na corrente diferencial I_d e deve ser compensado com o ajuste do valor de *pickup* I_{S_1} (2).

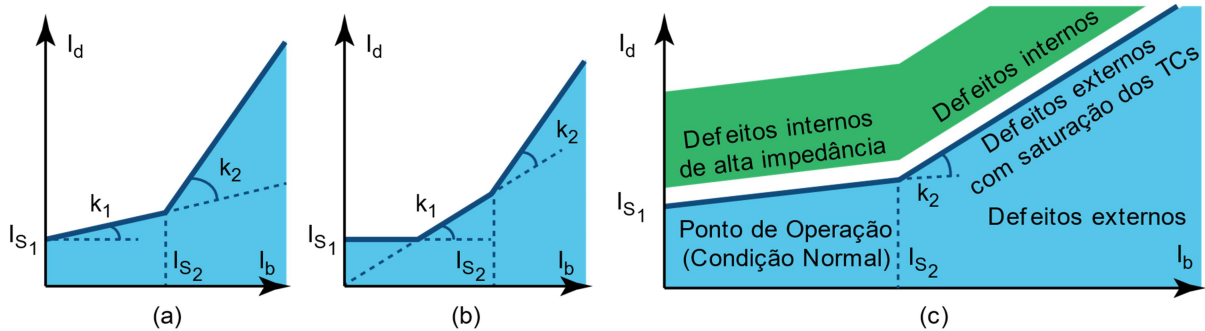


Figura 6 – Formas (a) e (b) de características de restrição percentual de dupla inclinação. (c) Lugares geométricos.

A característica de plano alfa utiliza como grandeza de operação e restrição a razão complexa entre as correntes terminais \hat{I}_S e \hat{I}_R . As partes real e imaginária da razão (III) são dispostas em um plano de coordenadas cartesianas que recebe o nome de plano alfa. Nesse plano, podem ser definidas regiões de restrição como as (a) e (b) da Figura 7. Utilizando uma mudança de coordenadas adequadas, a região definida em (b) pode ser convertida para uma região equivalente num plano de restrição percentual (3). A região de setor de coroa circular (a), com raio externo r , raio interno $1/r$ e ângulo de bloqueio α , é a mais utilizada e a considerada nesse trabalho.

$$I_{re} = \text{Re}\{\hat{I}_R/\hat{I}_S\}, \quad I_{im} = \text{Im}\{\hat{I}_R/\hat{I}_S\} \quad (\text{III})$$

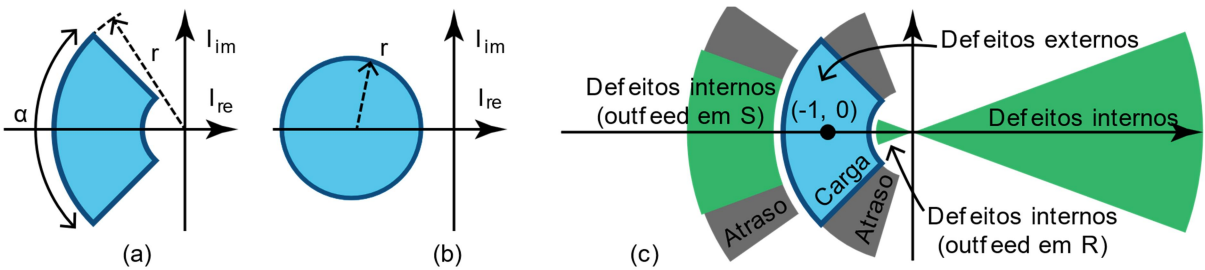


Figura 7 – Formas (a) e (b) de características de plano alfa. (b) Lugares geométricos.

Algumas propriedades interessantes do plano alfa estão ilustradas na Figura 7 (c). Em condições normais de carga, o ponto observado pelo relé estará ao redor do ponto $(-1,0)$. Na ocorrência de defeito externo, a tendência é que as correntes continuem com o sentido normal de corrente de carga e se mantenham posicionadas na região de restrição. Quando ocorre um defeito interno, as correntes terminais terão valores elevados no sentido positivo, resultando uma com parte real I_{re} positiva. Na condição de *outfeed*, as correntes terão sentido normal de corrente de carga, mas serão desbalanceadas de tal sorte que se posicionem nas regiões de $I_{re} > r$ ou $1/r > I_{re}$.

