

João Pedro Soares Martins

Uma Nova Proposta para Bloqueio da Proteção de Distância em Linhas de Transmissão durante Oscilação de Potência

Alegrete, RS

10 de julho de 2019

João Pedro Soares Martins

Uma Nova Proposta para Bloqueio da Proteção de Distância em Linhas de Transmissão durante Oscilação de Potência

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Proteção de Sistema Elétrico de Potência, da Universidade Federal do Pampa (Unipampa, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Elétrica**.

Universidade Federal do Pampa – Unipampa

Curso de Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr. Eduardo M. dos Santos.

Alegrete, RS

10 de julho de 2019

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

M375n Martins, João Pedro

Uma nova proposta para bloqueio da proteção de distância em
linhas de transmissão durante oscilação de potência / João
Pedro Martins.

83 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA, 2019.

"Orientação: Eduardo Santos".

1. Proteção de SEP. I. Título.

JOAO PEDRO SOARES MARTINS

UMA NOVA PROPOSTA PARA BLOQUEIO DA PROTEÇÃO DE DISTÂNCIA EM LINHAS DE
TRANSMISSÃO DURANTE OSCILAÇÃO DE POTÊNCIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistemas Elétricos de Potência

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 27 de junho de 2019.

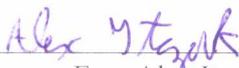
Banca examinadora:



Prof. Dr. Eduardo Machado dos Santos
Orientador



Prof. Dr. Chrystan Dalla Lana da Silva
UNIPAMPA



Eng. Alex Itczak

*Dedico este trabalho a meu falecido avô,
maior inspiração, carinho, dedicação e compreensão.*

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à minha família, minha mãe Marileuza Soares Martins, meu pai Valter Luiz Martins e minha avó Tereza Policarpo Martins pelo apoio, carinho, por sempre acreditarem em mim e pelo constante incentivo ao longo da vida.

Em especial ao Prof. Doutor Eduardo Machado dos Santos, pelo apoio, confiança e ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

A todo corpo docente da UNIPAMPA pelos conhecimentos transmitidos durante o período de graduação.

*“A velocidade da luz é um limite absoluto ao qual todas as coisas
do universo estão submetidas.
(Albert Einstein)”*

Resumo

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) tem aumentado sua complexidade, podendo sofrer perturbações na rede, as quais podem resultar em variações de tensão e frequência, que violem suas restrições operativas. Dentre essas violações, destacam-se distúrbios como, por exemplo, como aqueles provocados pela desconexão de geradores, que podem ser controlados a ponto de o sistema alcançar um novo ponto de operação aceitável, os quais são ditos oscilações estáveis de potência (OEPs). Desse modo, surge a necessidade de combinar características de operação de relés de proteção, visando à rápida eliminação de faltas, além de garantir a seletividade na atuação desses dispositivos no que tange a operação indevida durante as OEPs. Sendo assim, torna-se indispensável o uso de um relé de distância (função ANSI 21), cuja atuação é determinada pela impedância vista pelo relé, combinado com uma lógica operacional que bloqueie sua operação durante uma oscilação estável de potência (função ANSI 68), sabendo-se que uma oscilação de potência pode ocorrer constantemente em um sistema elétrico. Quando ocorrer uma oscilação desse tipo, a impedância aparente vista por um relé de distância durante esse fenômeno, adquire caráter oscilatório. Durante uma oscilação desse tipo, muitas vezes essa variação na impedância faz com que essa migre para o interior da região operacional do relé no plano R-X, causando atuações indevidas na proteção da linha. De maneira a prevenir as atuações indevidas do relé de distância, a técnica proposta nesse trabalho fundamenta-se na análise do comportamento das amostras dos sinais de tensão da rede, dispostos como pares ordenados em um plano cartesiano junto com o respectivo valor da primeira função-diferença do referido sinal, de forma que a proteção atue somente para condições de curto-circuito e permaneça inoperante nos casos de oscilação de potência. No estudo, tais simulações foram realizadas em um sistema teste implementado no software onde foram simulados diferentes situações de oscilação estáveis de potência, para diferentes frequências de oscilação, além de casos de curto-circuitos trifásicos, ambos com diferentes carregamentos e variados instantes de incidência da oscilação. Ressalta-se ainda que a técnica implementada em Matlab atua corretamente, bloqueando o relé para situações de OEP.

Palavras-chave: Detecção, Linhas de Transmissão, Oscilação Estável de Potência, Relé de Distância, Relé de Bloqueio, Curto-Circuito.

Abstract

The Electric Power System (SEP) increases its complexity and may suffer from disturbances in the network, which can result in voltage and frequency variations that violate its operating restrictions. Among these violations, disturbances such as, for example, those caused by the disconnection of generators, which can be controlled to the point where the system reaches a new acceptable operating point, are said to be stable power swing (SPS). Thus, there is a need to combine characteristics of operation of protection relays, aiming at the rapid elimination of faults, besides guaranteeing the selectivity in the performance of these devices in regard to improper operation during the OEPs. Therefore, the use of a distance relay (ANSI function 21) is indispensable, whose performance is determined by the impedance seen by the relay, combined with an operational logic that blocks its operation during a stable power swing (ANSI function 68) , it being known that a power swing can occur constantly in an electrical system. When an oscillation of this type occurs, the apparent impedance seen by a distance relay during this phenomenon acquires oscillatory character. During such an oscillation, this variation in impedance often causes it to migrate into the operating region of the relay in the R-X plane, causing undue actuations in line protection. In order to prevent undue relaying of the distance relay, the technique proposed in this work is based on the analysis of the behavior of the samples of the network voltage signals, arranged as pairs ordered in a cartesian plane together with the respective value of the first function- difference of said signal, so that the protection acts only for short-circuit conditions and remains inoperative in cases of power oscillation. In the study, such simulations were performed in a test system implemented in the software where different stable oscillation situations were simulated for different oscillation frequencies, as well as cases of three-phase short-circuits, both with different loads and different incidence oscillation. It is also emphasized that the technique implemented in Matlab acts correctly, blocking the relay for SPS situations.

Key-words: Detection, Distance Relay, Stable Power Swings, Distance Relay, Blocking Relay, Short-Circuits.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Tipos de Curtos-Circuitos.	26
Figura 2 – Características típicas da impedância aparente durante oscilações estáveis e instáveis de potência	27
Figura 3 – Posição da impedância vista pelo relé de distância durante curto-circuito	29
Figura 4 – Oscilações de Potência.	29
Figura 5 – Tipos mais comuns de relés de distância. (a) Relé de Impedância. (b) Relé de Admitância ou mho. (c) Relé de reatância. (d)quadrilateral . . .	31
Figura 6 – Diagrama R-X e impedância aparente da LT	31
Figura 7 – Relé de Admitância ou Mho	33
Figura 8 – Zonas de proteção do relé de admitância	35
Figura 9 – Distribuição dos pontos no plano $del1_V x V_A$. (a) Até momento da ocorrência da OEP. (b) Durante a OEP.	38
Figura 10 – Forma de Onda da tensão da fase A para distribuição da Figura 7. . .	38
Figura 11 – Atuação do detector de transitórios. (a) Distâncias no plano $del1V_A x V_A$. (b) Distâncias no plano $del1V_B x V_B$. (c) Distâncias no plano $del1V_C x V_C$. (d) Estado do detector de transitórios.	41
Figura 12 – Atuação do classificador de OEPs. (a) variação do módulo de $\bar{P}(n)$. (b) Variação do ângulo de $\bar{P}(n)$	42
Figura 13 – Fluxograma da metodologia proposta.	45
Figura 14 – Sistema teste.	47
Figura 15 – Distribuição dos pontos no plano $del1_v x V_A$. (a) Até momento da ocorrência da OEP. (b) Durante a OEP.	48
Figura 16 – Formas de ondas de tensão para o Caso 1.	49
Figura 17 – Atuação do detector de transitórios. (a) Distâncias no plano $del1V_A x V_A$. (b) Distâncias no plano $del1V_B x V_B$. (c) Distâncias no plano $del1V_C x V_C$. (d) Estado do detector de transitórios.	50
Figura 18 – Atuação do classificador de OEPs. (a) variação do módulo de $\bar{P}(n)$. (b) Variação do ângulo de $\bar{P}(n)$	51
Figura 19 – Detalhe da atuação do classificador de OEPs. (a) variação do módulo de $\bar{P}(n)$. (b) Variação do ângulo de $\bar{P}(n)$	51
Figura 20 – Impedância vista pelo relé de distância ($f_{osc.} = 7Hz$)	52
Figura 21 – Respostas do método durante a oscilação de potência $f_{osc.} = 7Hz$. . .	53
Figura 22 – (a) Distâncias no plano $del1I_A x I_A$. (b) Distâncias no plano $del1I_B x I_B$. (c) Distâncias no plano $del1I_C x I_C$	54
Figura 23 – (a) Estado do detector de Transitório. (b) Estado do detector de Curto-Circuito.	54

Figura 24 – Impedância vista pelo relé de distância ($f_{osc.} = 7Hz$ e curto-circuito 5% da linha.)	55
Figura 25 – Respostas do método durante a oscilação de potência $f_{osc.} = 7Hz$ e curto-circuito 5% da linha ($t = 2s$).	55
Figura 26 – Distribuição dos pontos no plano $del1_v \times V_A$. (a) Até momento da ocorrência da OEP. (b) Durante a OEP.	56
Figura 27 – Formas de ondas de tensão para o Caso 3.	57
Figura 28 – Atuação do detector de transitórios. (a) Distâncias no plano $del1V_A \times V_A$. (b) Distâncias no plano $del1V_B \times V_B$. (c) Distâncias no plano $del1V_C \times V_C$. (d) Estado do detector de transitórios.	58
Figura 29 – Atuação do classificador de OEPs. (a) variação do módulo de $\bar{P}(n)$. (b) Variação do ângulo de $\bar{P}(n)$	59
Figura 30 – Detalhe da atuação do classificador de OEPs. (a) variação do módulo de $\bar{P}(n)$. (b) Variação do ângulo de $\bar{P}(n)$	59
Figura 31 – Impedância vista pelo relé de distância ($f_{osc.} = 4Hz$)	60
Figura 32 – Respostas do método durante a oscilação de potência $f_{osc.} = 4Hz$	60
Figura 33 – (a) Distâncias no plano $del1I_A \times I_A$. (b) Distâncias no plano $del1I_B \times I_B$. (c) Distâncias no plano $del1I_C \times I_C$	61
Figura 34 – (a) Estado do detector de Transitório. (b) Estado do detector de Curto-Circuito.	61
Figura 35 – Impedância vista pelo relé de distância ($f_{osc.} = 4Hz$ e curto-circuito 50% da linha.)	62
Figura 36 – Respostas do método durante a oscilação de potência $f_{osc.} = 4Hz$ e curto-circuito 50% da linha ($t = 1.8s$).	62
Figura 37 – Distribuição dos pontos no plano $del1_v \times V_A$. (a) Até momento da ocorrência da OEP. (b) Durante a OEP.	63
Figura 38 – Formas de ondas de tensão para o Caso 5.	64
Figura 39 – Atuação do detector de transitórios. (a) Distâncias no plano $del1V_A \times V_A$. (b) Distâncias no plano $del1V_B \times V_B$. (c) Distâncias no plano $del1V_C \times V_C$. (d) Estado do detector de transitórios.	65
Figura 40 – Atuação do classificador de OEPs. (a) variação do módulo de $\bar{P}(n)$. (b) Variação do ângulo de $\bar{P}(n)$	66
Figura 41 – Detalhe da atuação do classificador de OEPs. (a) variação do módulo de $\bar{P}(n)$. (b) Variação do ângulo de $\bar{P}(n)$	66
Figura 42 – Impedância vista pelo relé de distância ($f_{osc.} = 1Hz$)	67
Figura 43 – Respostas do método durante a oscilação de potência $f_{osc.} = 1Hz$	67
Figura 44 – (a) Distâncias no plano $del1I_A \times I_A$. (b) Distâncias no plano $del1I_B \times I_B$. (c) Distâncias no plano $del1I_C \times I_C$	68

Figura 45 – (a) Estado do detector de Transitório. (b) Estado do detector de Curto-Circuito.	68
Figura 46 – Impedância vista pelo relé de distância ($f_{osc.} = 1Hz$ e curto-circuito à 80% da linha.)	69
Figura 47 – Respostas do método durante a oscilação de potência $f_{osc.} = 1Hz$ e curto-circuito à 80% da linha ($t = 1.6s$).	69

Lista de tabelas

Tabela 1 – Equações da Impedância Aparente $Z=V/I$	32
Tabela 2 – Resultados obtidos para frequência de oscilação 7 Hz.	52
Tabela 3 – Resultados obtidos para frequência de oscilação 4 Hz.	56
Tabela 4 – Resultados obtidos para frequência de oscilação 1 Hz.	63
Tabela 5 – Resultados Obtidos para 96 Amostras/ciclo; Carregamento 30	75
Tabela 6 – Resultados Obtidos para 96 Amostras/ciclo; Carregamento 60	76
Tabela 7 – Resultados Obtidos para 96 Amostras/ciclo; Carregamento 90	77
Tabela 8 – Resultados Obtidos para 64 Amostras/ciclo; Carregamento 30	78
Tabela 9 – Resultados Obtidos para 64 Amostras/ciclo; Carregamento 60	79
Tabela 10 – Resultados Obtidos para 64 Amostras/ciclo; Carregamento 90	80
Tabela 11 – Resultados Obtidos para 32 Amostras/ciclo; Carregamento 30	81
Tabela 12 – Resultados Obtidos para 32 Amostras/ciclo; Carregamento 60	82
Tabela 13 – Resultados Obtidos para 32 Amostras/ciclo; Carregamento 90	83

Sumário

1	Introdução	21
1.1	Considerações Gerais	21
1.2	Motivação	22
1.3	Objetivos	22
1.4	Revisão Bibliográfica	23
1.5	Estrutura de Trabalho	24
2	Fundamentação Teórica	25
2.1	Considerações Gerais	25
2.2	Curto-Circuito	25
2.2.1	Tipos de Curto-Circuitos	25
2.3	Oscilação de Potência	26
2.3.1	Oscilações Síncronas	28
2.3.2	Oscilações Assíncronas	28
2.3.3	Perturbações durante Oscilações de Potência	28
2.4	Relés de Distância	30
2.4.1	Tipos de relé de distância	30
2.4.2	Relé de Admitância ou Mho	32
2.4.3	Relé de Bloqueio	35
2.5	Considerações Finais	36
3	Proposta para Detecção da Oscilação Estável de Potência	37
3.1	Considerações Gerais	37
3.2	Classificação do Transitório	37
3.3	Detecção da OEP	40
3.4	Detecção do Curto-Circuito	43
3.5	Considerações Finais	44
4	Sistema teste e análise dos resultados	47
4.1	Considerações Gerais	47
4.2	Sistema teste	47
4.3	Resultados	48
4.3.1	Caso 1: Frequência de oscilação 7 Hz; Incidência de oscilação em 1s.	48
4.3.2	Caso 2: Frequência de Oscilação 7; Incidência de oscilação 1s; Curto-Circuito 5% da linha em 2s	53
4.3.3	Caso 3: Frequência de oscilação 4 Hz; Incidência de oscilação em 0.8s.	56
4.3.4	Caso 4: Frequência de oscilação 4 Hz; Incidência de oscilação em 0.8s. Curto-Circuito 50% da linha em 1.8s	61
4.3.5	Caso 5: Frequência de oscilação 1 Hz; Incidência de oscilação em 0.6s.	63

4.3.6	Caso 6: Frequência de oscilação 1 Hz; Incidência de oscilação em 0.6s. Curto-Circuito 80% da linha em 1.6s	68
4.4	Considerações Finais	70
5	Considerações Finais	71
5.1	Conclusões	71
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	72
	Referências	73
	ANEXO A Resultados para Diferentes Instantes de Oscilações Estáveis de Potência	75

1 Introdução

1.1 Considerações Gerais

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) é suscetível a diversos fenômenos e distúrbios capazes de originar perturbações na rede. Destacam-se também, dentre os principais problemas, os curto-circuitos nas linhas de transmissão. Com isso, um dispositivo de proteção tradicionalmente utilizado em linhas de transmissão, de modo a minimizar estes efeitos, é o relé de distância (HOROWITZ; PHADKE, 2008), os quais devem estar estrategicamente habilitados a operar corretamente para qualquer defeito.

Mudanças repentinas no carregamento de um sistema elétrico podem causar distúrbios no sistema, tais como a, desconexão de geradores que podem ser controlados a ponto do sistema alcançar um novo estado de operação aceitável (HOLBACH, 2006), onde, nesse período ocorrem oscilações no módulo e no ângulo da tensão e da corrente, fenômeno denominado oscilação de potência. Desse modo, surge a necessidade de combinar características de operação de relés de proteção, visando à rápida eliminação de faltas, além de garantir a seletividade na atuação desses dispositivos no que tange a operação indevida durante OEPs. Sendo assim, torna-se indispensável o uso de um relé de distância (função ANSI 21), o qual tem sua atuação determinada pela impedância vista pelo relé, combinado com uma lógica operacional que bloqueie sua operação durante uma OEP, função ANSI 68 (MORAIS et al., 2010), tendo em vista a constante ocorrência desse fenômeno em sistemas elétricos.

Uma nova técnica implementada de bloqueio para o relé de distância que aprimorou a metodologia proposta por Santos et al. (2012), sabendo-se que, quando ocorrem oscilações de potência surgem grandes correntes transitórias e pequenas tensões, registrando pequenas impedâncias transitórias que, caso a respectiva OEP não for detectada pelos relés de proteção, estes irão atuar indevidamente, ocasionando desligamentos desnecessários no sistema. Logo, para que o sistema obtenha novamente o equilíbrio após a desconexão de um gerador ou bloco de carga, os relés de distância não podem atuar durante as OEPs. Para análise dessas situações, elaborou-se um algoritmo composto por dois módulos, com o objetivo de classificar corretamente a ocorrência de OEP, a qual poderá ser utilizada como bloqueio de relé de distância. Tal técnica baseia-se na análise da distribuição dos pontos dados pelos pares ordenados das amostras de tensão e suas respectivas funções-diferença para a detecção do transitório, na qual dispara o processo de classificação de OEP (SANTOS et al., 2012). A partir do momento que uma variação brusca na característica dos sinais de tensão de uma das fases é detectada, o algoritmo verifica o módulo e ângulo dos fasores resultantes dos referidos pares ordenados em relação à origem do sistema

cartesiano, de modo a identificar a OEP, à partir daí o bloqueador de relé envia um sinal de bloqueio para a proteção de distância, de modo que atue somente para os casos de curto-circuito e permanença inoperante nos casos de OEPs.

1.2 Motivação

A motivação para esse trabalho originou-se no fato de que a interligação de sistemas elétricos de potência vem crescendo nos últimos anos. Entre os principais problemas causados por essa interligação, destacam-se as perturbações nas restrições operativas que ocorrem no Sistema Interligado Nacional (SIN), levando o sistema a um blecaute em 2009, onde oscilações de potência ocasionaram a interrupção de 40% das cargas do SIN.

Por outro lado, sistemas interligados são sistemas altamente robustos que contêm equipamentos de custos elevados e, através destes, conduzem grandes quantidades de energia elétrica até os centros de consumo. A principal consequência positiva da interligação do sistema elétrico é o aumento da confiabilidade do SEP, de modo a isolar um ponto em falta, diminuindo, para o menor trecho possível do sistema, o impacto causado por algum distúrbio na rede.

Dependendo da gravidade do distúrbio, que pode ser por desconexão de geradores, curtos-circuitos, entre outros, este pode se propagar pelo sistema interligado e levá-lo ao colapso. Uma maneira de minimizar os efeitos das oscilações de potência no sistema são os bloqueadores de relé de distância. No entanto, a maioria dessas técnicas pode não ser eficiente em todos os casos que houver oscilações de potência. Tais fatores motivaram o desenvolvimento desse trabalho.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo geral descrever informações a respeito das causas e consequências das oscilações estáveis de potência, bem como descrever metodologias utilizadas para detectar como objetivos específicos, citam-se:

- Simular casos de oscilação de potência em um sistema teste ;
- Propor uma metodologia para detecção e classificação das oscilações estáveis de potência, fazendo com que o bloqueio do relé de distância em linhas de transmissão atue;
- Propor uma nova técnica de desbloqueio do relé de distância para os casos em que houver curto-circuito no sistema;

- Analisar o desempenho da metodologia proposta processando os sinais resultantes das simulações.

1.4 Revisão Bibliográfica

Tradicionalmente, o princípio fundamental do relé de distância para proteção visa medir a impedância, admitância ou reatância entre o relé e o local falta e assim determinar se a falta é interna ou externa à zona de proteção (ZIEGLER, 1999), sabendo-se que o desempenho dessa proteção pode ser afetada por distúrbios no sistema, podendo resultar na operação indevida do relé de distância. Com isso, para que o relé não tome uma decisão equivocada quanto à operação, métodos computacionais foram desenvolvidos para a detecção de oscilações de potência para bloqueio da proteção de distância. A lógica operacional das técnicas de proteção contra oscilações de potência devem estar integrada à lógica operacional do relé de distância de linhas de transmissão.

Embora existam muitas metodologias relacionadas às técnicas de proteção de linhas de transmissão e oscilações de potência, todas possuem o mesmo objetivo, que é evitar a atuação indevida dos relés de distância. Dentre as técnicas propostas na literatura especializada, destacam-se as metodologias clássicas registradas em Phadke e Thorp (2009), Anderson e Anderson (1999), Ziegler (1999), Mooney e Fischer (2006), entre outros.

Nesse contexto, Moraes et al. (2010) fez uma análise do desempenho do Método das Características Concêntricas, proposto por Ziegler (1999), o qual utiliza duas regiões concêntricas às zonas de proteção do relé. Outro método proposto por Ziegler (1999) no qual analisa o mesmo critério é o do Duplo Blinder, definido por retas paralelas à impedância da linha de transmissão no plano R-X.

Outro algoritmo para proteção de linhas de transmissão considerada para efeitos das oscilações de potência foi proposto por Jonsson e Daalder (2001) e aprimorado por Bolzan et al. (2009), o qual fundamenta-se em blocos matemáticos lógicos para analisar a componente de sequência negativa e da primeira derivada do ângulo de corrente de sequência positiva. Por fim, a metodologia criada por Benmouyal, Hou e Tziouvaras (2004) detecta uma oscilação de potência baseando-se na magnitude da tensão no centro elétrico e sua taxa de variação.

Entre as técnicas avaliadas, embora os resultados apresentados sejam satisfatórios, todas apresentam problemas de atuação frente a algumas condições de carregamento e operação do sistema. Com isso, para o bloqueio do relé de distância, elaborou-se um algoritmo capaz de classificar corretamente a ocorrência de OEP e detectar curtos-circuitos durante oscilações.

1.5 Estrutura de Trabalho

O capítulo 2 apresenta o funcionamento básico dos relés de distância, relés de bloqueio e os tipos de oscilações de potência.

Já no capítulo 3, é apresentada a técnica para classificação de OEPs. também, é descrito um novo método para classificação de curto-circuito para que o desbloqueio do relé de distância atue corretamente e este possa eliminar o defeito no sistema.

O capítulo 4, encontram-se os resultados e discussões do casos analisados com o algoritmo proposto através das simulações, demonstrando por figuras o comportamento do relé de distância na ocorrência de OEP e curto-circuito no sistema.

Por fim, o capítulo 5, são apresentadas as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Considerações Gerais

Os relés de distância têm a função de proteger a linha de transmissão contra curtos-circuitos que possam ultrapassar as condições em uma determinada zona de proteção do sistema. No entanto, variações no fluxo de potência e distúrbios que ocorrem fora desta atuação do relé geram oscilações de potência, sensibilizando o uso deste dispositivo. O relé de distância deve atuar somente em casos de curtos-circuitos e manter-se bloqueado em casos de oscilações de potência, para que não ocorra o desligamento indesejável das linhas de transmissão por eles monitoradas.