Uma vantagem da característica de plano alfa em relação à de restrição percentual é que erros de alinhamento entre as correntes, como provocados pelo atraso de comunicação, podem ser facilmente observados no plano alfa (4). Enquanto o atraso provoca uma corrente diferencial falsa na restrição percentual, o atraso tende a deslocar o ponto observado no plano alfa pelo relé, rotacionando o mesmo em relação à origem. Dessa forma, sendo previsto um atraso, a proteção pode ser ajustada com um ângulo de bloqueio α adequado.

Por outro lado, não é possível determinar as condições de carregamento apenas pela razão das correntes. Isto é, há uma família de soluções possíveis para o ponto $(-1,0)$, por exemplo. Para um circuito em uma condição em que a corrente de carregamento capacitivo é mais elevada em um dos terminais, a diferença de \hat{I}_R para \hat{I}_S pode ser tal que posicione o ponto observado fora da região de restrição. Por essa razão, pode ser utilizado um valor de *pickup* de corrente diferencial para a operação com o plano alfa (3).

Dois reveses da aplicação da proteção diferencial em circuitos longos são o atraso da comunicação e a presença de elevadas correntes *shunt* capacitivas. Os dois podem ser contornados nas diferentes características, sendo a compensação do *pickup* de corrente diferencial uma solução direta. Entretanto, o aumento desse ajuste tende a reduzir a sensibilidade da proteção diferencial para defeitos através de alta impedância.

Se estiverem disponíveis as medidas de tensões terminais, os efeitos das correntes *shunt* capacitivas podem ser mitigados através de compensação. Alguns métodos podem ser utilizados para a estimação das correntes capacitivas (4). As correntes terminais medidas, então, são subtraídas dessas para a utilização de correntes compensadas na proteção. Essa é uma funcionalidade importante para a proteção seletiva de circuitos longos.

Uma solução adaptada para circuitos longos é a proteção adaptativa apresentada em (5). Sua característica, aqui denominada de plano $R\lambda$, é baseada na utilização das tensões e correntes terminais para que se possa estimar correntes anterior e posterior ao ponto de defeito $I_{S_{kF}}$ e $I_{R_{kF}}$, indicadas na Figura 8 (a). Para essa característica, são utilizados o módulo da razão das correntes R e a diferença angular λ entre as mesmas para a definição do plano $R\lambda$ (IV). O sentido considerado como positivo para as correntes é de forma que $R=1$ e $\lambda=0$ em condições normais de carregamento. Sendo assim, é definida a região de restrição da Figura 8 (b).

$$R = \left| \frac{I_{S_{kF}}}{I_{R_{kF}}} \right|, \quad \lambda = \angle I_{S_{kF}} - \angle I_{R_{kF}} \quad (IV)$$

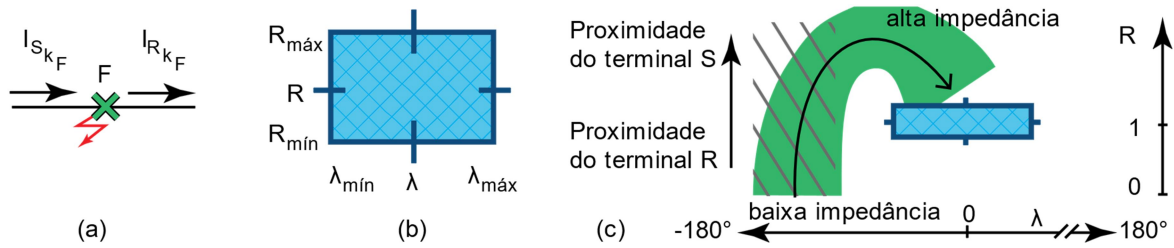


Figura 8 – (a) Correntes anterior e posterior ao defeito. (b) Característica de plano RL. (c) Lugares geométricos.

A Figura 8 (c) ilustra regiões onde podem estar localizados os pontos observados pelo relé. Para defeitos internos de baixa impedância, a diferença angular λ tende aos valores de $\pm 180^\circ$. Os valores da razão R variam em relação à proximidade do defeito aos terminais e do respectivo nível de curto-circuito (assim também é esperado no plano alfa). Conforme o aumento da impedância do defeito, há uma tendência de a proteção ser dessensibilizada, pois λ irá apresentar valores próximos a 0 e R próximos a 1.