O conceito que gera esse fenômeno faz com que a geração torne-se oscilatória trazendo um novo equilíbrio da carga, e a proteção de distância registra pequenas tensões transitórias e grandes correntes, resultando em pequenas impedâncias transitórias que, se não forem detectadas pelos relés de proteção, irão ocasionar desligamentos indevidos do sistema.

2.2 Curto-Circuito

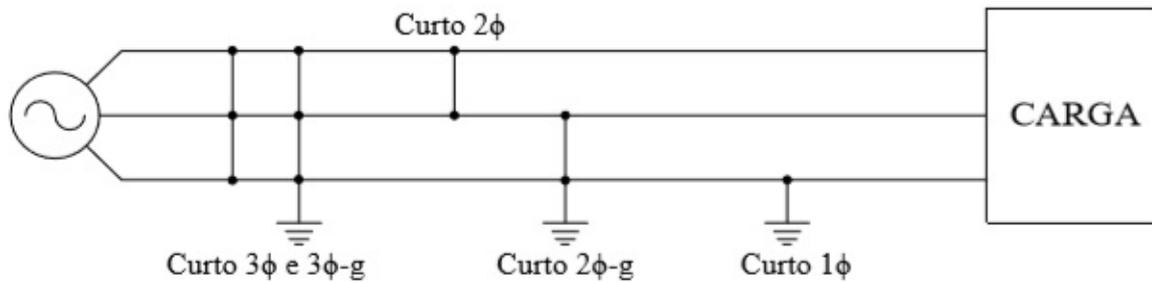
Curto-circuitos, que geralmente são chamadas de defeitos ou faltas é um contato entre condutores sobre potenciais diferentes, ou um contato entre apenas um condutor e o solo. Tal contato pode ser direto (metálico) ou indireto (através de arco voltaico). Esse evento ocorre de maneira aleatória nos sistemas de potência e, se não forem eliminados pelos dispositivos de proteção, suas consequências podem prejudicar severamente o sistema, provocando danos irreversíveis a seus componentes.

2.2.1 Tipos de Curto-Circuitos

- Curto circuito Trifásico (ou simétrico – 3ϕ ou $3\phi-g$) - Não provoca desequilíbrio no sistema e envolve as 3 fases. Admite-se que todos os condutores são solicitados igualmente, conduzindo o mesmo valor eficaz da corrente de curto. Por isso, é classificado como simétrico ou equilibrado. Seu cálculo pode ser calculado por fase, considerando apesar o circuito equivalente de sequência positiva, sendo indiferente se envolve ou não o condutor neutro ou terra;
- Curto Circuito Bifásico (2ϕ) - É curto assimétrico, isto é, desequilibrado, envolvendo duas fases do sistema. Seu cálculo é realizado com o uso de componentes simétricas;

- Curto Circuitos Bifásico Terra ($2\phi-g$) - Também é assimétrico, envolvendo contato de duas fases com a terra;
- Curto Circuito Monofásico (1ϕ) - Curto assimétrico, envolvendo uma das fases do sistema e a terra.

Figura 1 – Tipos de Curtos-Circuitos.



Fonte: Aatoria Própria.

Além disso, os curtos-circuitos podem ser classificados de acordo com sua duração, como:

Temporários: Desaparecem após a atuação da proteção, permitindo o restabelecimento imediato do sistema (exemplo: galho tocando um alimentador).

Permanentes: exigem a intervenção de equipes de manutenção antes que se possa religar o sistema (exemplo: rompimento e queda de uma linha de transmissão).

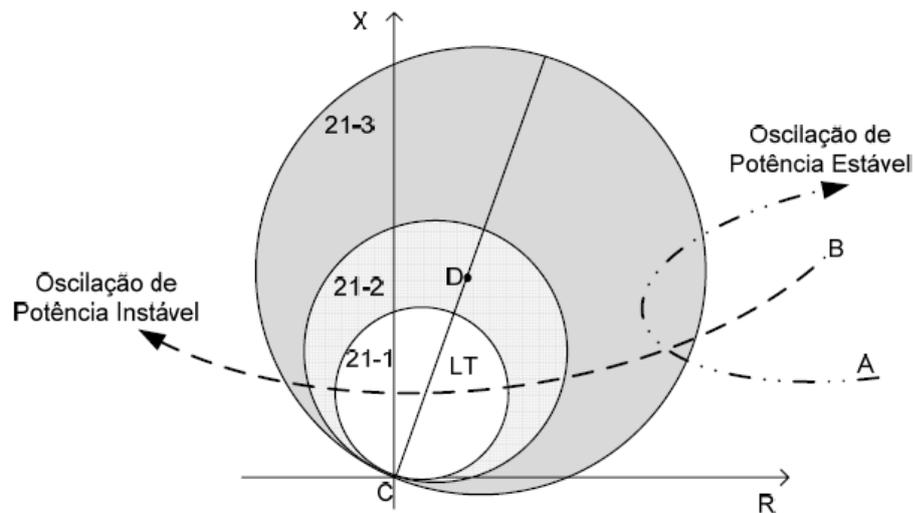
2.3 Oscilação de Potência

Perturbações no carregamento do sistema elétrico de potência que causam variações no fluxo de potência, tais como curtos-circuitos, conexões ou desconexão de geradores e linhas e desligamento de grandes blocos de cargas geram um desequilíbrio entre potência gerada e consumida, forçando os geradores a buscarem uma nova condição de operação (HOLBACH, 2006), fazendo com que nesse período ocorram oscilações no módulo e no ângulo da corrente e da tensão. Quando as linhas de transmissão são submetidas a tais condições, sofrem variações na potência ativa e reativa, determinando um fenômeno chamado oscilação de potência.

Oscilações de potência geram grandes correntes e pequenas tensões que resultam em impedâncias transitórias, fazendo com que o relé de distância atue indevidamente. De maneira a prevenir essas atuações inadequadas, são usadas lógicas operacionais de bloqueio, de modo que a proteção acione para as condições de curto-circuito e permaneça inoperante nos casos de detecção oscilações de potência.

Na oscilação de potência, a variação da impedância vista pelo relé pode invadir a zona de proteção de distância. Nesse instante, a proteção de bloqueio deve operar a fim de evitar a atuação indevida no relé de distância. A Figura 2 apresenta o comportamento da impedância vista pelo relé de distância (ANSI 21), ambas cruzando a região operacional de proteção, cuja função é realizar a distinção entre a oscilação de potência estável e instável e enviar o sinal para o bloqueio do relé de distância.

Figura 2 – Características típicas da impedância aparente durante oscilações estáveis e instáveis de potência



Fonte: MORAIS et. al (2010).

A Figura 2 ilustra que durante as oscilações estáveis (síncronas), as impedâncias aparentes vistas pelos relés de distância tendem a retornar ao lugar geométrico das cargas R-X, e, nesse caso, mantém-se bloqueado o relé 21 durante toda a oscilação. Mas, quando a oscilação de potência não resultar em um novo ponto de operação aceitável, a oscilação é do tipo instável (assíncronas), e devem ser detectadas pela proteção contra perda de sincronismo. As oscilações de potência tendem a cruzar com mais frequência a zona 3 do relé de distância em razão de possuir uma área operacional maior. Já na zona 1 o relé de distância é mais propensa a operar durante a OEP por ser de alta velocidade, e não fazer uso de temporizador.

Desse modo, torna-se indispensável em linhas de transmissão, bloqueadores de oscilação de potência (função ANSI 68), que garantam a classificação de OEP, pois assim, evita-se a atuação indevida do relé de distância, fazendo com que atue somente nas condições de curto-circuito. Como as oscilações de potência diferem-se de faltas, o detector de oscilação deve ser capaz de desbloquear o relé de distância no momento da falta de modo que elimine o defeito.

2.3.1 Oscilações Síncronas

Oscilações síncronas ou estáveis são variações que ocorrem após um distúrbio com comportamento oscilatório amortecido, ou seja, o sistema tende a volta a sua operação aceitável após um determinado período de tempo. Na ocorrência de OEP estável, o sistema deve agir adequadamente, evitando a operação indevida da proteção de distância.

É importante ressaltar que as oscilações estáveis são pequenas perturbações que causam grandes variações nos ângulos das máquinas ligadas ao sistema, sendo possível o retorno do sincronismo, com isso, deve-se evitar a abertura de qualquer elemento do sistema de potência desnecessariamente.

2.3.2 Oscilações Assíncronas

Oscilações assíncronas ou instáveis, diferentemente das oscilações síncronas, são oscilações não amortecidas ocorridas no período transitório. Após a ocorrência de uma perturbação, como por exemplo, a conexão ou desconexão de um grande volume de geração de energia, as máquinas ligadas ao sistema não conseguem voltar a condição inicial estabelecida por causa da perda de sincronismo.

Logo, o relé de distância também não irá operar. Essas oscilações devem ser detectadas pela proteção contra perda de sincronismo que realizará a separação do sistema em áreas pré-definidas.

2.3.3 Perturbações durante Oscilações de Potência

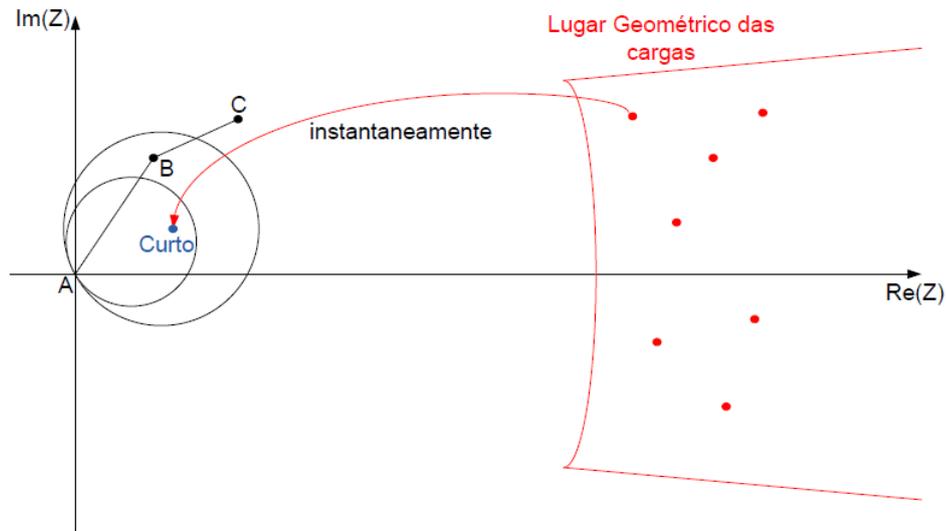
Os sistemas de proteção devem estar habilitados a atuar e controlar variações repentinas e perturbações que causam oscilações de potência que ocorrem no sistema. No caso de curtos-circuitos em oscilação de potência, estes devem ser detectados, e conseqüentemente, o relé de bloqueio deve desbloquear o relé de distância a fim de eliminar a falta, sendo que, quanto mais rápida for sua detecção, maior o limite de estabilidade transitória do sistema.

Para os casos de curto-circuito, assim como para a perda de unidade geradora, estes são considerados fortes perturbações. Já para pequenas perturbações, como as variações de carga que ocorrem diariamente, são ditas fracas, pois tendem a oscilar em volta do ponto de equilíbrio, ou seja, oscilações estáveis.

Na ocorrência de um curto-circuito, a impedância vista por um relé de distância muda instantaneamente de posição, indo do lugar geométrico das cargas para o interior de uma das regiões de operação do relé, conforme a Figura 3. Neste caso, a proteção deverá atuar de acordo com a temporização da zona onde se encontra o valor de impedância.

Na oscilação de potência, a variação da impedância vista pelos reles ocorre com

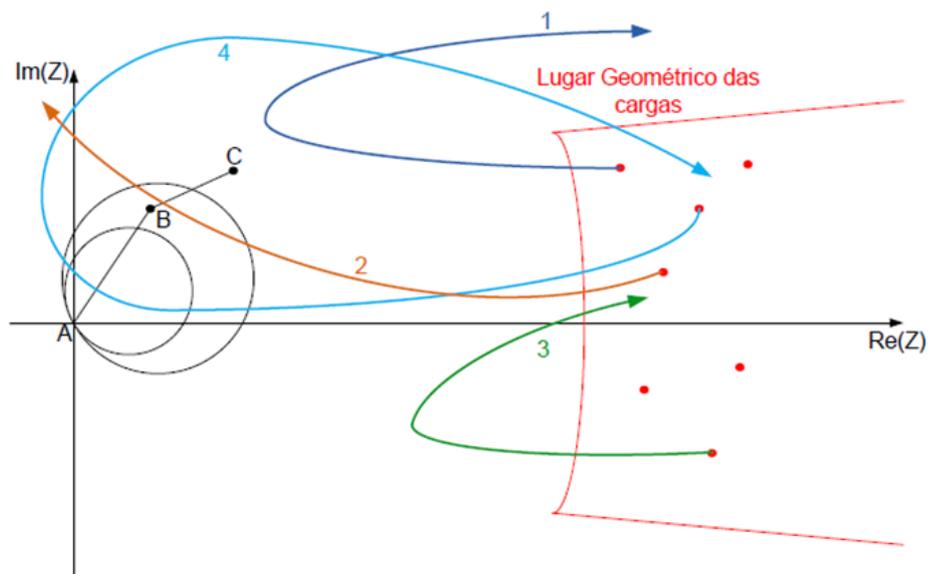
Figura 3 – Posição da impedância vista pelo relé de distância durante curto-circuito



Fonte: Autoria Própria.

certa velocidade (ohm/s), ou seja, a variação da impedância não é instantânea como no curto-circuito. Esta é a diferença fundamental entre oscilação de potência e curto-circuito. A variação da impedância durante uma oscilação depende da configuração do sistema e pode ocorrer numa taxa de 300 a 700 ohms/s, por exemplo. A Figura 4 mostra o comportamento de algumas oscilações de potência.

Figura 4 – Oscilações de Potência.



Fonte: Autoria Própria.

Analisando a Figura 4, pode-se concluir que:

- A oscilação 1 foi vista pelo relé 21, mas não houve perigo de atuação, pois a impedância não invadiu nenhuma das regiões de operação do relé;
- A oscilação 2 entrou na 2ª zona de operação do relé, que poderá atuar de acordo com a sua temporização, dependendo do tempo no qual a impedância permanece dentro da zona (o relé irá operar caso a oscilação seja muito lenta e tenha um tempo maior do que a temporização da 2ª zona);
- A oscilação 3 se assemelha ao ocorrido na oscilação 1;
- Para a oscilação 4, ocorrerá atuação indevida da proteção de distância, uma vez que a impedância vista pelo relé entra na região de operação da 1ª zona (instantânea). Para evitar esta atuação indevida, deve-se utilizar um relé de bloqueio (68), o qual é capaz de detectar oscilações de potência.

De modo a prevenir atuações indevidas do relé de distância, torna-se indispensável o uso de métodos que diferenciem a ocorrência de uma falta durante uma oscilação de potência, considerando todos os tipos de oscilações (rápidas e lentas), e as oscilações de potência seguidas de curtos-circuitos.

2.4 Relés de Distância

Os relés de distância, ANSI 21, são amplamente utilizados a promover a proteção efetiva para as linhas de transmissão, pois suas características operam quando a impedância da linha for menor do que o ajuste do relé. Usualmente, esses dispositivos são polarizados a partir de comparador e varias combinações de sinais de correntes e tensões da rede do sistema.

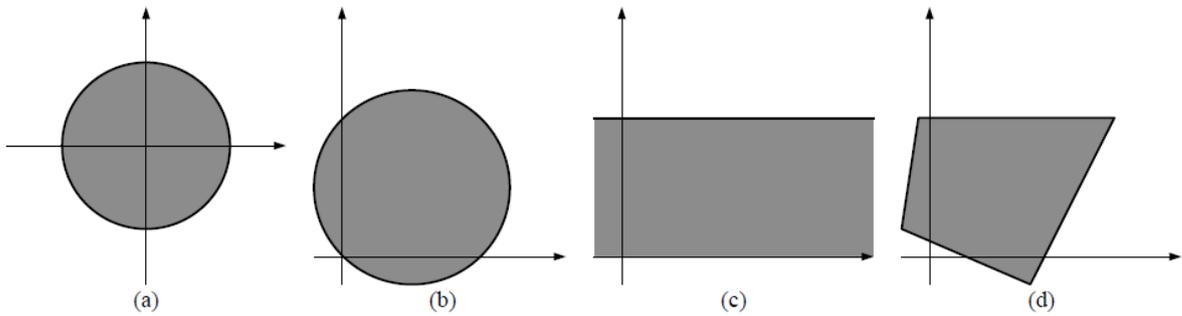
2.4.1 Tipos de relé de distância

Os quatro tipos mais comuns de relés de distância, utilizadas segundo o padrão ANSI21 são: Relé de Impedância, relé de admitância ou relé MHO, relé de reatância e relé quadrilateral. A Figura 5 apresenta suas formas e características.

As funções desses relés avaliam a impedância aparente desde sua posição até o ponto da falta. Devido a vários tipos de faltas no sistema num circuito trifásico, os relés de distância devem estar acessíveis para responder às tensões e correntes relacionadas a seis diferentes circuitos de falta (AN, BN, CN, AB, BC e CA).

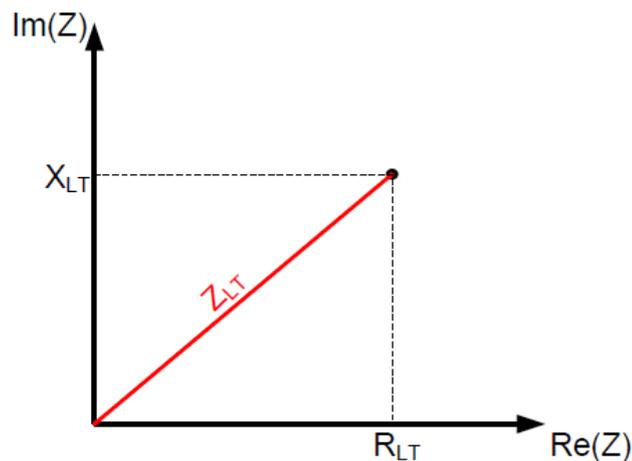
A Figura 6 apresenta o Diagrama R-X, onde a impedância aparente da linha de transmissão Z_{LT} possui uma parte real (resistência aparente) e uma parte imaginária (reatância aparente) colocada em um plano complexo.

Figura 5 – Tipos mais comuns de relés de distância. (a) Relé de Impedância. (b) Relé de Admitância ou mho. (c) Relé de reatância. (d) quadrilateral



Fonte: Autoria Própria.

Figura 6 – Diagrama R-X e impedância aparente da LT



Fonte: Autoria Própria.

Para verificar se essa impedância localiza-se nas regiões de operação e não operação de um relé de distância é extremamente útil o uso desse diagrama, pois o plano R-X para diversos tipos de relé possuem regiões de operação bem definidas. Quando a impedância aparente vista pelo relé estiver no interior de sua região de operação pré-definida, este irá atuar enviando um sinal de abertura do disjuntor.

Na prática, relés digitais e numéricos calculam a impedância aparente segundo as Equações 2.1 e 2.2 , as quais representam, respectivamente, os loops de falta fase-terra e fase-fase

$$Z = \frac{V_A}{I_A + K_0 * I_R} \quad (2.1)$$

$$Z = \frac{V_A - V_B}{I_A - I_B} \quad (2.2)$$

Em 2.1 e 2.2, os valores de impedância estão referenciados aos enrolamentos primários do TC e do TP. Para se obter os valores secundários de impedância vista pelo relé, basta multiplicar as referidas equações pela razão RTC/RTP.

Ressalta-se que a Equação 2.1 refere-se ao cálculo da impedância aparente vista pelo relé para uma falta monofásica da fase A do sistema. Para faltas monofásicas nas outras fases, basta substituir V_A e I_A pelos valores de tensão e corrente correspondentes à fase em falta. Além disso, em 2.1, K_0 corresponde ao fator de compensação do sinal de corrente em função da corrente residual I_R . As variáveis K_0 e I_R podem ser obtidas a partir das Equações 2.3 e 2.4. Em 2.3, Z_{0L} e Z_{1L} representam, respectivamente, as impedâncias de sequência zero e de sequência positiva da LT protegida.

$$Z = \frac{Z_{0L} - Z_{1L}}{3 \cdot Z_{1L}} \quad (2.3)$$

$$I_R = 3 \cdot I_0 = I_A + I_B + I_C \quad (2.4)$$

Ainda, destaca-se que, em 2.2, o valor de impedância obtido refere-se a faltas entre as fases A e B. Para obtenção da impedância vista para faltas envolvendo as fases (B e C) e (C e A), os valores de tensão e corrente devem ser devidamente substituídos na Equação 2.2. Por fim, para faltas trifásicas, basta o valor de impedância calculado a partir de 2.2. A Tabela 1 resume os loops de falta possíveis para os relés 21.

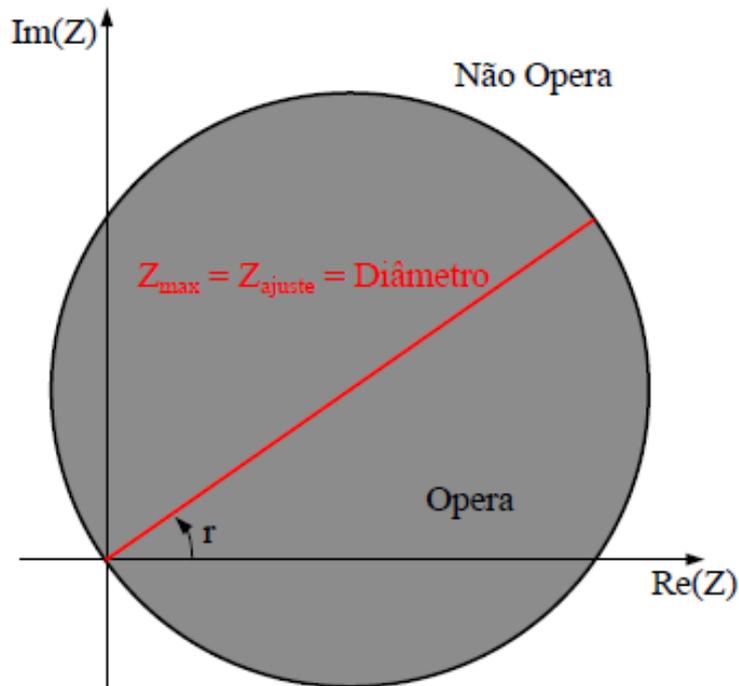
Tabela 1 – Equações da Impedância Aparente $Z=V/I$

Loop de Falta	Equações
AN	$\frac{V_A}{I_A + K_0 \cdot I_R}$
BN	$\frac{V_B}{I_B + K_0 \cdot I_R}$
CN	$\frac{V_C}{I_C + K_0 \cdot I_R}$
AB	$\frac{V_A - V_B}{I_A - I_B}$
BC	$\frac{V_B - V_C}{I_B - I_C}$
CA	$\frac{V_C - V_A}{I_C - I_A}$

2.4.2 Relé de Admitância ou Mho

A característica Mho é bastante popular porque pode ser implementada a partir de um único comparador, que apresentam um alcance bem definido e pode ser ajustado

Figura 7 – Relé de Admitância ou Mho



Fonte: Autoria Própria.

para melhorar a tolerância com relação à resistência de falta sem sofrer erros sérios de sobrealcance ao carregamento.

Na Figura 7, r é o ângulo de máximo torque do relé. Este ângulo é importante para o ajuste das zonas de proteção.

Como no relé de impedância, a 1ª zona de proteção deve ser ajustada para cobrir 80 a 90% da LT a jusante do relé. Entretanto, o ajuste deve ser corrigido, pois o ângulo de máximo torque do relé (r) não coincide com o ângulo da linha de transmissão a ser protegida. O ajuste da primeira zona é dado pela Equação 2.5.

$$Z_{ajuste1} = \frac{|Z_{80\%LT-AB}|}{\cos(\theta_{AB} - r)} \quad (2.5)$$

Na primeira zona, o relé deve atuar instantaneamente. Logo a Temporização da zona 1 será:

$$T_1 \cong 0 \quad (2.6)$$

o ajuste da segunda zona deve cobrir 100% da linha AB mais 50 a 60% da linha BC. O ajuste dessa zona é feito de forma semelhante ao ajuste da primeira zona e é dado

pela Equação 2.7.

$$Z_{ajuste2} = \frac{|Z_{protegido2}|}{\cos(\theta_2 - r)} \quad (2.7)$$

Onde $Z_{protegido2}$ e θ_2 , são definidos conforme a Equação 2.8.

$$Z_{protegido2} = Z_{AB} + k \cdot Z_{BC} = |Z_{protegido2}| \angle \theta_2 \quad (2.8)$$

Na Equação 2.8 , k representa a porcentagem da linha BC a ser protegida pela segunda zona (50 a 60% da LT), onde a temporização da segunda zona é dada por:

$$T_2 = T_1 + \Delta t = 0 + \Delta t = \Delta t \quad (2.9)$$

A terceira zona de proteção do relé deve cobrir 100% da linha AB mais 100% da linha BC e mais 20 a 30% da linha seguinte. através da Equação 2.10, pode-se obter o ajuste para esta zona de proteção.

$$Z_{ajuste3} = \frac{|Z_{protegido3}|}{\cos(\theta_3 - r)} \quad (2.10)$$

Onde $Z_{protegido3}$ e θ_3 , são definidos conforme a Equação 2.11, onde k representa a porcentagem da linha CD a ser protegida (20% e 30%).

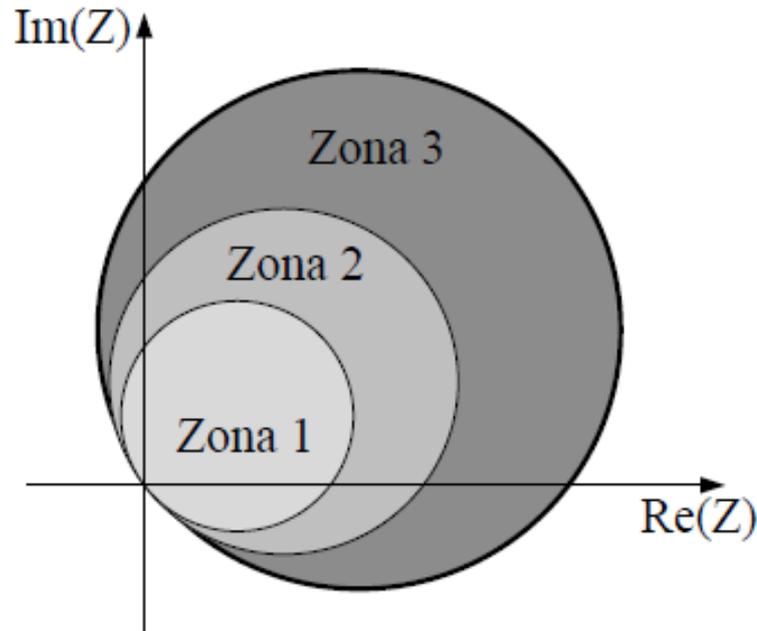
$$Z_{protegido3} = Z_{AB} + Z_{BC} + k \cdot Z_{CD} = |Z_{protegido3}| \angle \theta_3 \quad (2.11)$$

A temporização da terceira zona é dada por:

$$T_3 = T_2 + \Delta t = 2\Delta t \quad (2.12)$$

Por fim, a Figura 8 ilustra as três zonas de um relé de admitância. Note que a Zona 2 engloba a Zona 1. Assim, caso a impedância entre na Zona 1 e o respectivo relé falhe, o dispositivo da Zona 2 deverá atuar após transcorrido T_2 . Analogamente, a Zona 3 engloba as Zonas 1 e 2. Ainda, vale ressaltar que as Zonas 2 e 3 atuarão caso a impedância vista pelo dispositivo da proteção permaneça um intervalo de tempo equivalente, T_2 e T_3 . A Zona 1 atua instantaneamente, caso a impedância aparente cruze sua fronteira.

Figura 8 – Zonas de proteção do relé de admitância



Fonte: Autoria Própria.

2.4.3 Relé de Bloqueio

De maneira a prevenir atuações indevidas no sistema elétrico, os relés de bloqueio (função ANSI 68) são dispositivos utilizados em conjunto com o relé de distância (função ANSI 21), de modo que bloqueá-lo em situações de oscilações de potência e permitir sua atuação somente nos casos de curto-circuito. Quando uma oscilação é detectada no sistema, o relé impede a chegada do sinal enviado pelo relé de distância até a bobina de abertura do disjuntor, fazendo com que as condições de oscilação de potência sejam classificadas.

Para evitar atuações indevidas, deve-se garantir um tempo suficiente para bloquear a função de distância em uma oscilação de potência. Utiliza-se então, um temporizador para operação lógica de bloqueio contra oscilação de potência em função dos alcances das unidades de medida e da velocidade de detecção de oscilação, onde essa velocidade é obtida através de estudos de estabilidade transitória da rede. É importante ressaltar que a prática de utilização dos bloqueadores de oscilações de potência vem crescendo, à medida que muitos fabricantes de relés micro-processados programam tal função nos relés de distância, em virtude do aumento da interligação dos sistemas elétricos, tornando-as cada vez mais suscetíveis à oscilações externas.

2.5 Considerações Finais

Este capítulo apresenta uma breve revisão sobre relés de distância e sua função para a proteção contra defeitos no sistema. Também, foram apresentados conceitos sobre curtos-circuitos e oscilações de potência, bem como os possíveis efeitos sobre relés de distância utilizados em linhas de transmissão. Com base dita nesse Capítulo, a fim minimizar esses distúrbios, foi elaborada uma técnica de proteção para detectar as OEPs, a qual é apresentada no Capítulo seguinte.

3 Proposta para Detecção da Oscilação Estável de Potência

3.1 Considerações Gerais

Este capítulo apresenta a metodologia proposta para a detecção de OEPs em Sistema Elétricos de Potência. As etapas de detecção e classificação fazem uso da análise da distribuição dos pontos dados pelos pares ordenados das amostras de tensão e suas respectivas funções-diferença (SANTOS et al., 2012). Basicamente, a técnica requer um detector de transitório, o qual determina a ocorrência de um evento com base na mudança da distância euclidiana entre os pontos consecutivos no plano del_1xV . Quando o transitório é detectado, o classificador de OEP é ativado, que atua de acordo com as variações do módulo e ângulo dos fasores \overline{P} , dados pelos números complexos formados pelas coordenadas del_1 e V . O método também é capaz detectar curtos-circuitos trifásicos ocorridos durante oscilação, analisando as amostras dos sinais de corrente para as três fases do sistema, fazendo com que o relé de distância atue e elimine o defeito do sistema.

As etapas que compõem o algoritmo para a detecção e classificação das OEPs são descritas nas seções seguintes.

3.2 Classificação do Transitório

Conforme descrito em Santos et al. (2012), a detecção do transitório é feita a partir da análise das distâncias euclidianas entre pontos consecutivos do plano formado pelas amostras do sinal em foco e os respectivos valores da primeira função-diferença deste sinal. Para os sinais de tensão da rede trifásica, as primeiras funções-diferença para os sinais das fases A, B e C são dadas, respectivamente, pelas Equações 3.1 a 3.3.

$$del1_{V_A}(n) = V_A(n) - V_A(n - 1) \quad (3.1)$$

$$del1_{V_B}(n) = V_B(n) - V_B(n - 1) \quad (3.2)$$

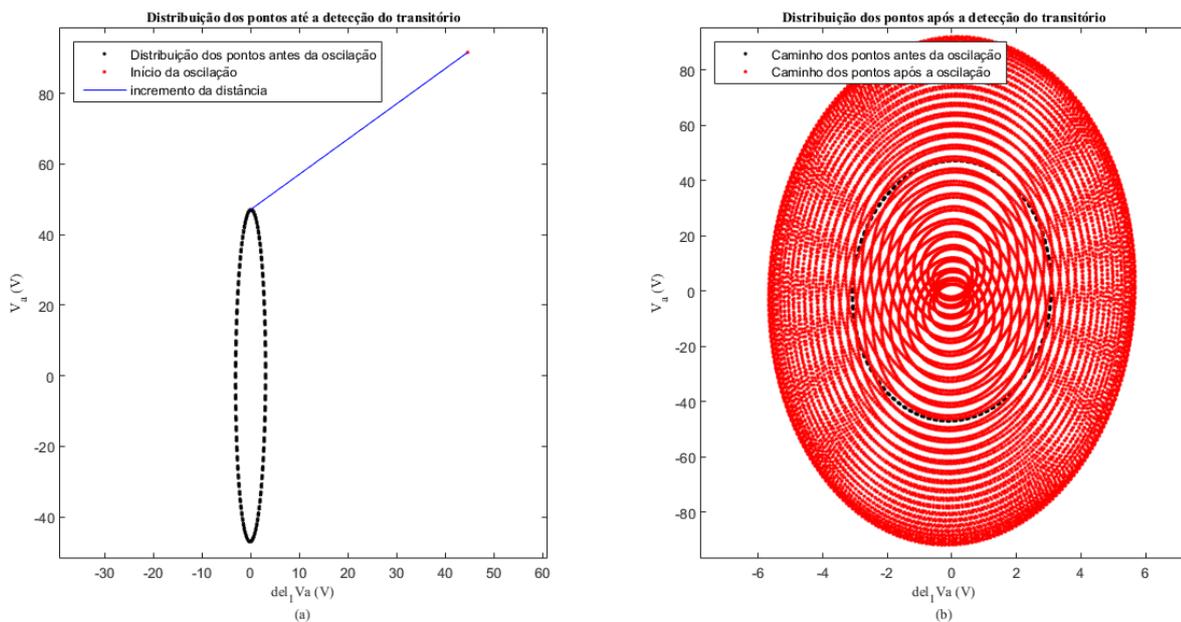
$$del1_{V_C}(n) = V_C(n) - V_C(n - 1) \quad (3.3)$$

As amostras reais dos sinais de tensão à qual os valores são associados pelas Equações 3.1 a 3.3 para as fases A, B e C do sistema. Conseqüentemente, ao representar os valores amostrados de tensão e suas respectivas funções-diferença como pares ordenados

num plano cartesiano dos eixos del_1xV , os pontos serão distribuídos em uma trajetória bem estabelecida ao redor da origem do sistema.

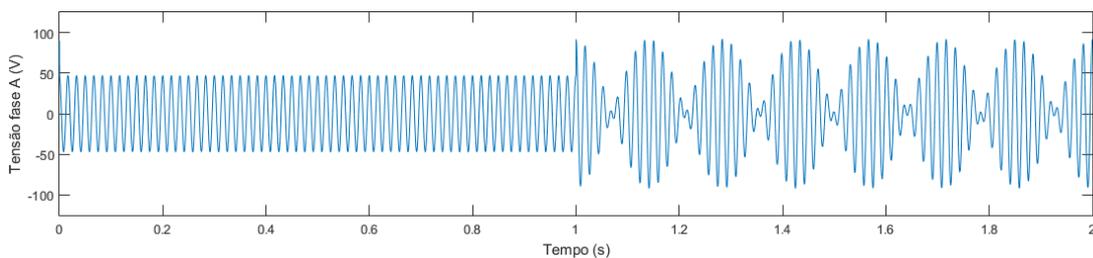
A distância euclidiana entre dois pontos no referido plano é pequena durante a operação normal do sistema. Porém, quando o transitório ocorre, o respectivo ponto é repentinamente deslocado da trajetória original, ocorrendo um aumento considerável na distância entre esses dois pontos. Na Figura 9(a), pode ser observada a distribuição dos pontos no plano del_1xV durante a operação normal do sistema até o momento da ocorrência de uma oscilação estável de potência. A Figura 9(b) apresenta os pontos durante a oscilação estável de potência, na qual os pontos aparecem distribuídos aleatoriamente. Como consequência, a Figura 10 apresenta as variações de amplitudes ocorridas do sinal de tensão da fase A, para uma frequência de oscilação -7hz.

Figura 9 – Distribuição dos pontos no plano del_1VxV_A . (a) Até momento da ocorrência da OEP. (b) Durante a OEP.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 10 – Forma de Onda da tensão da fase A para distribuição da Figura 7.



Fonte: Autoria Própria.

Considerando que um súbito incremento das distâncias entre dois pontos nos planos del_1xV determina a ocorrência do transitório na rede, este pode ser facilmente detectado pelo teorema de Pitágoras com base na análise dos sinais de distância para cada fase do sistema. As Equações 3.4 a 3.6 concedem as distâncias euclidianas entre dois pontos consecutivos nos planos $del1_{V_A} x V_A$, $del1_{V_B} x V_B$, $del1_{V_C} x V_C$, respectivamente.

$$dist1_{V_A}(n) = \sqrt{[del1_{V_A}(n) - del1_{V_A}(n-1)]^2 + [V_A(n) - V_A(n-1)]^2} \quad (3.4)$$

$$dist1_{V_B}(n) = \sqrt{[del1_{V_B}(n) - del1_{V_B}(n-1)]^2 + [V_B(n) - V_B(n-1)]^2} \quad (3.5)$$

$$dist1_{V_C}(n) = \sqrt{[del1_{V_C}(n) - del1_{V_C}(n-1)]^2 + [V_C(n) - V_C(n-1)]^2} \quad (3.6)$$

O valor limítrofe pode ser obtido e atualizado com base na estatística do histórico das respectivas distâncias, pois sempre que o valor da distância calculado para a amostra n for maior do que um valor limítrofe, caracteriza-se a ocorrência de um transitório. Os valores limítrofes para as distâncias associadas a cada fase do sistema podem ser calculadas através das Equações 3.7 a 3.9.

$$Th_{transitórioA} = \mu[Jan_{V_A}(n)] + 1, 2.\sigma[Jan_{V_A}] \quad (3.7)$$

$$Th_{transitórioB} = \mu[Jan_{V_B}(n)] + 1, 2.\sigma[Jan_{V_B}] \quad (3.8)$$

$$Th_{transitórioC} = \mu[Jan_{V_C}(n)] + 1, 2.\sigma[Jan_{V_C}] \quad (3.9)$$

Nas Equações (3.7 a 3.9), μ e σ representam respectivamente, a média e o desvio padrão para um conjunto de uma janela contendo N valores de distâncias para uma das respectivas fases do sistema. N representa o número de amostras por ciclo dado pela frequência de amostragem (para $f_{amostragem} = 5760Hz$, $N = 96$ amostras por ciclo). Já a janela de dados da fase A é dada pela Equação 3.10. Para as demais fases, a janela de dados é obtidas de forma semelhante ao exposto em (3.10).

$$jan_{V_A}(n) = [dist1_{V_A}(n-95), dist1_{V_A}(n-94), dist1_{V_A}(n-93)..., dist1_{V_A}(n)] \quad (3.10)$$

À medida que surge uma nova amostra de tensão da fase A, são calculados o respectivo valor da primeira função-diferença do referido sinal e o valor de distância entre os pontos $(del_1V_A(n), V_A(n))$ e $(del_1V_A(n-1), V_A(n-1))$ proporcional a $del_1V_A(n)$. Para

a amostra $(n+1)$, a janela de dados será atualizada desprezando o primeiro elemento da janela anterior e movendo-se os termos restantes para a esquerda. Para o novo valor de distância $(n+1)$ será direcionado na última posição da janela (extremidade direita), conforme a Equação (3.11).

$$jan_{V_A}(n+1) = [dist1_{V_A}(n-94), dist1_{V_A}(n-93), dist1_{V_A}(n-92), \dots, dist1_{V_A}(n+1)] \quad (3.11)$$

Para as fases B e C a atualização das janelas se dá mesma forma análoga à descrição feita para fase A. A cada nova janela, são calculados os respectivos valores limítrofes e serão feitas as comparações com os valores de distância correspondentes por fase. Dessa maneira, a detecção do transitório ocorre sempre que uma das condições descritas nas Equações 3.12 a 3.14 for satisfeita.

$$dist1_{V_A}(n) > Th_{transitório_A}(n) \quad (3.12)$$

$$dist1_{V_B}(n) > Th_{transitório_B}(n) \quad (3.13)$$

$$dist1_{V_C}(n) > Th_{transitório_C}(n) \quad (3.14)$$

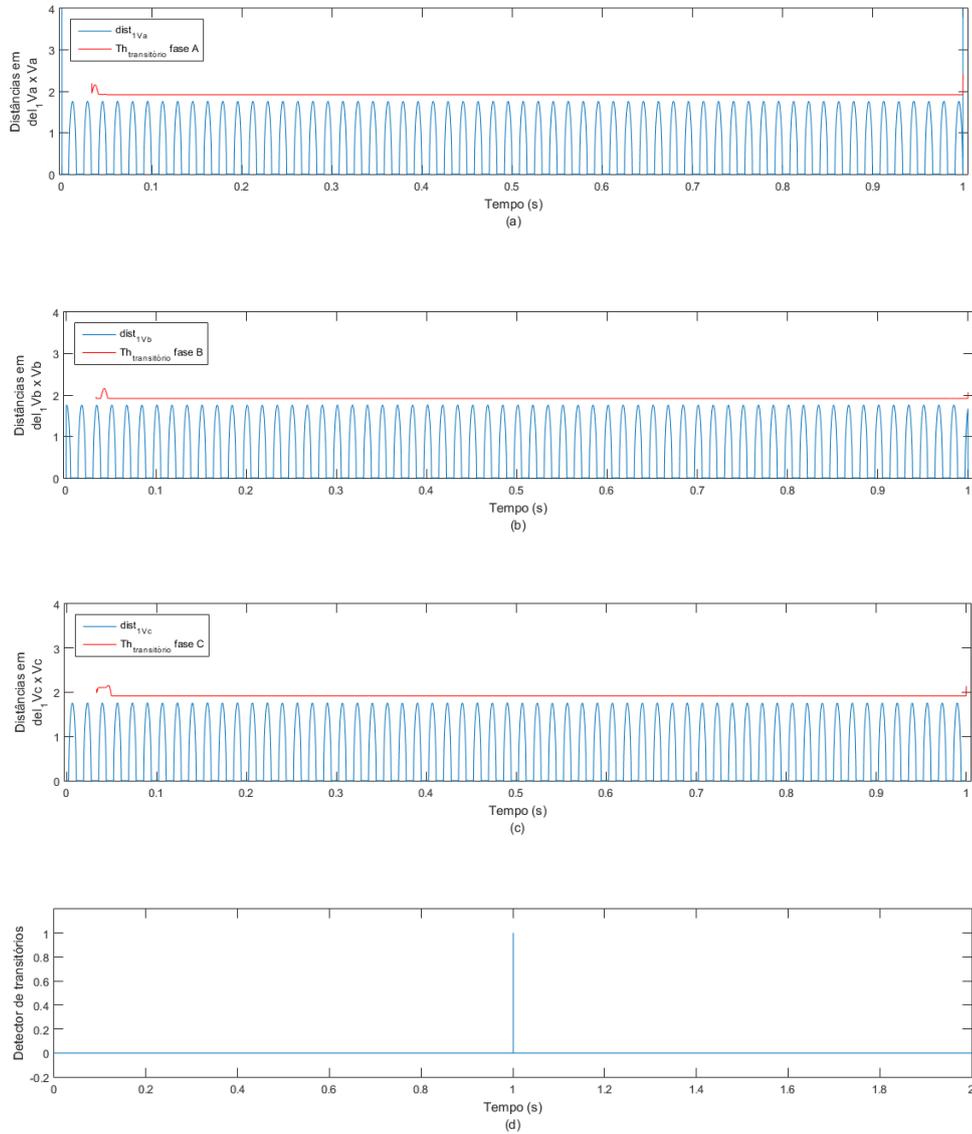
Quando uma das condições acima é satisfeita, o estado do detector muda de zero para um, identificando um transitório. A partir daí inicia-se a fase de classificação de OEP. A Figura 11 demonstra o funcionamento desse detector.

3.3 Detecção da OEP

Após a detecção do transitório no sistema, a metodologia interrompe o cálculo das distâncias euclidianas e passa a analisar o módulo e o ângulo dos fasores na Equação 3.15, de modo a identificar uma OEP. Para analisar esse procedimento, os dados adquiridos a partir do sinal de uma das fases são satisfatórios para essa classificação. Desse modo, utilizaram-se os fasores $\bar{P}(n)$.

$$\bar{P}(n) = del1_{V_A}(n) + j.V_A(n) \quad (3.15)$$

Figura 11 – Atuação do detector de transitórios. (a) Distâncias no plano $del1V_A \times V_A$. (b) Distâncias no plano $del1V_B \times V_B$. (c) Distâncias no plano $del1V_C \times V_C$. (d) Estado do detector de transitórios.



Fonte: Autoria Própria.

Destaca-se que para o módulo e o ângulo de $\bar{P}(n)$ devem ser calculados durante todo o processo de detecção de um transitório e também durante a classificação da OEP, a partir das Equações 3.16 e 3.17. Isso se torna fundamental porque os valores de $|\bar{P}(n)|$ e $\theta(n)$ calculados, os quais são comparados com os valores limítrofes para estes parâmetros obtidos durante a fase detecção do transitório.

$$|\bar{P}(n)| = \sqrt{del1V_A(n)^2 + V_A(n)^2} \quad (3.16)$$

$$\theta(n) = \tan^{-1} \frac{V_A(n)}{del1V_A(n)} \quad (3.17)$$

Os valores limítrofes para o módulo e ângulo são dados, respectivamente, pelas Equações 3.18 e 3.19 antes da ocorrência da detecção do transitório.

$$Th_1 = \max[|\bar{P}(n)|] \quad (3.18)$$

$$Th_2 = \max[\theta(n)] \quad (3.19)$$

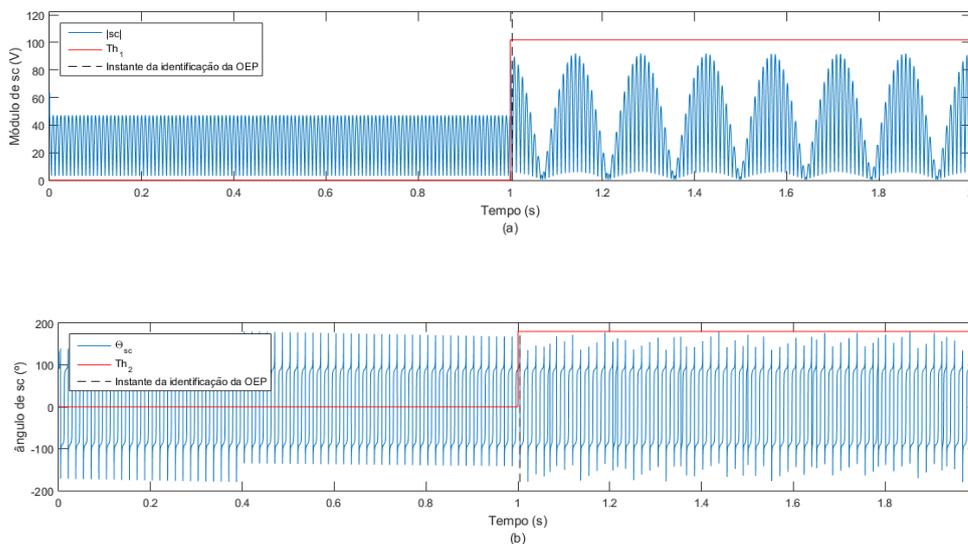
Simulações constataam que os valores apresentados de $|\bar{P}(n)|$ e $\theta(n)$ são menores que Th_1 e Th_2 por mais que um quarto do ciclo do sinal de tensão. Com isso, afirma-se que a oscilação estável de potência fica determinada quando as condições descritas pelas condições descritas nas Equações 3.20 e 3.21 forem satisfeitas durante um quarto do ciclo após a detecção do transitório no sistema.

$$|\bar{P}(n)| < Th_1 \quad (3.20)$$

$$\theta(n) < Th_2 \quad (3.21)$$

A Figura 12 apresenta o comportamento do classificador de OEP para as oscilações da Figura 9. Nota-se que a identificação da oscilação estável de potência ocorre no instante 1.0043 s, isto é, aproximadamente 4,2 ms (1/4 de ciclo) após a detecção do transitório.