Uma vez que a proteção diferencial depende da medição das correntes terminais, o problema de alcance da Figura 2, comentado na Seção 2.1, não se manifesta. Além disso, as características aqui apresentadas independem da tensão terminal, para o que se conclui a sua imunidade à inversão de tensão. A inversão de corrente simultaneamente nos dois terminais não irá afetá-la, pois as características apresentadas tendem a ser sensibilizadas quando as correntes não possuem o mesmo sentido (ou seja, ambas apontam para dentro ou ambas para fora da LT). Por outro lado, se a inversão de corrente ocorrer somente em um dos terminais, a proteção diferencial poderá ser dessensibilizada, pois essa condição se aproxima a uma condição de carga.

3.0 - RESULTADOS

3.1 Sistema simulado

O sistema simulado é a rede retida indicada na Figura 9. O circuito de 334 km Silves-Oriximiná C1 foi selecionado como foco para avaliação do desempenho das proteções. Essa rede contém aspectos interessantes para análise, por se tratar de um sistema radial com longos circuitos com compensação série de 70%, BCSs protegidos por MOV e *gap*. A rede foi modelada e simulada no programa ATP, com elementos de proteção modelados em MODELS e em C++ (utilizando o recurso de *Foreign Model*). O ponto de operação é em carga leve e os compensadores estáticos (CERs) considerados em ponto de operação fixo. Foram considerados esquemas de distância e diferenciais fictícios para a proteção da LT.

O esquema utilizado para a proteção diferencial é o ilustrado na Figura 10 (a). Todas as proteções, incluindo a de distância, foram modeladas com filtro passa-baixas e filtro DFT de 16 amostras por ciclo. As proteções diferenciais tipo plano alfa e restrição percentual recebem medidas de corrente compensadas para eliminar componentes *shunt* capacitivas. Além disso, recebem medidas filtradas do terminal remoto. Foram considerados relés de distância tipo Mho, ajustados com alcance de 80% da LT não-compensada na primeira zona, com elementos de fase e terra em esquema DUTT. As medições foram realizadas no lado da linha e as proteções, para fim de análise, emitem sinal de *trip*, mas não operam efetivamente disjuntores.

Foram simulados 4 tipos de defeitos, com valores de resistência de falta de 10 e 250 Ω , em 18 posições nos circuitos Silves-Oriximiná C1 (internos), C2 (externos, LT A) e Oriximiná-Jurupari (externos, LT B). O desempenho

geral é analisado na Seção 3.2. Dois casos foram selecionados por apresentarem condições interessantes para análise e comparação das filosofias de distância e diferencial. Esses são os casos indicados na Figura 10 (b) e (c). O primeiro caso provoca inversão de corrente e é analisado na Seção 3.3, ao passo que o segundo provoca inversão de tensão e é analisado na Seção 3.4.

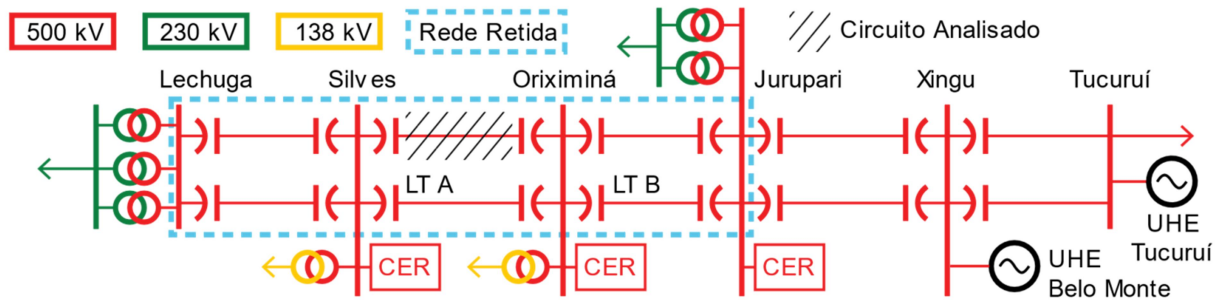


Figura 9 – Diagrama unifilar relativa à área da Figura 1 e rede retida considerada.