Figura 12 – Atuação do classificador de OEPs. (a) variação do módulo de $\bar{P}(n)$. (b) Variação do ângulo de $\bar{P}(n)$.



Fonte: Autoria Própria.

3.4 Detecção do Curto-Circuito

Após a detecção do transitório, uma nova técnica é aplicada para o desbloqueio do relé de distância, a qual detecta o curto-circuito, verificando as distâncias euclidianas entre pontos consecutivos do plano formado pelas amostras dos sinais da corrente das três fases e os respectivos valores da primeira função-diferença. As primeiras funções-diferença do sinal da corrente para as fases A, B e C são dadas pelas Equações 3.22 a 3.24.

$$del1_{IA}(n) = I_A(n) - I_A(n - 1) \quad (3.22)$$

$$del1_{IB}(n) = I_B(n) - I_B(n - 1) \quad (3.23)$$

$$del1_{IC}(n) = I_C(n) - I_C(n - 1) \quad (3.24)$$

A distância entre pontos consecutivos nos planos del_1xI é calculada assim como para detectar transitório, conforme as Equações 3.25 a 3.27.

$$dist1_{IA}(n) = \sqrt{[del1_{IA}(n) - del1_{IA}(n - 1)]^2 + [I_A(n) - I_A(n - 1)]^2} \quad (3.25)$$

$$dist1_{IB}(n) = \sqrt{[del1_{IB}(n) - del1_{IB}(n - 1)]^2 + [I_B(n) - I_B(n - 1)]^2} \quad (3.26)$$

$$dist1_{IC}(n) = \sqrt{[del1_{IC}(n) - del1_{IC}(n - 1)]^2 + [I_C(n) - I_C(n - 1)]^2} \quad (3.27)$$

O comportamento da corrente durante uma falta apresenta caráter exponencial crescente bem definido. Desse modo, os valores limítrofes que caracterizam a incidência de curtos-circuitos na rede e as respectivas janela de dados da fase A são estimados pelas Equações 3.28 a 3.31. Os cálculos desses parâmetros para as demais fases do sistema são feitos de forma análoga, utilizando dados da respectiva fase.

$$Th_{CC_A} = \mu[Jan_{IA}(n)] + 4.\sigma[Jan_{IA}] \quad (3.28)$$

$$Th_{CC_B} = \mu[Jan_{IB}(n)] + 4.\sigma[Jan_{IB}] \quad (3.29)$$

$$Th_{CC_C} = \mu[Jan_{IC}(n)] + 4.\sigma[Jan_{IC}] \quad (3.30)$$

$$jan_{IA}(n) = [dist1_{IA}(n - 95), dist1_{IA}(n - 94), dist1_{IA}(n - 93), \dots, dist1_{IA}(n)] \quad (3.31)$$

Com isso, para a definição da detecção do curto-circuito ocorre sempre que uma das condições descritas nas Equações 3.32 a 3.34 forem satisfeitas.

$$dist1_{I_A}(n) > Th_{CC_A}(n) \quad (3.32)$$

$$dist1_{I_B}(n) > Th_{CC_B}(n) \quad (3.33)$$

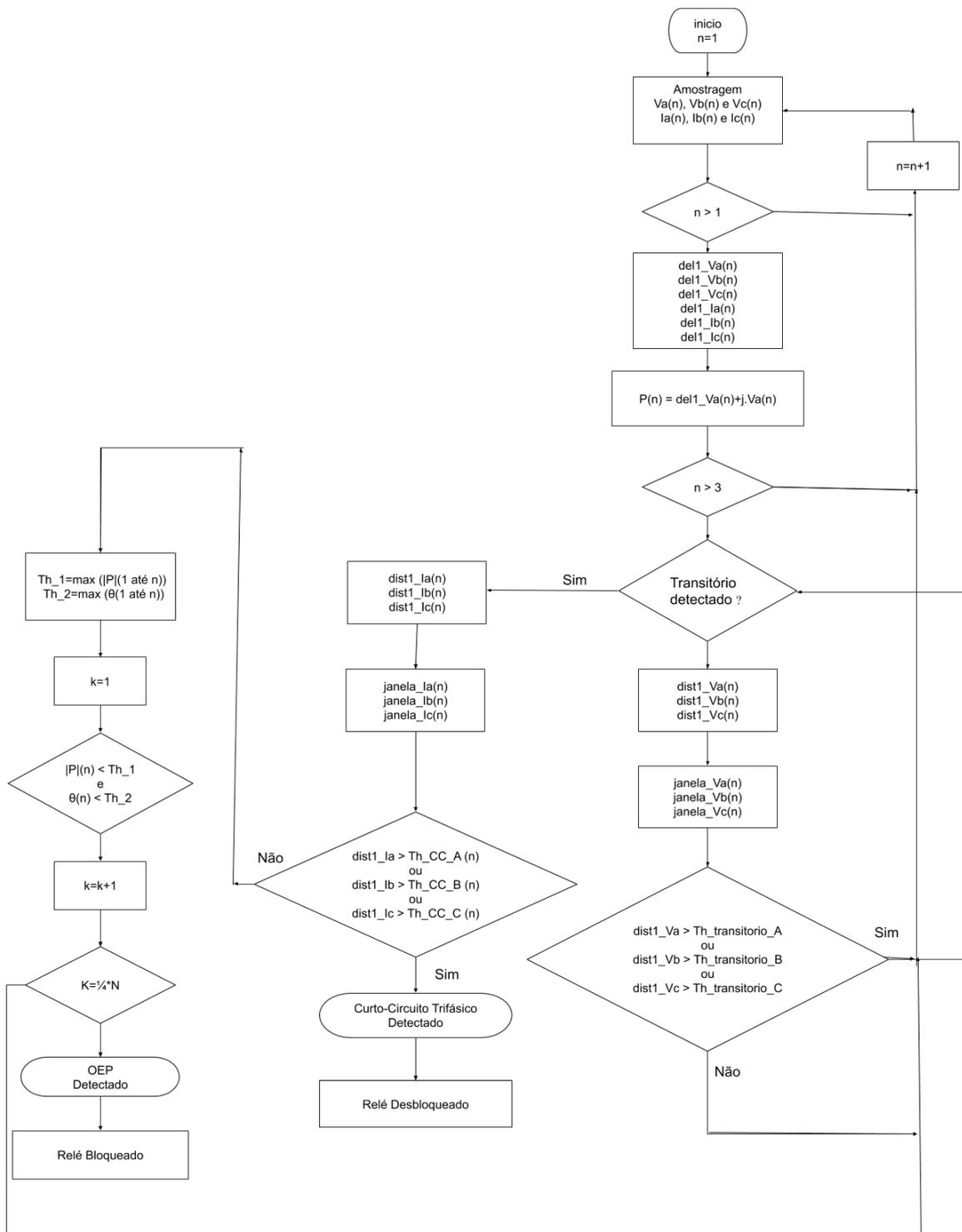
$$dist1_{I_C}(n) > Th_{CC_B}(n) \quad (3.34)$$

Por fim, no momento que a metodologia identificar curto-circuito, é enviado um sinal para desbloqueio do relé de distância, sendo que o sinal de bloqueio muda seu estado de um para zero, fazendo com o referido relé atue para eliminar o defeito do sistema.

3.5 Considerações Finais

Esse capítulo apresenta a técnica para a detecção de OEPs, bem como a forma de detecção dos curtos-circuitos, permitindo que o relé de distância seja bloqueado durante uma OEP, e que este possa atuar numa situação de curto-circuito. Além disso, destaca-se que foram testados curtos-circuitos à 5%, 50% e 80% da linha durante a oscilação de potência, onde, em todas essas falta testadas, a técnica proposta atuou corretamente em todos os casos analisados. As respostas obtidas e os resultados alcançados são mostrados no Capítulo seguinte. Por fim, a Figura 13 apresenta um fluxograma da metodologia descrita para a classificação de oscilação de potência e curto-circuito.

Figura 13 – Fluxograma da metodologia proposta.



Fonte: Autoria Própria.

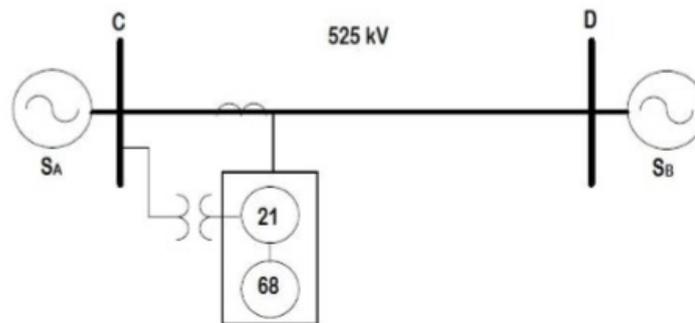
4 Sistema teste e análise dos resultados

4.1 Considerações Gerais

Este Capítulo apresenta um exemplo de atuação indevida do relé de distância, obtido num sistema teste, o qual foi utilizado para obtenção dos sinais de tensão e corrente simulados no EMTP-ATP. A técnica proposta foi testada para os diferentes casos simulados. Os diversos critérios que compõe o algoritmo são utilizados nos testes e os resultados obtidos demonstraram que a metodologia proposta é robusta e precisa, detectando corretamente todos os casos de oscilação estável de potência bem como é capaz de detectar faltas durante OEPs, habilitando a atuação da proteção.

4.2 Sistema teste

Figura 14 – Sistema teste.



Fonte: MORAIS et. al (2010).

Os sinais analisados foram obtidos e simulados no programa EMTP-ATP para obtenção dos sinais de tensão processados pelo algoritmo proposto, para o sistema teste da Figura 14. Cada barra terminal da linha de transmissão é conectada a um gerador. Ambos geradores possuem impedância de sequência-zero (Z_{s0}) e impedância de sequência-positiva (Z_{s1}) de $3 + j33 \Omega$ e $1 + j11\Omega$, respectivamente. Além disso, o valor efetivo das fontes é de 525 kV. A impedância da linha de transmissão tem impedância de sequência-zero $Z_{s0} = 33 + j330 \Omega$ e impedância de sequência-positiva de $Z_{s1} = 11 + j110 \Omega$. Para simular os casos de OEP, manteve-se constante a frequência do gerador conectado na barra B, a qual foi fixada com valor nominal de 60 Hz. Já para o gerador da barra A, a frequência mantida constante até o momento da incidência da OEP, a partir do qual em um tempo, seu valor era somado com um valor pré-definido para a frequência de oscilação do sistema. Foram simulados diferentes casos com valores de frequência de oscilação e instantes de

incidência da OEP, assim como casos de curto-circuito na linhas durante oscilações de potência. Para os resultados dessas simulações, criou-se um banco de sinais de tensão e corrente, o qual serviu como base para comprovação da técnica proposta.

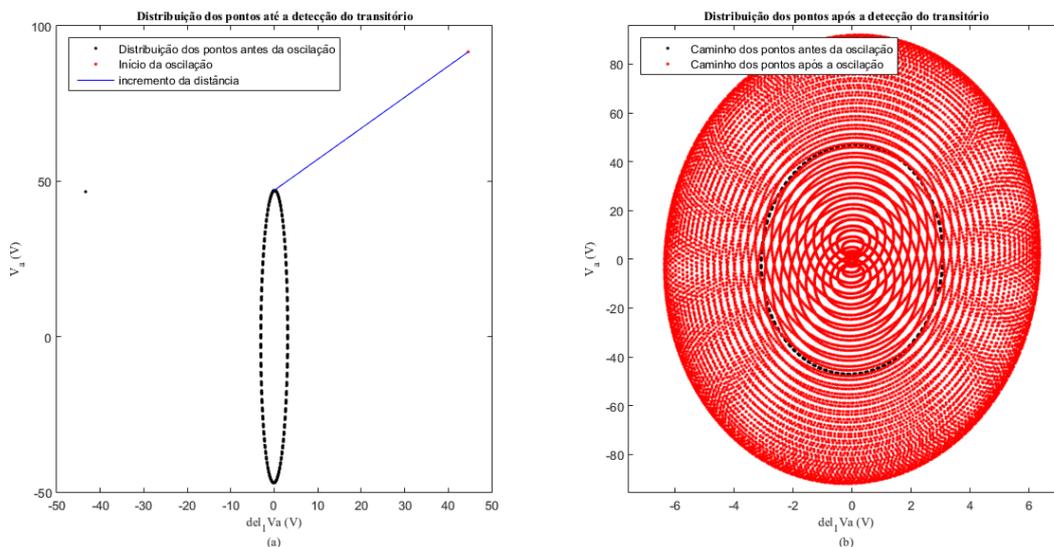
4.3 Resultados

Os sinais foram obtidos a partir da simulação do sistema teste foram processados amostragem de 96 amostras/ciclos. Destaca-se que para as oscilações de potência foram simuladas frequências de oscilações, respectivamente, 1, 4 e 7 Hz. Isto foi feito na intenção de verificar o desempenho da técnica proposta frente a ocorrência de OEP em diferentes situações das formas de onda dos sinais de tensão, visto que essa consequência provoca diferentes distorções nas formas de onda dos respectivos sinais. Além disso, verificamos a metodologia para curtos-circuitos trifásicos durante oscilações de potência à 5%, 50% e 80% da linha.

4.3.1 Caso 1: Frequência de oscilação 7 Hz; Incidência de oscilação em 1s.

Para esse caso, o transitório foi detectado em 1.0001 s e a OEP foi classificada em 1.0043 s. Ressalta-se que o tempo demandado para a classificação da OEP (1/4 de ciclo) é bem menor do que é demandado pelas metodologias clássicas que monitoram as variações da impedância da rede. Para a Figura 15, em (a) a distribuição dos pontos $del_1 \times V_A$ até o momento da incidência da OEP. Já em (b) apresenta a distribuição dos pontos durante a ocorrência de oscilação.

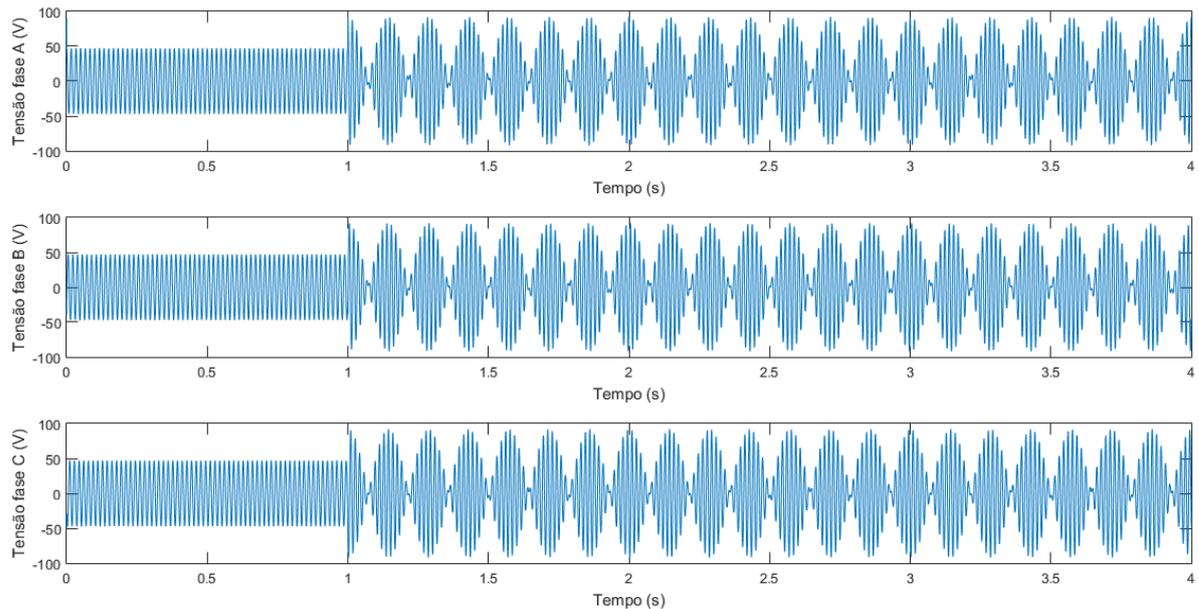
Figura 15 – Distribuição dos pontos no plano $del_1 \times V_A$. (a) Até momento da ocorrência da OEP. (b) Durante a OEP.



Fonte: Autoria Própria.

Nas Figura 16, são apresentadas as formas da onda de tensão de cada uma das fases do sistema. Nota-se que a partir do momento em que a oscilação de potência se inicia, o caráter periódico do sinal em regime permanente muda, apresentando amplitude oscilatória.

Figura 16 – Formas de ondas de tensão para o Caso 1.



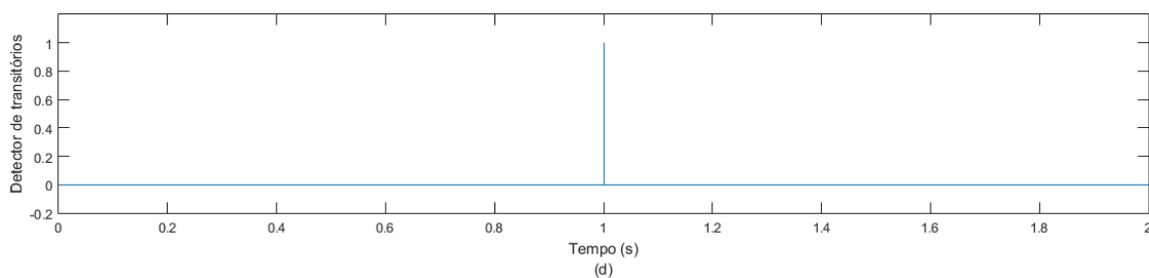
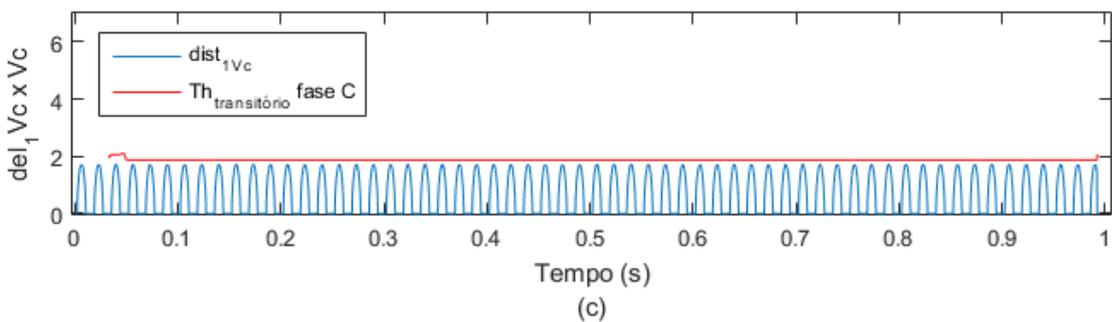
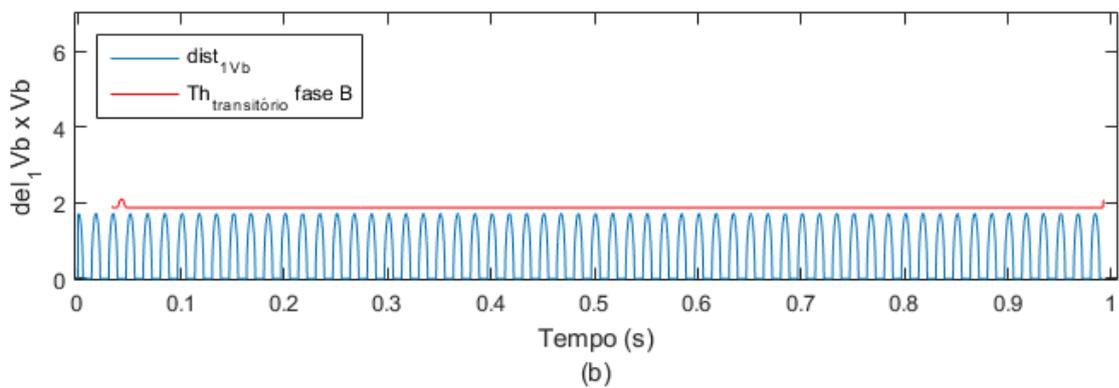
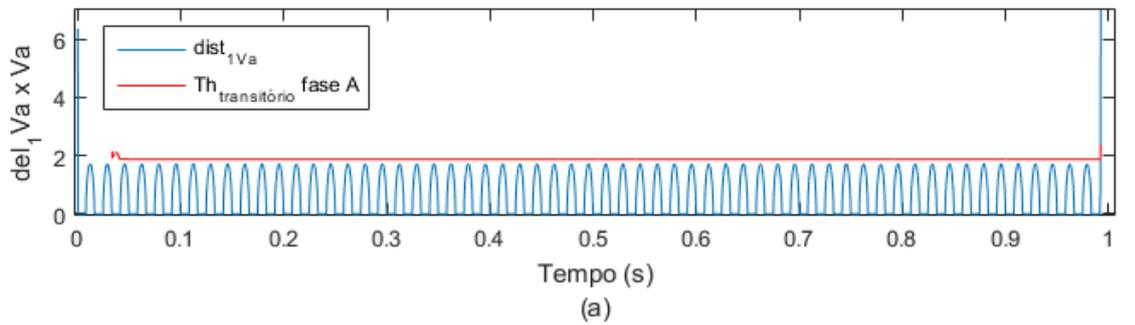
Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 17, nota-se que para a fase A, as distâncias $del_1 \times V_A$ satisfazem as condições da Equação 3.14, caracterizando a detecção do transitório. Assim, o estado de detecção muda de zero para um e inicia-se a classificação da OEP.

Com isso, as Figuras 18 e 19 apresentam a fase de classificação da OEP, com o comportamento do módulo e do ângulo dos fasores $\bar{P}(n)$. Nesse caso, esses apresentam os valores limítrofes obtidos pelas em Equações 3.18 e 3.19, por mais de 1/4 do ciclo do sinal de tensão, caracterizando OEP a qual é classificada no instante 1.0043s, quando as condições apresentadas pelas Equações 3.20 e 3.21 são satisfeitas, ou seja, 4,2 ms, após a detecção do transitório.

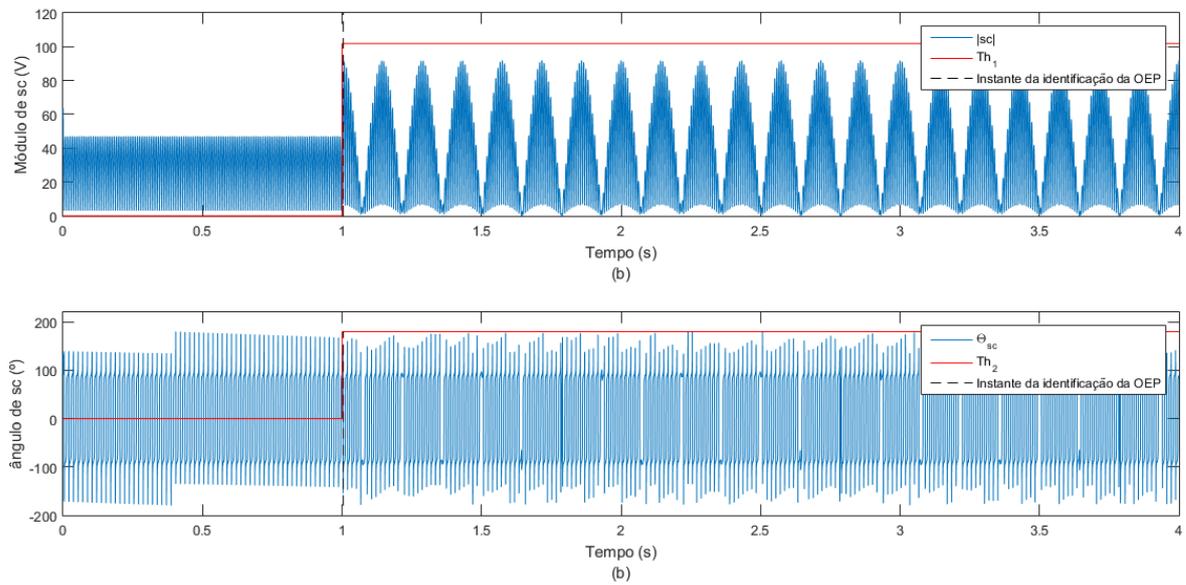
Com isso, as Figuras 18 e 19 apresentam a fase de classificação da OEP, com o comportamento do módulo e do ângulo dos fasores $\bar{P}(n)$. Nesse caso, esses apresentam os valores limítrofes obtidos pelas em Equações 3.18 e 3.19, por mais de 1/4 do ciclo do sinal de tensão, caracterizando OEP a qual é classificada no instante 1.0043s, quando as condições apresentadas pelas Equações 3.20 e 3.21 são satisfeitas, ou seja, 4,2 ms, após a detecção do transitório.