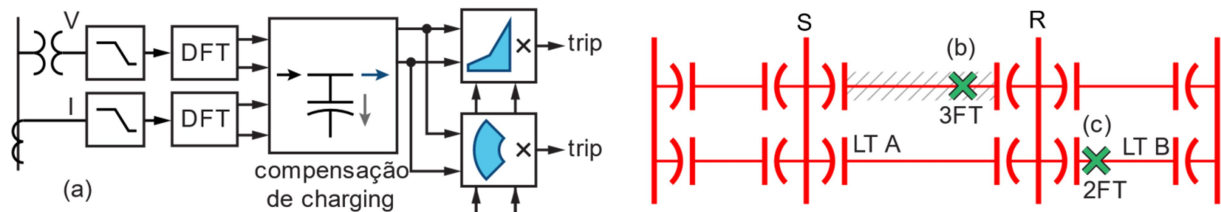


Figura 10 – (a) Modelagem da proteção diferencial no ATP. Caso (b) de curto-circuito trifásico interno com inversão de corrente e (c) curto-circuito bifásico para a terra externo com inversão de tensão.

3.2 Desempenho geral

A Figura 11 contém os planos das diferentes proteções, com marcações dos pontos observados pela proteção quando esta sinalizou *trip* para um defeito interno. Os lugares geométricos dos defeitos nos planos das proteções diferenciais estão consoantes com aqueles esperados, descritos na Seção 2.2. As proteções atuaram corretamente para todos os defeitos internos testados, exceto a proteção de distância que não foi sensibilizada para os defeitos de alta resistência. Quanto aos defeitos externos, as proteções diferenciais não atuaram, mas a proteção de distância, sobretudo os elementos de terra (F-T), atuaram incorretamente como pode ser verificado na Tabela 1. Nos itens a seguir são analisados casos em que ocorrem a inversão de corrente e a de tensão.

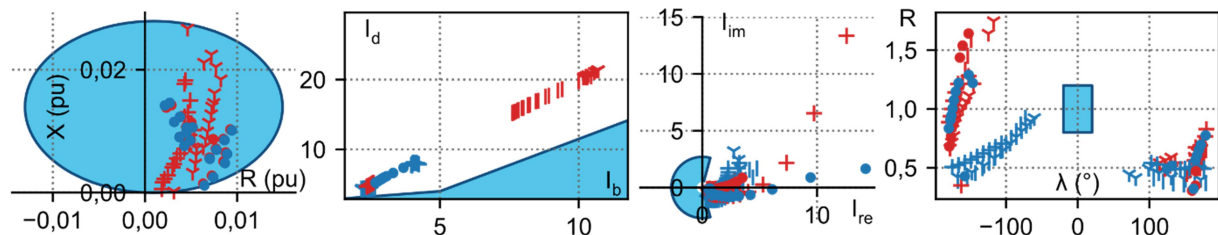


Figura 11 – Atuação dos relés para defeitos internos variados: Relé de distância de fase no terminal S, planos de restrição percentual, alfa e $R\lambda$. Marcações: Υ defeito trifásico; $+$ defeito bifásico para terra; \bullet bifásico; e $|$ monofásico. Defeitos através de 10Ω em vermelho; defeitos através de 250Ω em azul.

Tabela 1 – Atuação da proteção para defeitos de baixa resistência em diferentes LTs (total de 72 defeitos por LT)

Defeito	Mho F-T	Mho F-F	Mho (total)	Restrição Percentual	Plano Alfa	Plano $R\lambda$
Interno	85 %	100 %	100%	100 %	100 %	100 %
LT A	53 %	22 %	53%	0 %	0 %	0 %
LT B	26 %	17 %	29 %	0 %	0 %	0 %

3.3 Inversão de corrente

Nesse caso, o defeito é um curto-circuito trifásico através de uma impedância de 250Ω a uma distância de 317 km do terminal R (95% do comprimento). A Figura 12 (a) contém o lugar geométrico do fasor de corrente no terminal R. Inicialmente, a corrente aponta para o sentido da carga para fora da LT e durante o defeito desloca transitoriamente

no sentido para dentro e novamente para fora (inverso). A Figura 12 (b) contém a trajetória no plano R-X. Nessa figura, observa-se que a impedância vista pelo relé em R indica, incorretamente, um defeito para trás da LT. Além disso, a proteção é insensível ao defeito de alta resistência.