Figura 17 – Atuação do detector de transitórios. (a) Distâncias no plano $del1V_A \times V_A$. (b) Distâncias no plano $del1V_B \times V_B$. (c) Distâncias no plano $del1V_C \times V_C$. (d) Estado do detector de transitórios.



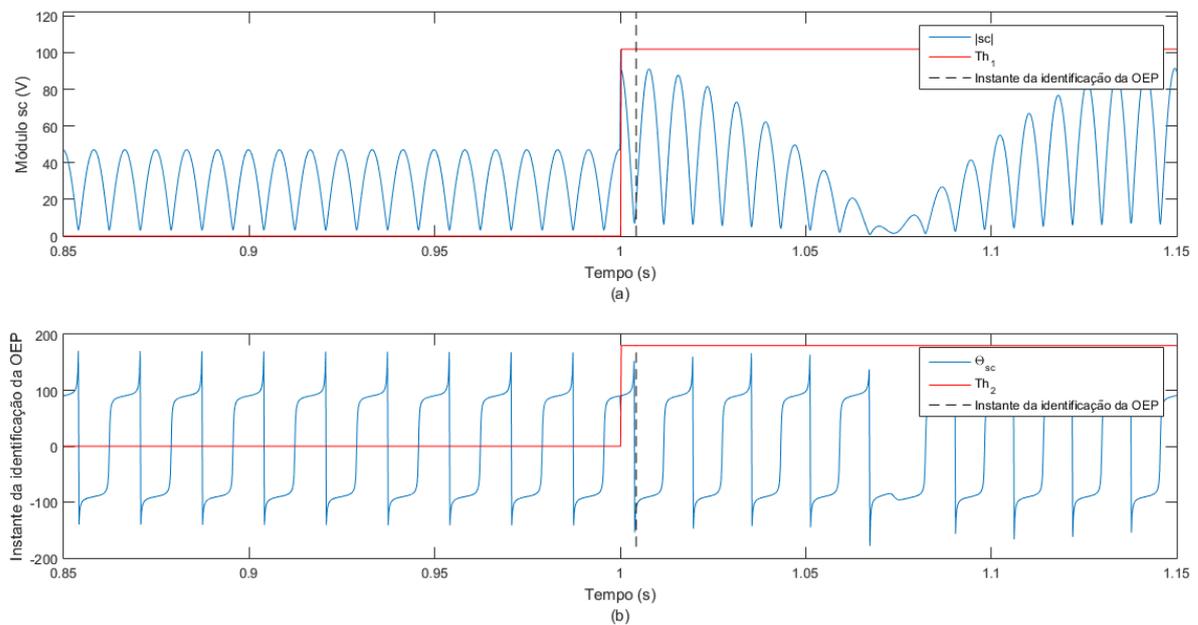
Fonte: Autoria Própria.

Figura 18 – Atuação do classificador de OEPs. (a) variação do módulo de $\bar{P}(n)$. (b) Variação do ângulo de $\bar{P}(n)$.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 19 – Detalhe da atuação do classificador de OEPs. (a) variação do módulo de $\bar{P}(n)$. (b) Variação do ângulo de $\bar{P}(n)$.



Fonte: Autoria Própria.

A Tabela 2 apresenta a mesma amostragem e frequência do caso anterior, variando apenas os instantes da incidência de oscilação, mostrando que os mesmos são condizentes

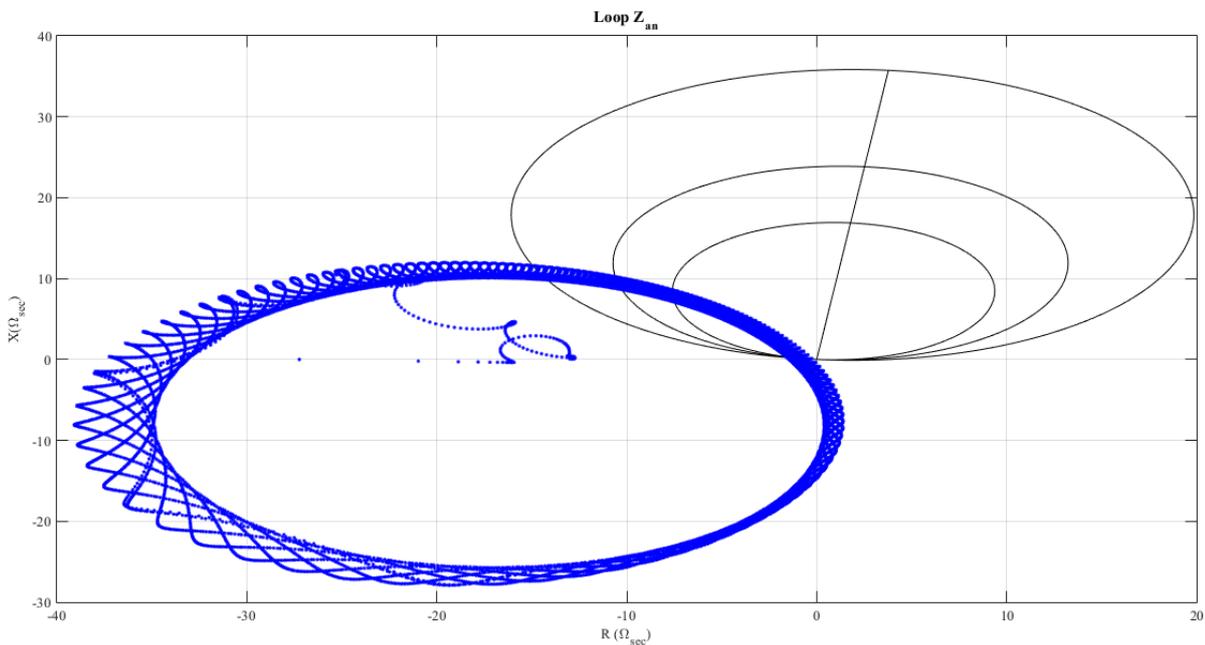
com a metodologia aplicada. A OEP foi classificada corretamente, em todos os casos, 1/4 de ciclo após a detecção do transitório.

Tabela 2 – Resultados obtidos para frequência de oscilação 7 Hz.

Incidência de oscilação [s]	Deteção de Transitório [s]	Classificação de oscilação estável [s]
0.9992	0.99212	0.99629
0.9995	0.99508	0.99924
0.9998	0.99803	1.0022
1.0002	1.002	1.0062
1.0005	1.0051	1.0093
1.0008	1.0081	1.0123

A Figura 20 mostra o comportamento da impedância no início da oscilação de potência para esse caso $f_{osc.} = 7Hz$ e $t = 1s$, onde o valor da impedância entra na primeira zona do Loop AN.

Figura 20 – Impedância vista pelo relé de distância ($f_{osc.} = 7Hz$)

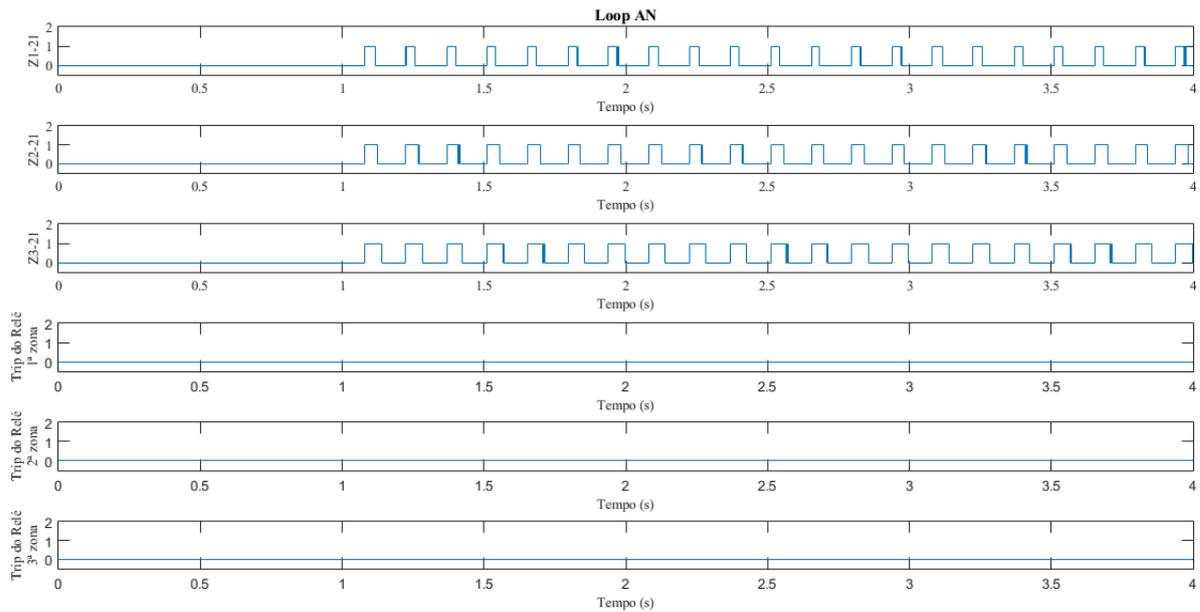


Fonte: Autoria Própria.

O comportamento da impedância aparente durante uma oscilação de potência depende da $f_{osc.}$, isto é, quanto maiores são essas frequências, a impedância aparente se desloca mais rápido, fazendo com que o relé de distância atue em tempos inferiores.

Na Figura 21 são mostrados a impedância no interior das zonas operacionais do relé (Z1-21, Z2-21 e Z3-21) e o sinal de operação enviado pelo relé de distância, que apresenta, em função do tempo, o bloqueio do relé de distância para oscilações com $f_{osc.} = 7Hz$, onde o trip do relé não ocorre durante OEP.

Figura 21 – Respostas do método durante a oscilação de potência $f_{osc.} = 7Hz$



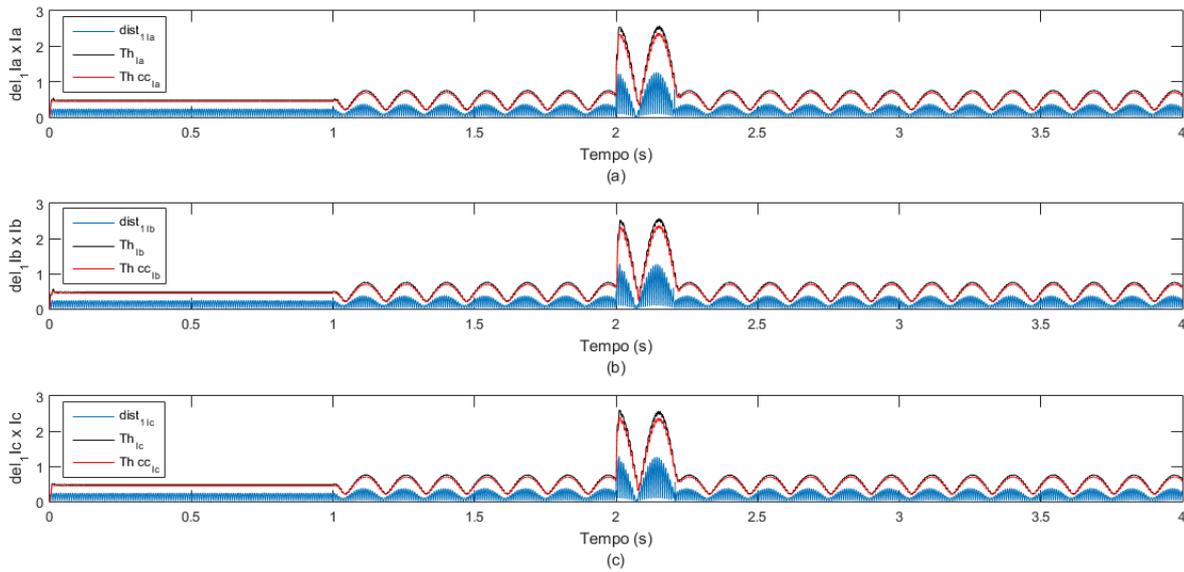
Fonte: Autoria Própria.

4.3.2 Caso 2: Frequência de Oscilação 7; Incidência de oscilação 1s; Curto-Circuito 5% da linha em 2s

Esse caso avalia a técnica para faltas trifásicas ocorridas durante as oscilações de potência. A Figura 22 apresenta as distâncias no plano $del_{v \times I}$ para as fases A, B e C do sistema, para um curto-circuito trifásico 5% da linha de transmissão ($t = 2s$) durante uma OEP.

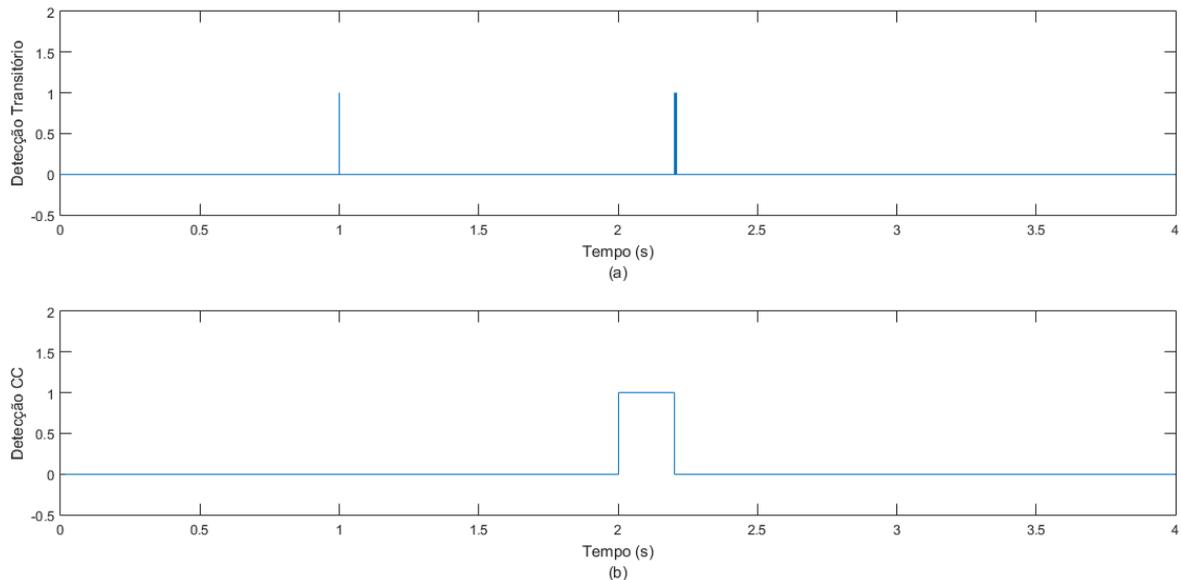
Já a Figura 23 apresenta em (a) o detector de transitório, sabendo que se seu estado mudar de 0 para 1 irá iniciar a classificação da OEP. Já em (b) são mostrados os valores limítrofes satisfazem as condições das Equações 3.32 a 3.34, o detector do CC muda seu estado de 0 para 1, caracterizando falta trifásica no sistema.

Figura 22 – (a) Distâncias no plano $del1I_A \times I_A$. (b) Distâncias no plano $del1I_B \times I_B$. (c) Distâncias no plano $del1I_C \times I_C$.



Fonte: Autoria Própria.

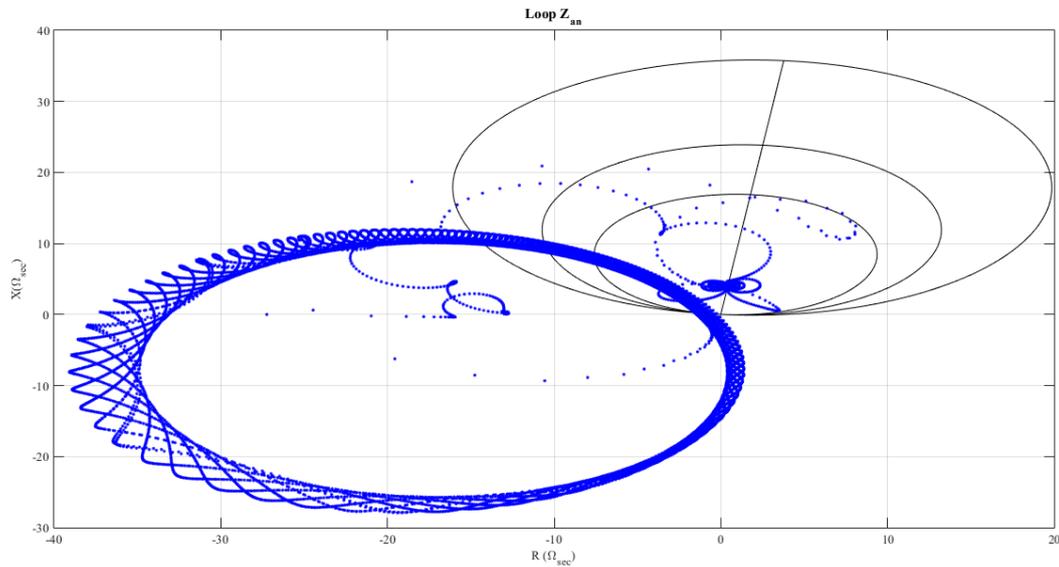
Figura 23 – (a) Estado do detector de Transitório. (b) Estado do detector de Curto-Circuito.



Fonte: Autoria Própria.

A Figura 24 apresenta a impedância vista pelo relé de distância, sabendo-se que nos casos curto-circuito a impedância entra na região de proteção do relé instantaneamente.

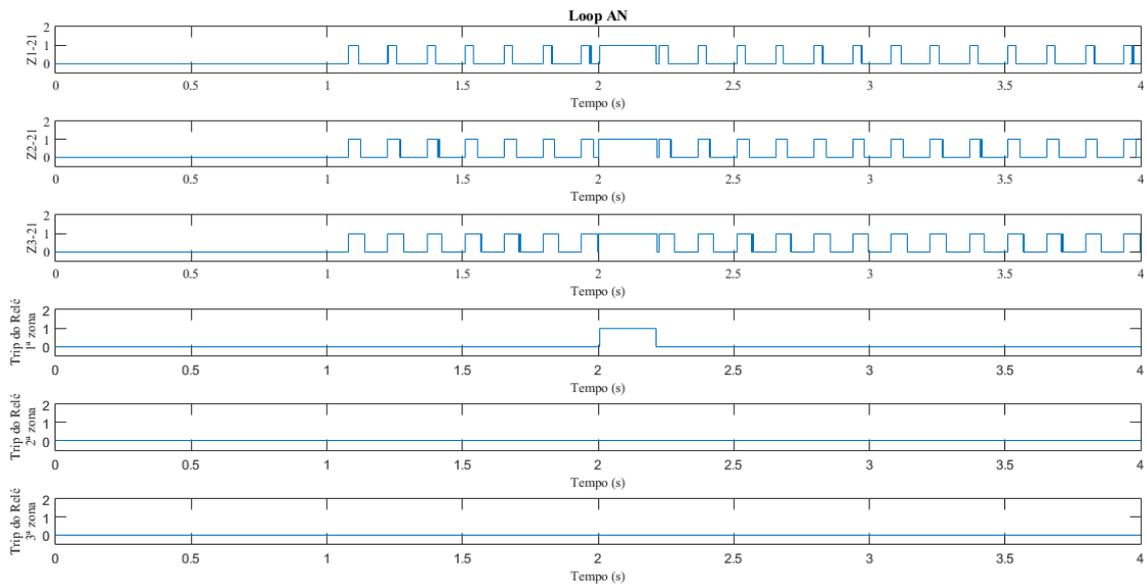
Figura 24 – Impedância vista pelo relé de distância ($f_{osc.} = 7Hz$ e curto-circuito 5% da linha.)



Fonte: Autoria Própria.

Para avaliar a técnica por meio de faltas ocorridas durante as OEPs, o método deve manter o relé distância bloqueado durante as oscilações e desbloqueá-lo no momento do curto-circuito. A Figura 25 mostra os resultados da simulação para curto-circuito trifásico a 5% da linha para o Loop AN do sistema, onde o relé atua na primeira zona no momento da falta no instante de 2s.

Figura 25 – Respostas do método durante a oscilação de potência $f_{osc.} = 7Hz$ e curto-circuito 5% da linha ($t = 2s$).



Fonte: Autoria Própria.

4.3.3 Caso 3: Frequência de oscilação 4 Hz; Incidência de oscilação em 0.8s.

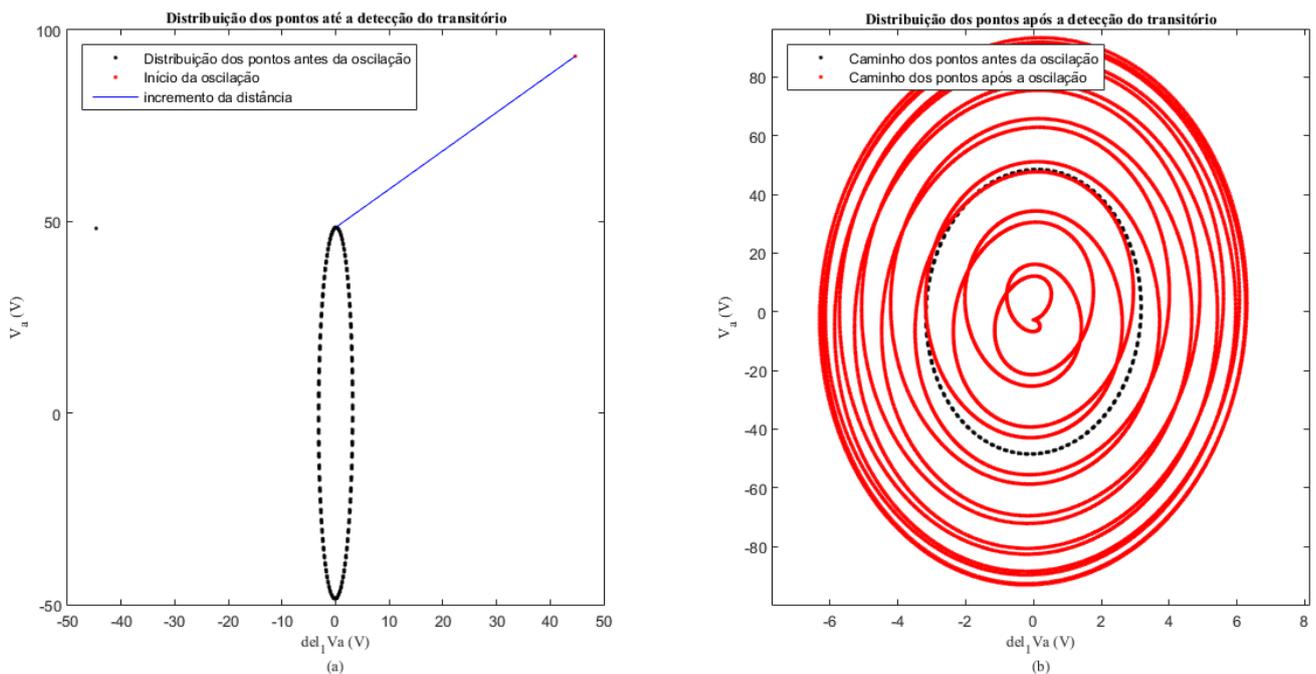
Nesse caso foi verificado o comportamento da metodologia proposta para frequência de oscilação ($F_{osc.} = 4Hz$), onde foi detectado o transitório no instante de 0.80012s e a OEP foi classificada 1/4 de ciclo após sua incidência ($t = 0.80446$). A tabela 3 apresenta os valores obtidos para outros instantes de incidência de OEP.

Tabela 3 – Resultados obtidos para frequência de oscilação 4 Hz.

Incidência de oscilação [s]	Deteção de Transitório [s]	Classificação de oscilação estável [s]
0.7992	0.79925	0.80342
0.7995	0.7996	0.80377
0.7998	0.79995	0.80412
0.8002	0.8003	0.80446
0.8005	0.80064	0.80481
0.8008	0.80082	0.80498

A Figura 26 mostra, em (a), a distribuição dos pontos no plano del_1xV_A durante a operação normal do sistema até o momento da ocorrência de um oscilação estável de potência. Já em (b), é apresentada a distribuição dos pontos durante a OEP.

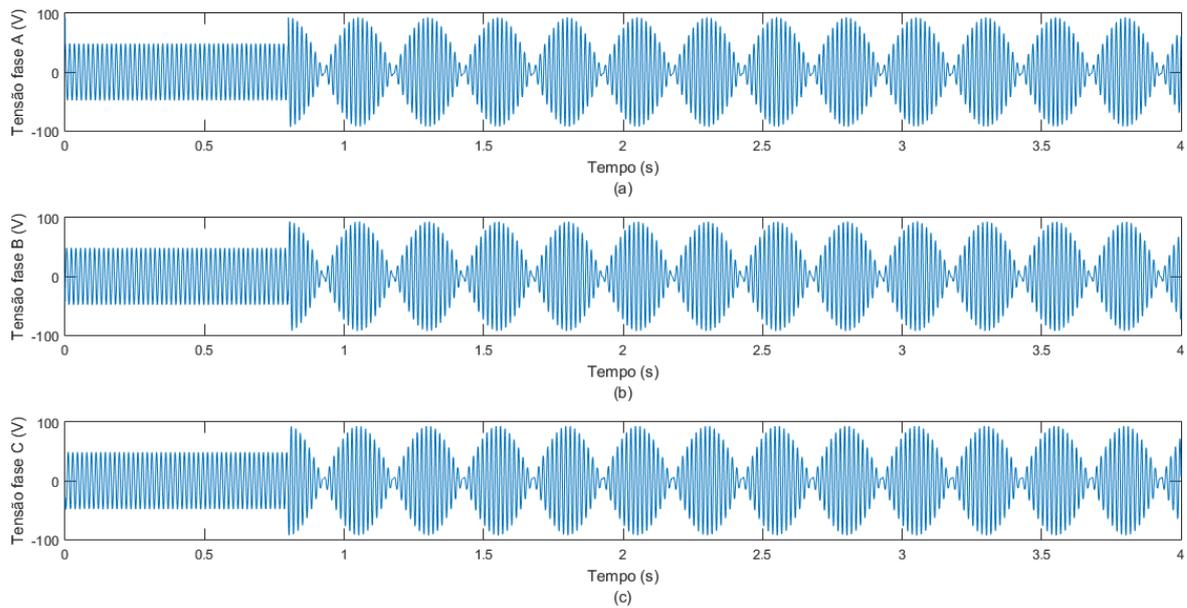
Figura 26 – Distribuição dos pontos no plano $del_1v \times V_A$. (a) Até momento da ocorrência da OEP. (b) Durante a OEP.



Fonte: Autoria Própria.

Comparando a amplitude dos sinais de tensão causada pela OEP do caso anterior, vimos que a oscilações acontece de forma mais lenta devido a mudança dessa f_{osc} , conforme mostra a Figura 27.

Figura 27 – Formas de ondas de tensão para o Caso 3.



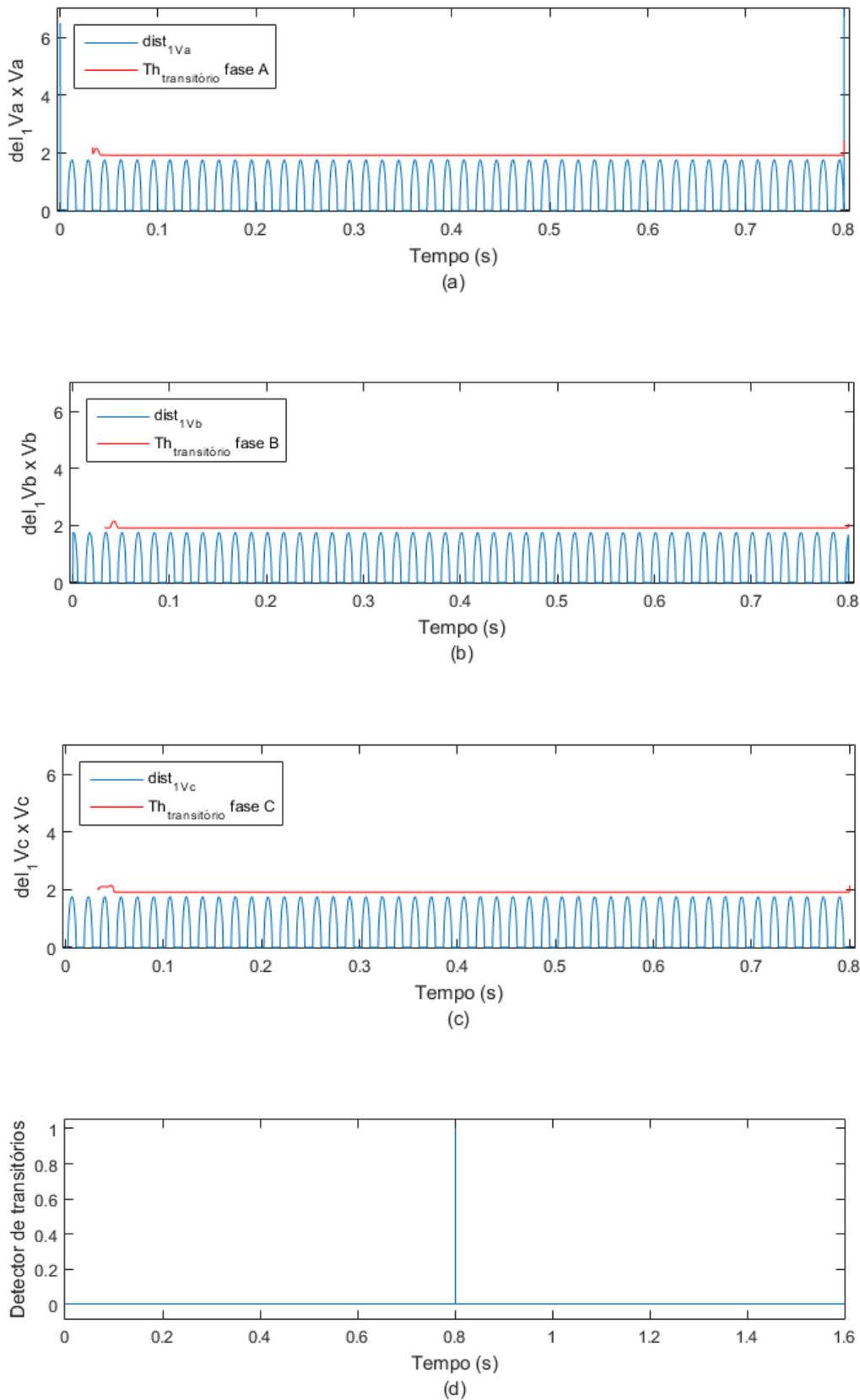
Fonte: Autoria Própria.

Após a mudança repentina nas distância euclidianas, ocorrido devido a oscilação da amplitude dos sinais de tensão causada pela OEP que determina a atuação do transitório, conforme a Figura 28. A partir dessa detecção, inicia-se a classificação da OEP, onde verifica-se o comportamento do módulo e do ângulo dos fasores $\bar{P}(n)$ para a OEP que ocorre a partir do instante $0.80012s$, onde o detector do transitório muda de zero para um.

A classificação da OEP é representada pelas Figuras 29 e 30, onde verifica-se o comportamento do módulo e do ângulo dos fasores $\bar{P}(n)$, onde nesse caso a OEP é classificada corretamente em $0.80446s$.

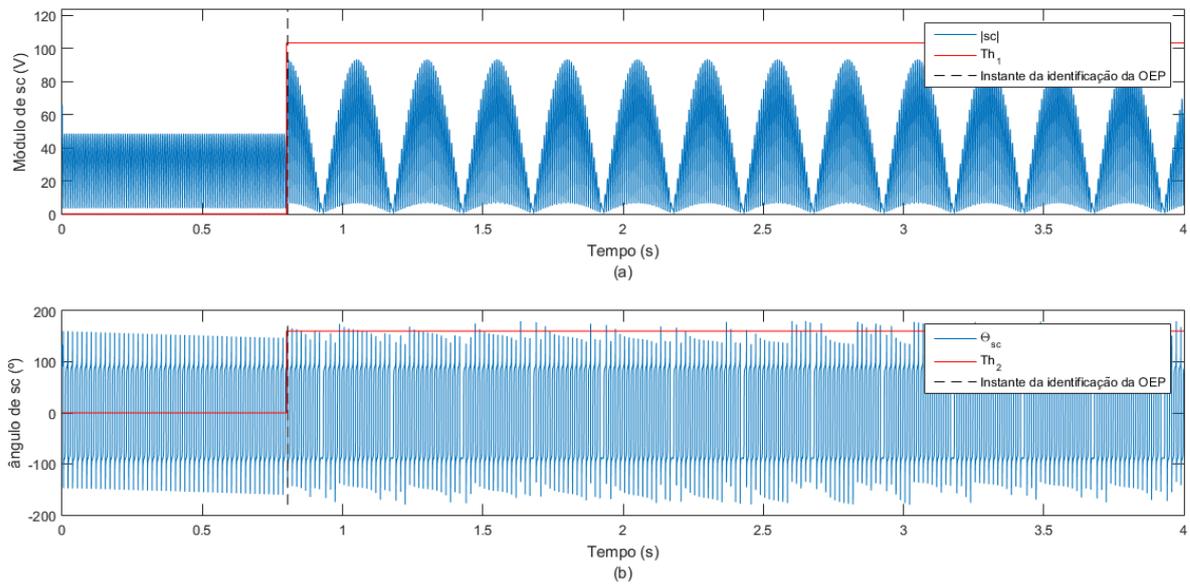
A partir da comparação entre os resultados obtidos para os casos 1 e 2, conclui-se que independente do instante da oscilação e a f_{osc} , a técnica atua de forma precisa, classificando a OEP exatamente $1/4$ de ciclo após a detecção do transitório.

Figura 28 – Atuação do detector de transitórios. (a) Distâncias no plano $del1V_A \times V_A$. (b) Distâncias no plano $del1V_B \times V_B$. (c) Distâncias no plano $del1V_C \times V_C$. (d) Estado do detector de transitórios.



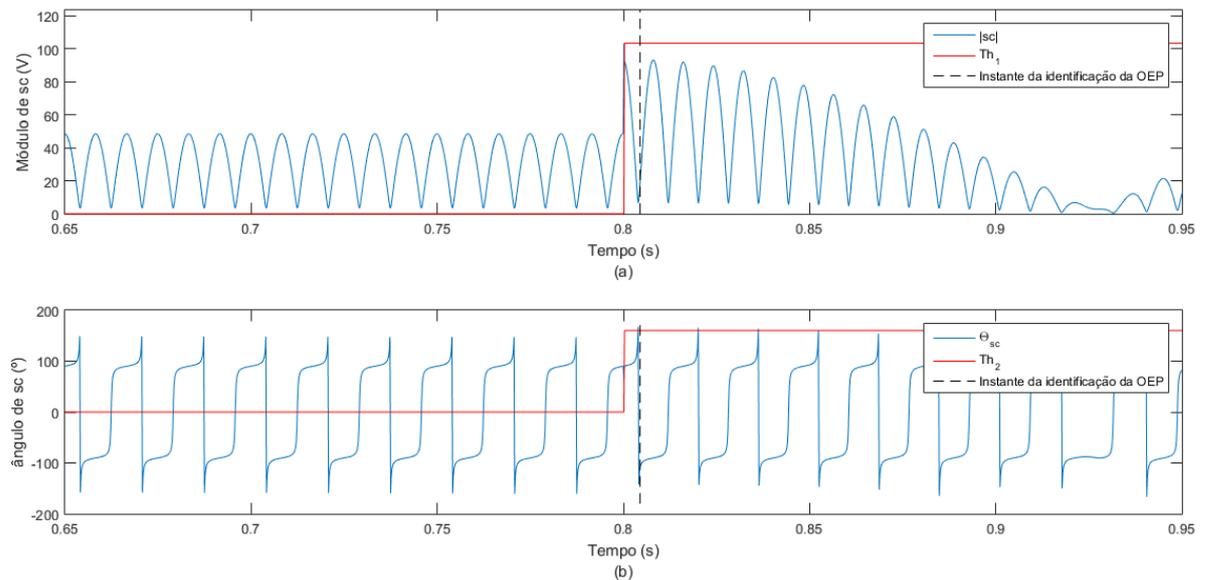
Fonte: Autoria Própria.

Figura 29 – Atuação do classificador de OEPs. (a) variação do módulo de $\bar{P}(n)$. (b) Variação do ângulo de $\bar{P}(n)$.



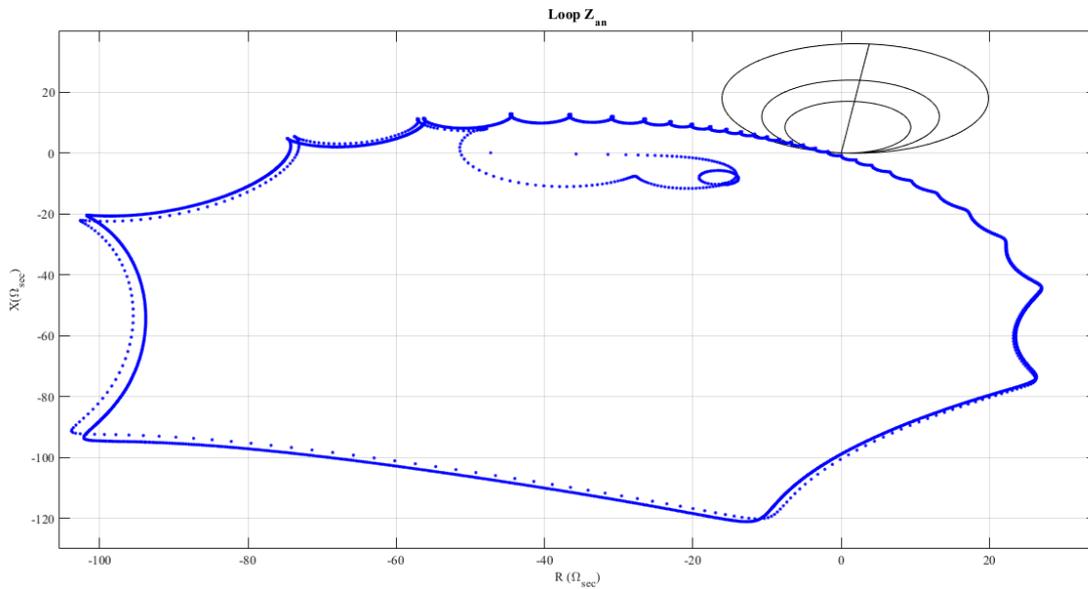
Fonte: Autoria Própria.

Figura 30 – Detalhe da atuação do classificador de OEPs. (a) variação do módulo de $\bar{P}(n)$. (b) Variação do ângulo de $\bar{P}(n)$.



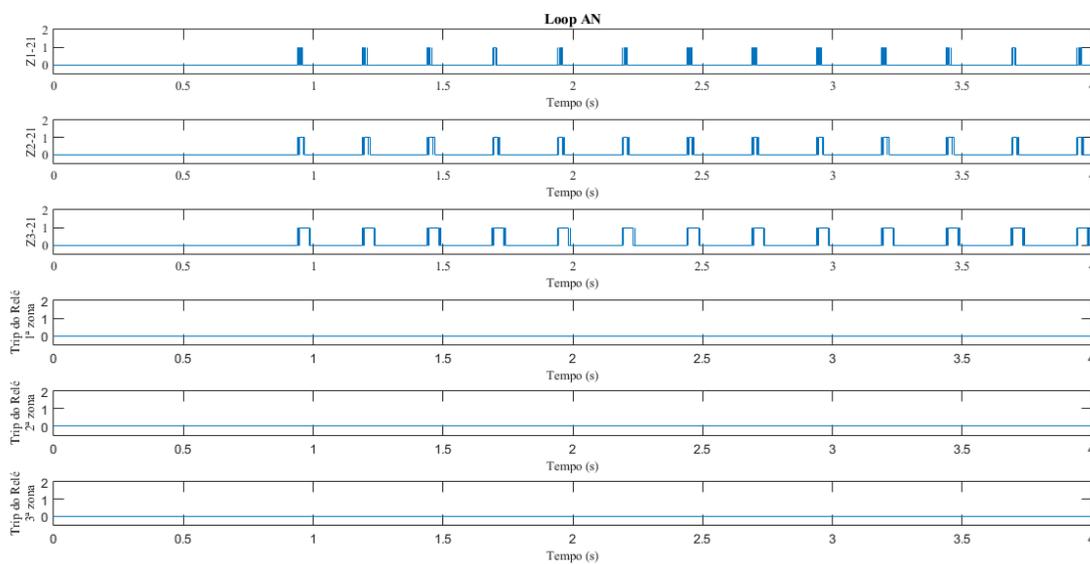
Fonte: Autoria Própria.

Ainda, a Figura 31 mostra o comportamento da impedância no início da OEP para o caso 3, onde a impedância vista pelo relé atravessa a primeira zona no Loop AN.

Figura 31 – Impedância vista pelo relé de distância ($f_{osc.} = 4Hz$)

Fonte: Autoria Própria.

Assim, a Figura 32 apresenta a impedância no interior das zonas operacionais do relé (Z1-21, Z2-21 e Z3-21) e o sinal de operação enviado pelo relé de distância, que apresenta o funcionamento correto do bloqueio de relé de distância para oscilações com $f_{osc.} = 4Hz$.

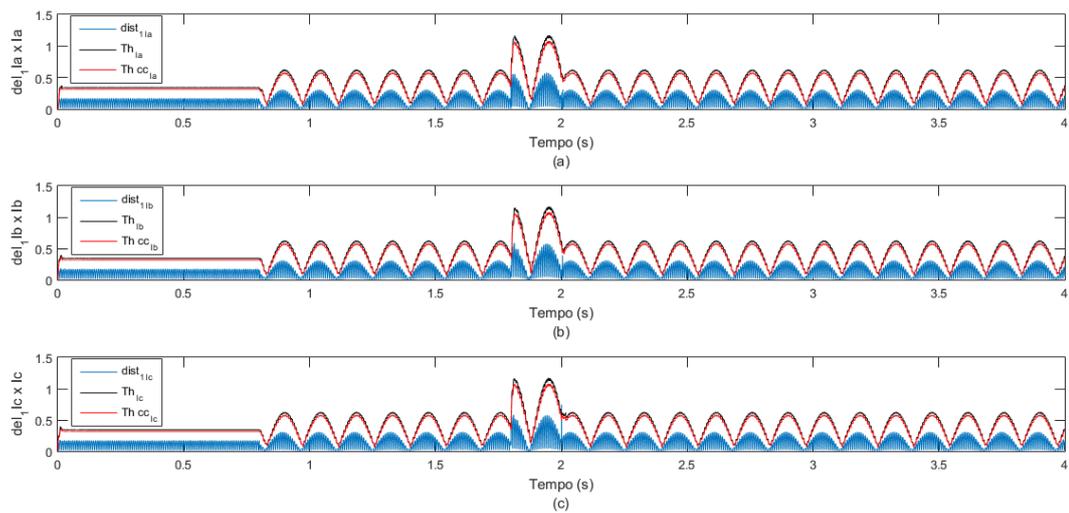
Figura 32 – Respostas do método durante a oscilação de potência $f_{osc.} = 4Hz$ 

Fonte: Autoria Própria.

4.3.4 Caso 4: Frequência de oscilação 4 Hz; Incidência de oscilação em 0.8s. Curto-Circuito 50% da linha em 1.8s

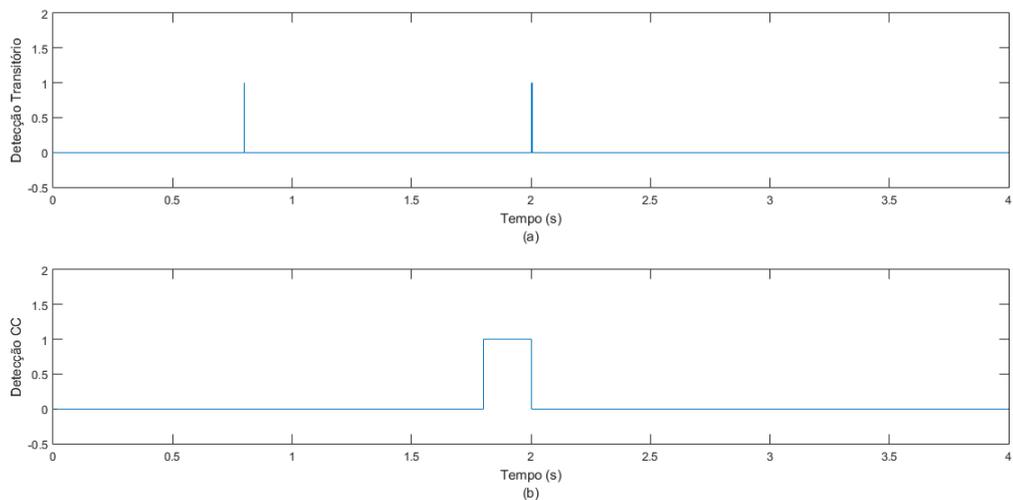
Nesse caso, testou-se a metodologia para uma falta trifásica em 50% da linha, ocorrida durante uma OEP. A Figura 33 são mostrados as distancias no plano $del1I_A \times I_A$ para as fases A, B e C do sistema. Na Figura 34, são apresentados em (a) o detector de transitório e em (b) o detector do CC atua no instante de $(t=1.8s)$, caracterizando falta trifásica no sistema.

Figura 33 – (a) Distâncias no plano $del1I_A \times I_A$. (b) Distâncias no plano $del1I_B \times I_B$. (c) Distâncias no plano $del1I_C \times I_C$.



Fonte: Autoria Própria.

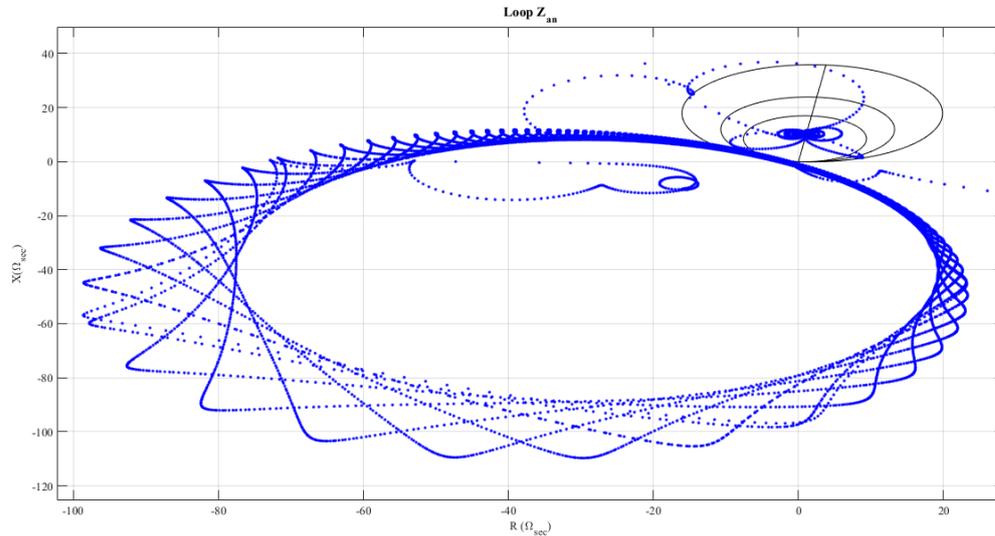
Figura 34 – (a) Estado do detector de Transitório. (b) Estado do detector de Curto-Circuito.



Fonte: Autoria Própria.

A Figura 35 apresenta a impedância vista pelo relé de distância, visualizando o comportamento para o Loop AN durante o curto-circuito trifásico de 50% da linha.