A Figura 13 contém as trajetórias observadas pelas três características de proteção diferencial avaliadas. As três características rápida e corretamente identificaram o defeito interno. A trajetória próxima à medida final ■ em 100 ms indica que, se os relés que implementam as características de restrição percentual e plano alfa fossem configurados com uma temporização maior, poderiam não atuar com a inversão de corrente.

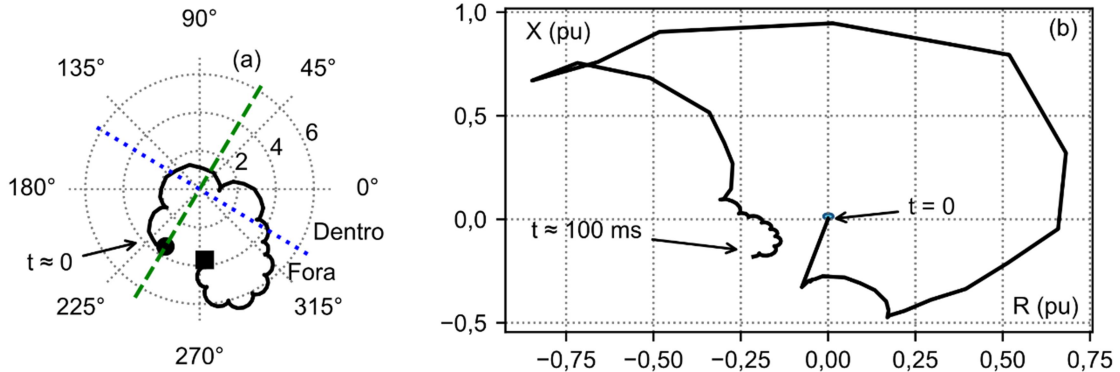


Figura 12 - (a) Lugar geométrico do fasor de corrente (pu) no terminal R, com indicação do valor inicial por ●, do valor final por ■, linha pontilhada verde indicando o ângulo pré-falta e azul separando em semiplanos com a corrente para dentro e para fora da LT. (b) Plano R-X observado pelo relé em R.

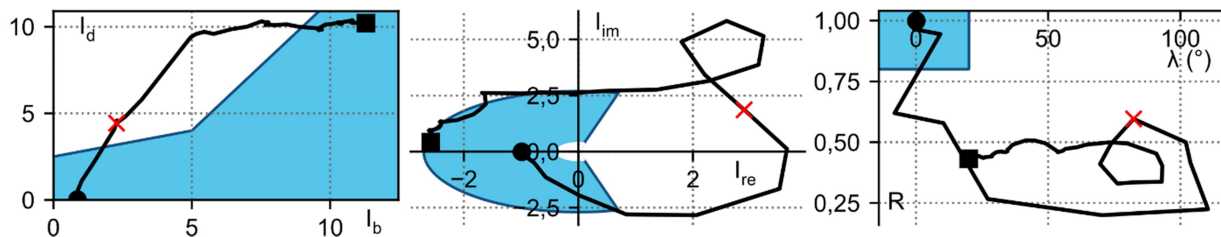


Figura 13 – Trajetórias medidas pelas proteções de restrição percentual, plano alfa e plano $R\lambda$, onde \times indica *trip*.

3.4 Inversão de tensão

Nesse caso, o defeito é o curto-circuito bifásico para a terra a 84 km do terminal R em LT a jusante à protegida. A Figura 14 (a) contém o lugar geométrico do fasor de tensão. Nela, pode ser observado que a tensão adquire valores próximos a zero e, então, inverte em ângulo em relação à tensão pré-falta. Na Figura 14 (b) está o plano R-X observado pelo relé em R. Nesse caso, pode ser observada a trajetória do relé no semiplano inferior durante a redução de tensão. Quando a tensão inverte, a trajetória da impedância muda para o semiplano superior e segue em direção à característica do relé, levando a sua falsa operação.

As características de proteção diferencial não são influenciadas pelo fenômeno de inversão de tensão (3). A Figura 14 (c) contém a trajetória observada pela característica de restrição percentual, que reside no interior da região de restrição durante todo o defeito. A corrente diferencial I_d nunca supera o valor de *pickup* (2,5), também ajustado nas características de plano alfa e adaptativa, embora a corrente de restrição I_b se torne elevada durante o defeito.