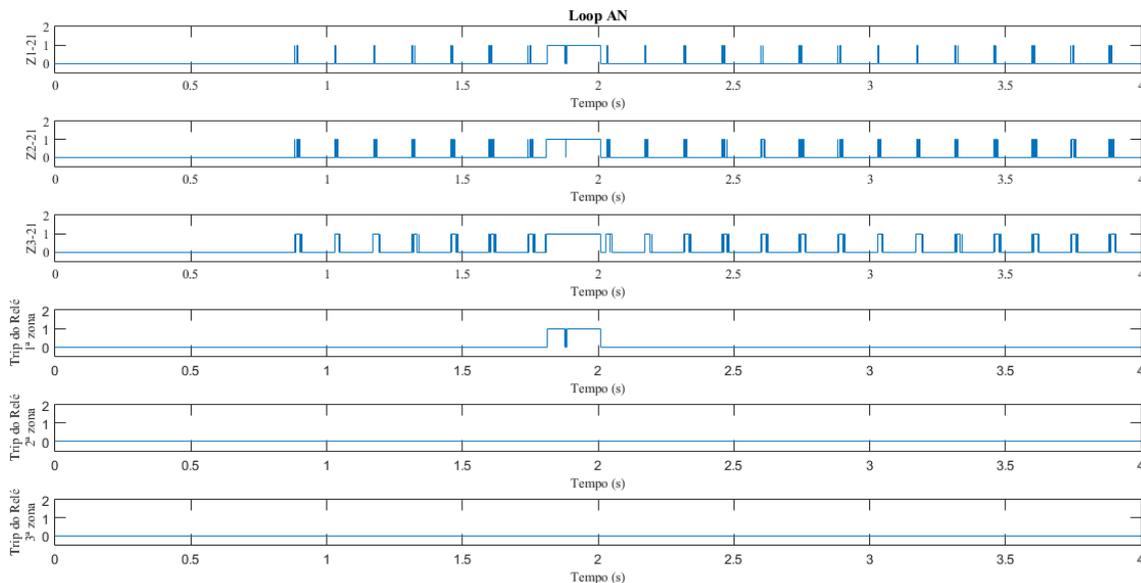
Figura 35 – Impedância vista pelo relé de distância ($f_{osc.} = 4Hz$ e curto-circuito 50% da linha.)



Fonte: Autoria Própria.

A Figura 36 mostra a atuação da proteção e da técnica de bloqueio, onde pode-se perceber que o relé é desbloqueado para o curto-circuito, permitindo que este atue corretamente.

Figura 36 – Respostas do método durante a oscilação de potência $f_{osc.} = 4Hz$ e curto-circuito 50% da linha ($t = 1.8s$).



Fonte: Autoria Própria.

4.3.5 Caso 5: Frequência de oscilação 1 Hz; Incidência de oscilação em 0.6s.

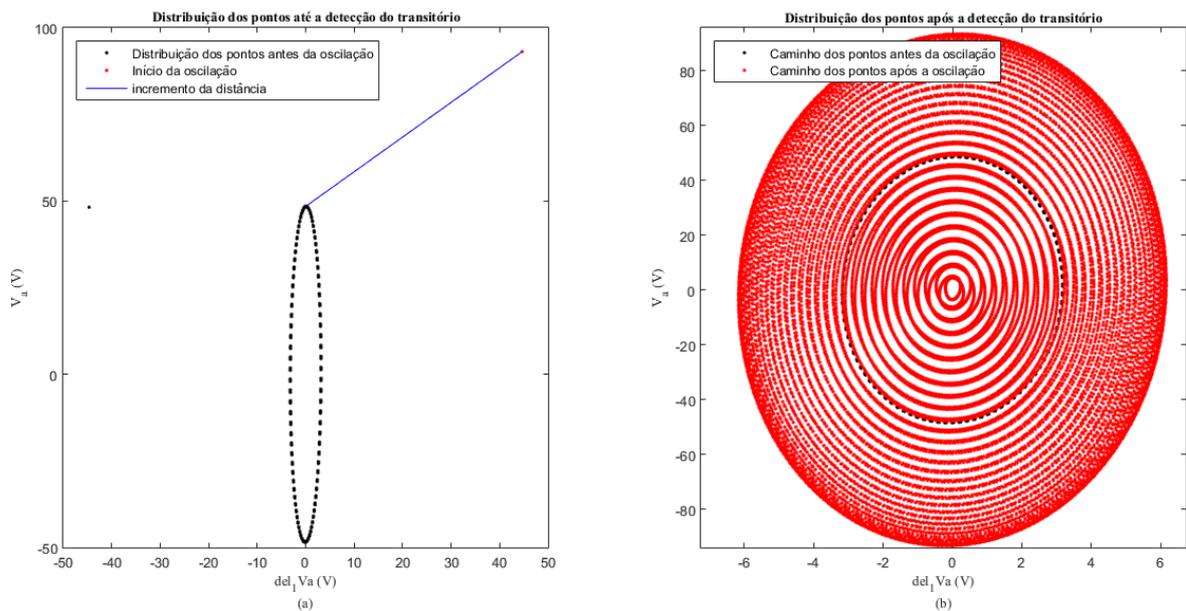
Para consolidar a detecção da OEP no sistema, esse caso apresenta resultados obtidos para $f_{osc} = 1Hz$, a qual inicia no instante de $t = 0.6s$. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para outros instantes de incidência de oscilação da OEP, para mesma taxa de amostragem e frequência de oscilação.

Tabela 4 – Resultados obtidos para frequência de oscilação 1 Hz.

Incidência de oscilação [s]	Deteção de Transitório [s]	Classificação de oscilação estável [s]
0.5992	0.59927	0.60343
0.5995	0.59961	0.60378
0.5998	0.59996	0.6043
0.6002	0.60031	0.60465
0.6005	0.60066	0.605
0.6008	0.601	0.60534

A Figura 37 apresenta a distribuição dos pontos no plano $del1_v \times V_A$ para incidência da oscilação em $0.60014s$, durante a operação normal do sistema e durante a ocorrência de oscilação.

Figura 37 – Distribuição dos pontos no plano $del1_v \times V_A$. (a) Até momento da ocorrência da OEP. (b) Durante a OEP.

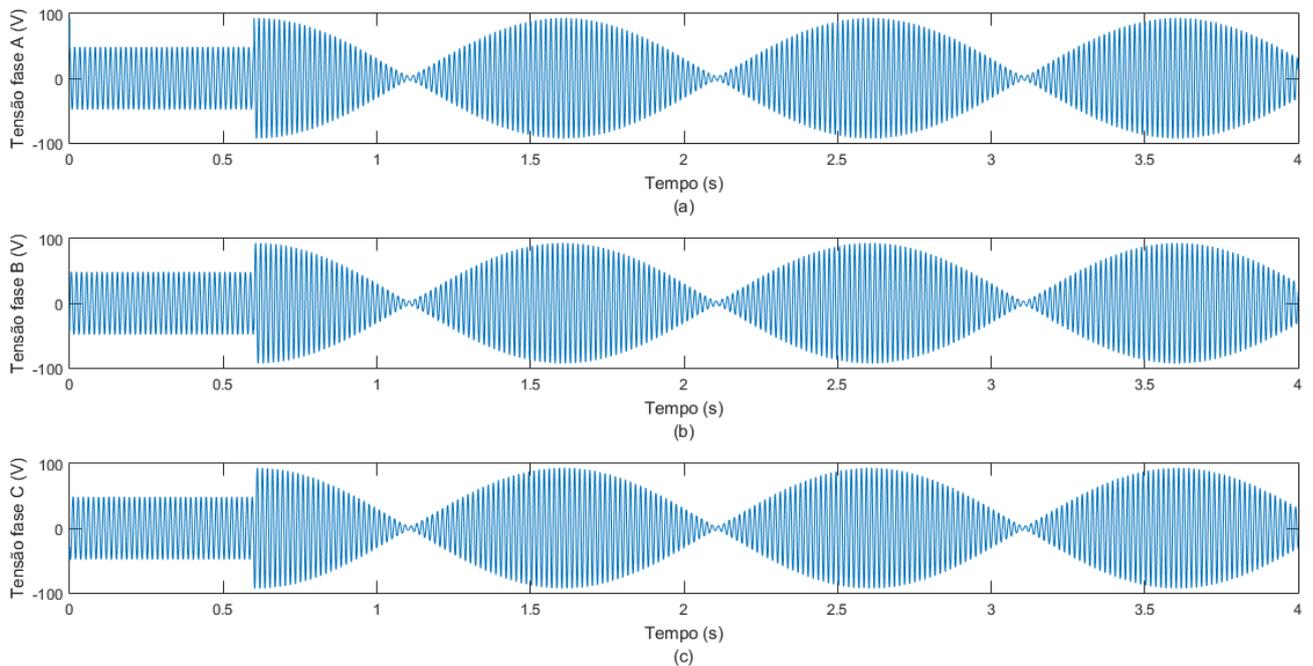


Fonte: Autoria Própria.

É importante ressaltar que a amplitude dos sinais de tensão causadas pela OEP

apresenta uma forma oscilatória mais lenta, já que sua frequência de oscilação é pequena se comparada com os casos 1 e 2, conforme mostra a Figura 38.

Figura 38 – Formas de ondas de tensão para o Caso 5.

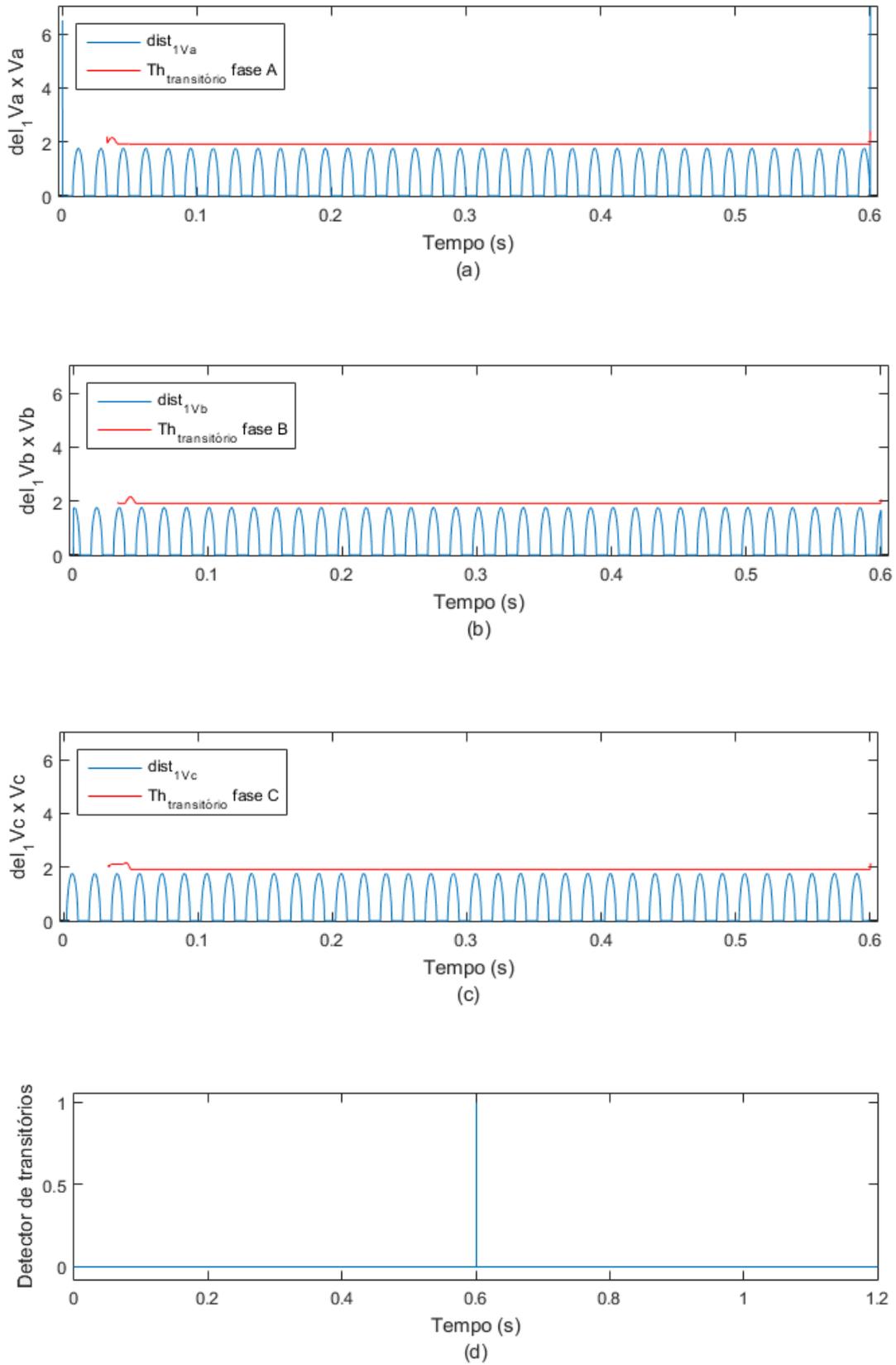


Fonte: Autoria Própria.

A Figura 39 mostra a atuação do detector de transitório, onde pode se verificar o instante em que o estado do detector muda de zero para um, iniciando-se a classificação da OEP.

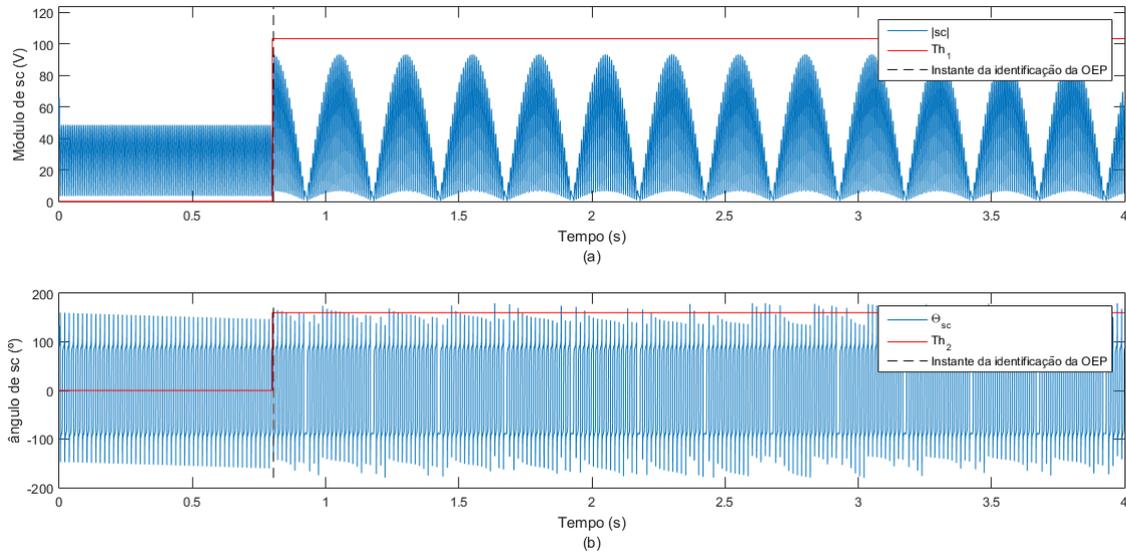
Finalmente, as Figuras 40 e 41 mostram processo de detecção da OEP, na qual pode se visualizar o módulo e o ângulo dos fasores $\bar{P}(n)$, que permanece menor do que os valores limítrofes por mais de 1/4 do ciclo a partir que o instante que a classificação do transitório é detectado. Comparando com os casos 1 e 2, conclui-se que, mesmo com uma frequência de oscilação baixa, a OEP foi detectada, isso quer dizer que a metodologia atua de maneira satisfatória em qualquer situação.

Figura 39 – Atuação do detector de transitórios. (a) Distâncias no plano $del1V_A \times V_A$. (b) Distâncias no plano $del1V_B \times V_B$. (c) Distâncias no plano $del1V_C \times V_C$. (d) Estado do detector de transitórios.



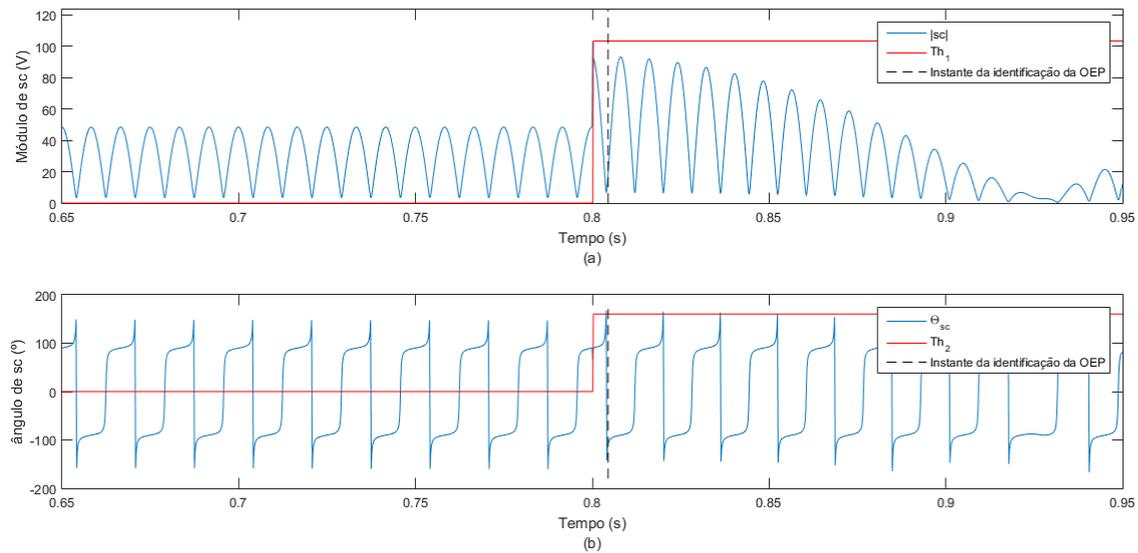
Fonte: Autoria Própria.

Figura 40 – Atuação do classificador de OEPs. (a) variação do módulo de $\bar{P}(n)$. (b) Variação do ângulo de $\bar{P}(n)$.



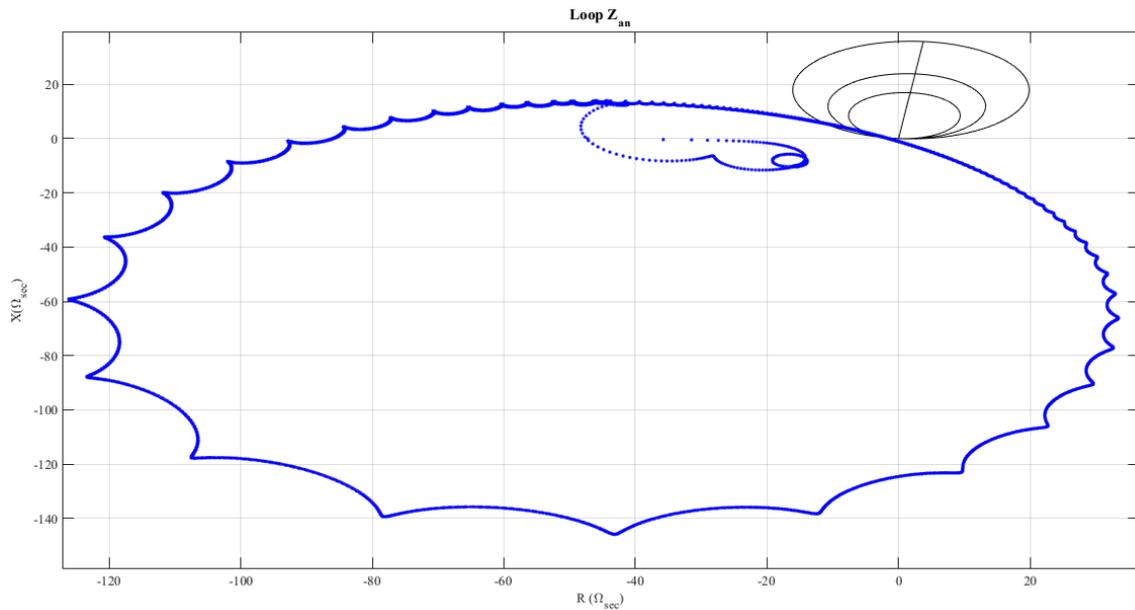
Fonte: Autoria Própria.

Figura 41 – Detalhe da atuação do classificador de OEPs. (a) variação do módulo de $\bar{P}(n)$. (b) Variação do ângulo de $\bar{P}(n)$.



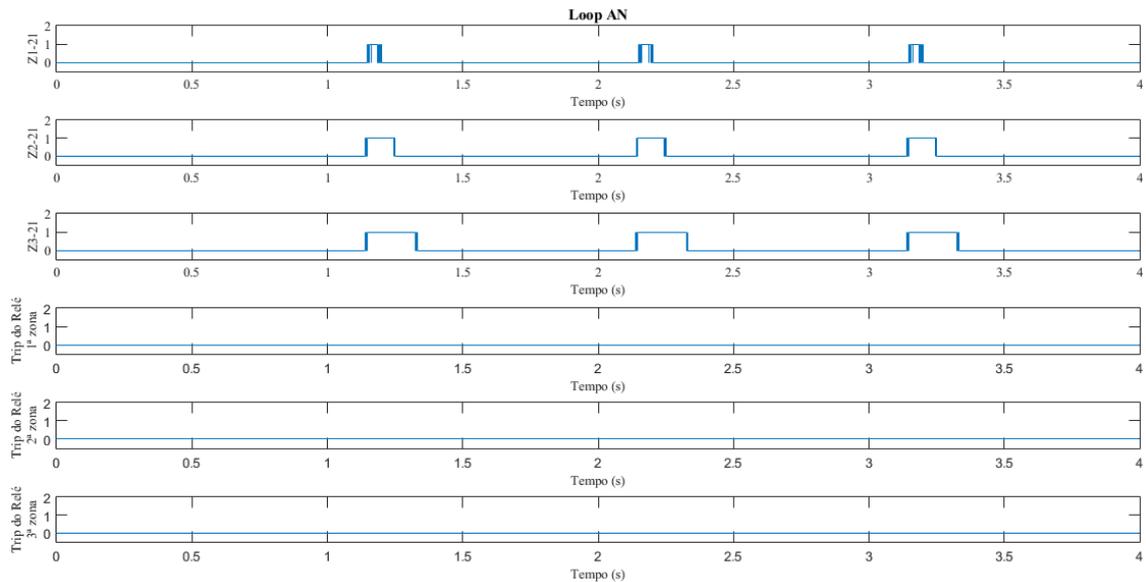
Fonte: Autoria Própria.

Por fim, a impedância vista pelo relé de distância, a qual atravessa a primeira zona do Loop AN é apresentada na Figura 42 após a incidência de OEP para o caso 5.

Figura 42 – Impedância vista pelo relé de distância ($f_{osc.} = 1Hz$)

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 43 apresenta para oscilações com $f_{osc.} = 1Hz$, as zonas operacionais do relé (Z1-21, Z2-21 e Z3-21) e o sinal de operação enviado pelo relé de distância, que apresenta o funcionamento o bloqueador do relé de distância a partir que a OEP é detectada no sistema.