4.0 - CONCLUSÃO

Nesse trabalho foram apresentadas as adversidades e os fenômenos que influenciam na proteção de LTs com compensação série e a solução com a filosofia de proteção diferencial. Enquanto o alcance, a ocorrência de inversão de tensão e corrente são preocupantes no ajuste de outras funções, a proteção diferencial é imune a esses efeitos. O desempenho em comparação com uma proteção de distância foi analisado com o objetivo de evidenciar essas vantagens. Cuidados com a saturação de TCs e a corrente *shunt* capacitiva das LTs devem ser tomados pelo projetista que adotar essa solução que oferece, em contrapartida, maior seletividade e segurança em relação aos outros esquemas.

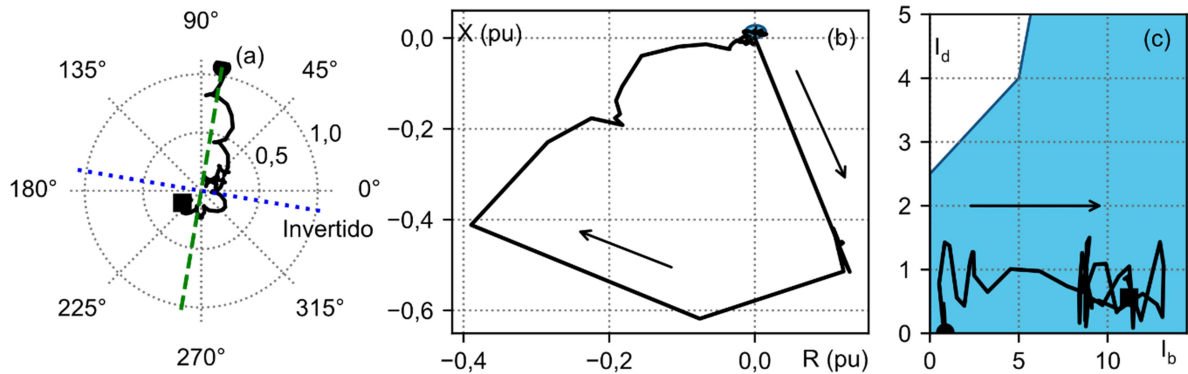


Figura 14 – (a) Lugar geométrico do fasor de tensão (pu) no terminal X; (b) plano R-X observado pelo relé em X; (c) plano de restrição percentual durante o defeito.

5.0 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Web Map EPE - Sistema de Informações Geográficas do Setor Energético Brasileiro. [Online]. <https://gisepeprd.epe.gov.br/webmapepe/>
- (2) D. R. Parrini, "Avaliação do Desempenho da Proteção Diferencial em Linhas de Transmissão," Dissertação de Mestrado, 2018. [Online]. <http://www.pee.ufrj.br/index.php/pt/producao-academica/dissertacoes-de-mestrado/2018/2016033307--137/file>.
- (3) E. Bakie, C. Weshoff, N. Fischer e J. Bell, "Voltage and Current Inversion Challenges When Protecting Series-Compensated Lines - A Case Study," em *69th Annual Conference for Protective Relay Engineers (CPRE)*, 2016.
- (4) IEEE-SA, *Std C37.243-2015 IEEE Guide for Application of Digital Line Current Differential Relays Using Digital Communication.*, 2015.
- (5) Gangavarapu Sivanagaraju, Saikat Chakrabarti e S. C. Srivastava, "Uncertainty in Transmission Line Parameters: Estimation and Impact on Line Current Differential Protection," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, pp. 1496-1504, Junho 2014.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



David R. Parrini nasceu no Rio de Janeiro, Brasil, em 1990. Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 2016, é Mestre em Sistemas de Energia Elétrica pela COPPE/UFRJ (2018) e aluno de doutorado. Foi Trainee de Engenharia Elétrica no ONS e atualmente é analista da PSR.



Tatiana Mariano Lessa Assis nasceu no Rio de Janeiro, em 1975. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (1998), Mestrado (2000) e Doutorado (2007) em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ. Realizou pós-doutorado no Imperial College London (2015) e atualmente é professora da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tem experiência na área de planejamento da operação de sistemas interligados, dinâmica, proteção e controle de sistemas de potência. Atua como voluntária do IEEE desde 2010, sendo atualmente editora da revista IEEE Transactions on Sustainable Energy. É membro do CIGRÉ e Senior Member do IEEE.