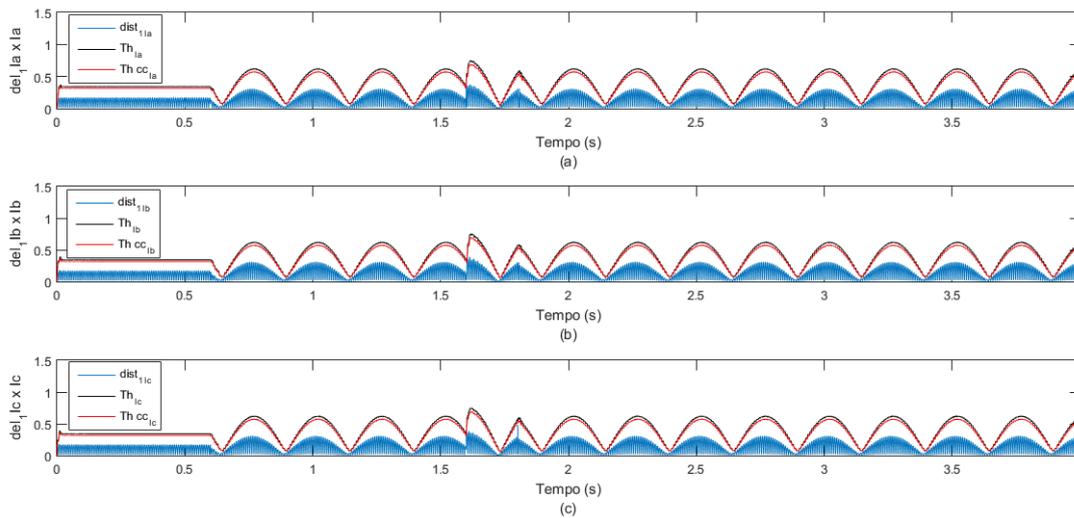
Figura 43 – Respostas do método durante a oscilação de potência $f_{osc.} = 1Hz$ 

Fonte: Autoria Própria.

4.3.6 Caso 6: Frequência de oscilação 1 Hz; Incidência de oscilação em 0.6s. Curto-Circuito 80% da linha em 1.6s

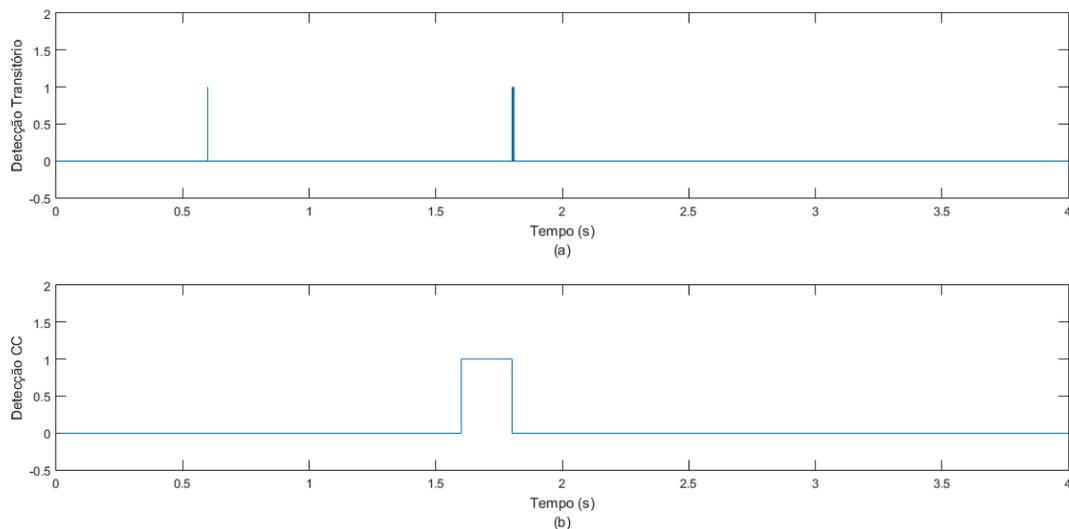
Por fim, este caso apresenta os resultados para uma falta trifásica em 80% da linha, ocorrida durante uma OEP. A Figura 44 apresenta as distâncias no plano $del1_I \times I$ nas 3 fases do sistema. Já a Figura 45 apresenta em (a) o detector de transitório e para (b) onde no instante de $t = 1.6$ o atuação do detector do curto-circuito muda seu estado, caracterizando falta trifásica.

Figura 44 – (a) Distâncias no plano $del1I_A \times I_A$. (b) Distâncias no plano $del1I_B \times I_B$. (c) Distâncias no plano $del1I_C \times I_C$.



Fonte: Autoria Própria.

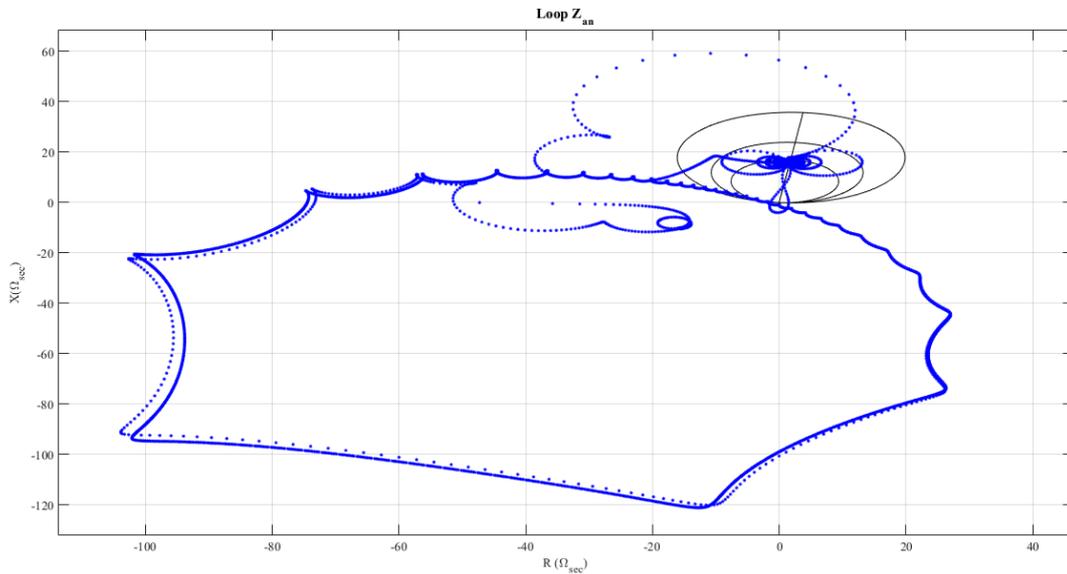
Figura 45 – (a) Estado do detector de Transitório. (b) Estado do detector de Curto-Circuito.



Fonte: Autoria Própria.

A Figura 46 apresenta a impedância vista pelo relé de distância, sabendo-se que o nesse caso o falta trifásica à 80% da linha de transmissão.

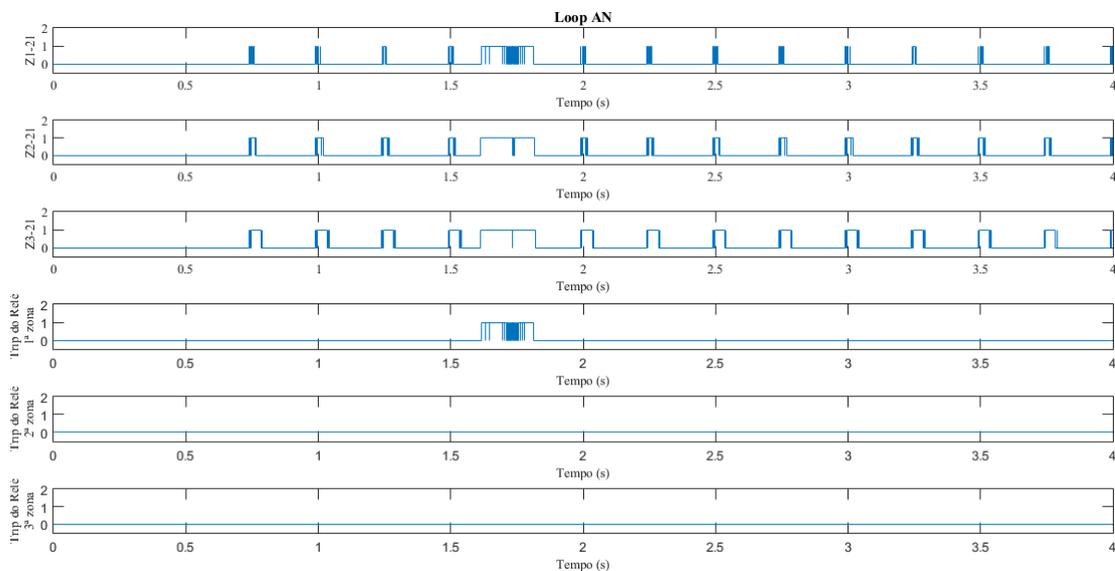
Figura 46 – Impedância vista pelo relé de distância ($f_{osc.} = 1Hz$ e curto-circuito à 80% da linha.)



Fonte: Autoria Própria.

Por fim, para esse caso, a Figura 47 mostra as respostas da simulação do Loop AN, onde o relé distância é desbloqueado e atuou no momento da falta no instante de $t = 1.6s$.

Figura 47 – Respostas do método durante a oscilação de potência $f_{osc.} = 1Hz$ e curto-circuito à 80% da linha ($t = 1.6s$).



Fonte: Autoria Própria.

4.4 Considerações Finais

Nesse capítulo foram apresentados os resultados para a metodologia proposta, para variados cenários simulados no sistema teste com oscilações de potência e curto-circuito. Visando destacar a detecção da OEP foi identificada de forma rápida e precisa e com isso o bloqueador de relé de distância atuou corretamente. Para os casos de curto-circuitos durante oscilações de potência a metodologia foi capaz de identificar as faltas trifásicas no sistema e assim desbloquear o relé de distância para eliminar o defeito.

Nas Tabelas do ANEXO A encontra-se os resultados obtidos para todos os casos banco de dados, para casos simulados com diferentes condições operacionais. Tendo em vista as respostas obtidas para a respectiva análise, observa-se que a técnica proposta para detecção das OEPs é robusta e eficiente, podendo ser empregada na lógica operacional de bloqueio em relés digitais de distâncias. O Capítulo seguinte apresenta as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

5 Considerações Finais

5.1 Conclusões

Nesse trabalho, foi apresentado um algoritmo para classificação de oscilações estáveis de potência, que atua para diferentes condições de incidência e frequências de oscilação, apresentando desempenho satisfatório para todos os casos analisados.

A técnica proposta é destinada a bloquear o relé de distância da linha. Em um primeiro momento, utiliza-se a detecção de transitórios de acordo com a proposta de Santos et al. (2012), simultaneamente com a técnica para analisar o módulo e ângulo dos fasores para a classificar uma OEP. A partir daí, constatou-se que no momento da ocorrência de uma OEP a tensão sofre um incremento considerável comparado com seu comportamento original, sendo assim, utilizou-se a análise das distâncias euclidianas entre os pontos, junto ao detector de transitório, para identificar o desvio da trajetória ocorrido, e assim verificar a variação de tensão que ocorre em OEP.

A metodologia apresentou-se como boa alternativa para a detecção, pois atua de forma rápida e precisa, pois analisando o comportamento do módulo e ângulo dos fasores, e os comparando com valores limítrofes, foi possível verificar a rapidez o momento de classificação das OEPs. A detecção do transitório atua no instante que a trajetória das distâncias euclidianas correspondente a qualquer um das fases, sofrendo um desvio e variação, tornando o tempo demandado para a classificação da OEP à 1/4 de ciclo.

A técnica para a detecção do curto-circuito durante as oscilações de potência teve um bom desempenho, sendo que esta atua com base na variação das distâncias euclidianas do sinal da corrente. Durante a falta trifásica o comportamento do sinal das distâncias atinge um pico muito elevado em relação a uma oscilação de potência, que irá ultrapassar o valor limítrofe pré-determinado da metodologia aplicada, classificando um curto-circuito no sistema.

Nos casos 1, 3 e 5, independentemente do instante de incidência de oscilação, a metodologia não constatou nenhum problema, pois a OEP foi classificada rapidamente após a detecção do transitório, enviando um sinal de bloqueio, já que o relé de distância não pode atuar no momento de oscilação de potência no sistema.

Destaca-se também a atuação do algoritmo para curto-circuitos trifásicos durante oscilações de potência para os casos 2, 4 e 6, onde a metodologia detecta corretamente as faltas, desbloqueando o relé de distância, para que possa atuar somente no momento do curto-circuito.

Por fim, conclui-se que a técnica apresentou-se como boa alternativa para a detecção, pois atua de forma rápida e robusta, podendo ser aplicada em tempo real como método de bloqueio de relés de distância em condições operacionais que envolvam OEPs, evitando atuações indevidas do relé de distância.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Com relação ao tema, como sugestões importantes para trabalhos futuros, visando diminuir a atuação indevida de relés de distância em oscilações de potência em linhas de transmissão, citam-se:

- Testar a metodologia em caso de OEP seguido de curto-circuito monofásicos;
- Testar a metodologia para casos de falta com resistência de falta durante Oscilações de Potência;
- Fazer uma comparação do desempenho da técnica proposta com outra apresentadas na literatura especializada.

Referências

- ANDERSON, P. M.; ANDERSON, P. *Power system protection*. [S.l.]: McGraw-Hill New York, 1999. v. 1307. Citado na página 23.
- BENMOUYAL, G.; HOU, D.; TZIOUVARAS, D. Zero-setting power-swing blocking protection. In: *31st annual western protective relay conference*. [S.l.: s.n.], 2004. p. 19–21. Citado na página 23.
- BOLZAN, R. et al. Desenvolvimento de um algoritmo para proteção digital de linhas de transmissão: aumento da confiabilidade e disponibilidade da linha durante oscilações de potência. *XI SEPOPE, Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica*, 2009. Citado na página 23.
- HOLBACH, J. New out of step blocking algorithm for detecting fast power swing frequencies. In: IEEE. *2006 Power Systems Conference: Advanced Metering, Protection, Control, Communication, and Distributed Resources*. [S.l.], 2006. p. 182–199. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 26.
- HOROWITZ, S. H.; PHADKE, A. G. *Power system relaying*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2008. v. 22. Citado na página 21.
- JONSSON, M.; DAALDER, J. A new protection scheme to prevent mal-trips due to power swings. In: IEEE. *2001 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition. Developing New Perspectives (Cat. No. 01CH37294)*. [S.l.], 2001. v. 2, p. 724–729. Citado na página 23.
- MOONEY, P. J.; FISCHER, N. Application guidelines for power swing detection on transmission systems. In: IEEE. *2006 Power Systems Conference: Advanced Metering, Protection, Control, Communication, and Distributed Resources*. [S.l.], 2006. p. 159–168. Citado na página 23.
- MORAIS, A. et al. Análise de técnicas de bloqueio da proteção de distância em linhas de transmissão durante oscilações de potência. 2010. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 23.
- PHADKE, A. G.; THORP, J. S. *Computer relaying for power systems*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2009. Citado na página 23.
- SANTOS, E. D. et al. Ct saturation detection based on the distance between consecutive points in the plans formed by the secondary current samples and their difference-functions. *IEEE Transactions on Power Delivery*, IEEE, v. 28, n. 1, p. 29–37, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 21, 37 e 71.
- ZIEGLER, G. *Numerical distance protection: principles and applications*. [S.l.]: Siemens-Erlangen: Publicis-MCD-Verl, 1999. Citado na página 23.

ANEXO A – Resultados para Diferentes Instantes de Oscilações Estáveis de Potência

Tabela 5 – Resultados Obtidos para 96 Amostras/ciclo; Carregamento 30

Caso F_{osc} [Hz]	Incidência da Oscilação [s]	Deteção do transitório [s]	Classificação da oscilação estável [s]
-7	0.992	0.99212	0,99629
	0.995	0.99508	0,99928
	0.998	0.99803	1,0022
	1.002	1,0020	1,0064
	1.005	1,0051	1,0095
	1.008	1,0082	1,0123
-4	0.992	0.99212	0,99629
	0.995	0.99508	0,99924
	0.998	0.99803	1,0023
	1.002	1,0021	1,0063
	1.005	1,005	1,0093
	1.008	1,0081	1,0123
-1	0.992	0.99201	0,99618
	0.995	0.99514	0,99931
	0.998	0.99809	1,0023
	1.002	1,0021	1,0063
	1.005	1,005	1,0093
	1.008	1,0081	1,0124
1	0.992	0.99213	0,99629
	0.995	0.99508	0,99924
	0.998	0.99803	1,0022
	1.002	1,0022	1,0064
	1.005	1,0051	1,0093
	1.008	1,0083	1,0124
4	0.992	0.99214	0,9963
	0.995	0.99507	0,99923
	0.998	0.99802	1,0022
	1.002	1,0021	1,0062
	1.005	1,0052	1,0093
	1.008	1,0081	1,0121
7	0.992	0.99212	0,99628
	0.995	0.99505	0,99922
	0.998	0.99804	1,0023
	1.002	1,0021	1,0063
	1.005	1,0052	1,00931
	1.008	1,0082	1,0122

Tabela 6 – Resultados Obtidos para 96 Amostras/ciclo; Carregamento 60

Caso F_{osc} [Hz]	Incidência da Oscilação [s]	Deteção do transitório [s]	Classificação da oscilação estável [s]
-7	0.992	0.99215	0,99633
	0.995	0.99508	0,99924
	0.998	0.99803	1,0024
	1.002	1,0020	1,0062
	1.005	1,0053	1,0095
	1.008	1,0081	1,0180
-4	0.992	0.99212	0,99629
	0.995	0.99505	0,99921
	0.998	0.99802	1,0023
	1.002	1,0021	1,0064
	1.005	1,0052	1,0094
	1.008	1,0083	1,0182
-1	0.992	0.99211	0,99628
	0.995	0.99505	0,99921
	0.998	0.99802	1,0023
	1.002	1,0021	1,0064
	1.005	1,0052	1,0094
	1.008	1,0083	1,0182
1	0.992	0.99211	0,99628
	0.995	0.99505	0,99921
	0.998	0.99803	1,0024
	1.002	1,0022	1,0063
	1.005	1,0051	1,0093
	1.008	1,0082	1,0181
4	0.992	0.99214	0,99631
	0.995	0.99503	0,99919
	0.998	0.99802	1,0023
	1.002	1,0022	1,0063
	1.005	1,0052	1,0094
	1.008	1,0082	1,0182
7	0.992	0.99213	0,9963
	0.995	0.99504	0,9992
	0.998	0.99802	1,0023
	1.002	1,0022	1,0063
	1.005	1,0051	1,0093
	1.008	1,0083	1,0182

Tabela 7 – Resultados Obtidos para 96 Amostras/ciclo; Carregamento 90

Caso F_{osc} [Hz]	Incidência da Oscilação [s]	Detecção do transitório [s]	Classificação da oscilação estável [s]
-7	0.992	0.99213	0,9963
	0.995	0.99507	0,99927
	0.998	0.99803	1,0022
	1.002	1,0021	1,0065
	1.005	1,0052	1,0095
	1.008	1,0082	1,0123
-4	0.992	0.99212	0,99629
	0.995	0.99508	0,99928
	0.998	0.99804	1,00221
	1.002	1,0021	1,00641
	1.005	1,0052	1,0096
	1.008	1,0082	1,0123
-1	0.992	0.99211	0,99628
	0.995	0.99508	0,99928
	0.998	0.99802	1,0021
	1.002	1,0022	1,0066
	1.005	1,0051	1,0095
	1.008	1,0084	1,0125
1	0.992	0.99213	0,99631
	0.995	0.99509	0,99929
	0.998	0.99805	1,00223
	1.002	1,0020	1,0064
	1.005	1,0051	1,0095
	1.008	1,0082	1,0123
4	0.992	0.99212	0,99629
	0.995	0.99508	0,99928
	0.998	0.99803	1,0022
	1.002	1,0020	1,0064
	1.005	1,0051	1,00951
	1.008	1,0082	1,0123
7	0.992	0.99212	0,99629
	0.995	0.99508	0,99928
	0.998	0.99803	1,0022
	1.002	1,0021	1,0065
	1.005	1,0052	1,00953
	1.008	1,0082	1,0124

Tabela 8 – Resultados Obtidos para 64 Amostras/ciclo; Carregamento 30

Caso F_{osc} [Hz]	Incidência da Oscilação [s]	Deteção do transitório [s]	Classificação da oscilação estável [s]
-7	0.992	0.99212	0,99837
	0.995	0.99525	01,0015
	0.998	0.99811	1,0046
	1.002	1,002	1,0083
	1.005	1,0051	1,0095
	1.008	1,0081	1,0143
-7	0.992	0.99211	0,99837
	0.995	0.99524	01,0015
	0.998	0.99810	1,0045
	1.002	1,0022	1,0085
	1.005	1,005	1,0094
	1.008	1,0082	1,0145
-7	0.992	0.99212	0,99834
	0.995	0.99526	01,0016
	0.998	0.99814	1,0045
	1.002	1,001	1,0082
	1.005	1,0051	1,0095
	1.008	1,0081	1,0143
-7	0.992	0.99213	0,99836
	0.995	0.99522	01,0016
	0.998	0.99811	1,0045
	1.002	1,002	1,0083
	1.005	1,0051	1,0095
	1.008	1,0082	1,0144
-7	0.992	0.99213	0,99837
	0.995	0.99525	01,0015
	0.998	0.99814	1,0046
	1.002	1,002	1,0083
	1.005	1,0055	1,0095
	1.008	1,0081	1,0143
-7	0.992	0.99213	0,99836
	0.995	0.99525	01,0015
	0.998	0.99812	1,0046
	1.002	1,002	1,0084
	1.005	1,0053	1,0097
	1.008	1,0082	1,0144

Tabela 9 – Resultados Obtidos para 64 Amostras/ciclo; Carregamento 60

Caso F_{osc} [Hz]	Incidência da Oscilação [s]	Deteccção do transitório [s]	Classificação da oscilação estável [s]
-7	0.992	0.99212	0,99837
	0.995	0.99526	01,0016
	0.998	0.99811	1,0046
	1.002	1,0021	1,0083
	1.005	1,0051	1,0095
	1.008	1,0081	1,0143
-4	0.992	0.99211	0,99837
	0.995	0.99524	01,0015
	0.998	0.99811	1,00456
	1.002	1,0022	1,0085
	1.005	1,005	1,0094
	1.008	1,0083	1,0146
-1	0.992	0.99212	0,99834
	0.995	0.99526	01,0016
	0.998	0.99813	1,0044
	1.002	1,0012	1,0084
	1.005	1,005	1,0092
	1.008	1,00812	1,0142
1	0.992	0.99214	0,99837
	0.995	0.99521	01,0016
	0.998	0.99812	1,0046
	1.002	1,0022	1,0083
	1.005	1,0052	1,0097
	1.008	1,0083	1,0143
4	0.992	0.99214	0,99838
	0.995	0.99525	01,0015
	0.998	0.99814	1,0046
	1.002	1,0023	1,0085
	1.005	1,0056	1,0096
	1.008	1,0084	1,0146
7	0.992	0.99212	0,99835
	0.995	0.99523	01,0013
	0.998	0.99811	1,0045
	1.002	1,002	1,0084
	1.005	1,0053	1,0097
	1.008	1,0082	1,0144

Tabela 10 – Resultados Obtidos para 64 Amostras/ciclo; Carregamento 90

Caso F_{osc} [Hz]	Incidência da Oscilação [s]	Deteção do transitório [s]	Classificação da oscilação estável [s]
-7	0.992	0.99212	0,99836
	0.995	0.99526	1,0012
	0.998	0.99814	1,0046
	1.002	1,0021	1,0083
	1.005	1,0053	1,0096
	1.008	1,0083	1,0143
-4	0.992	0.99212	0,99836
	0.995	0.99525	01,0016
	0.998	0.99810	1,0045
	1.002	1,0022	1,0085
	1.005	1,0053	1,0092
	1.008	1,0083	1,0146
-1	0.992	0.99212	0,99834
	0.995	0.99526	01,0016
	0.998	0.99814	1,0045
	1.002	1,001	1,0082
	1.005	1,0051	1,0095
	1.008	1,0081	1,0143
1	0.992	0.99213	0,99836
	0.995	0.99521	01,0015
	0.998	0.99812	1,0046
	1.002	1,002	1,0085
	1.005	1,0052	1,0096
	1.008	1,0084	1,0146
4	0.992	0.99212	0,99836
	0.995	0.99525	01,0015
	0.998	0.99814	1,0046
	1.002	1,002	1,0085
	1.005	1,0054	1,0093
	1.008	1,0082	1,0142
7	0.992	0.99213	0,99836
	0.995	0.99525	01,0015
	0.998	0.99813	1,0045
	1.002	1,0022	1,0086
	1.005	1,0054	1,0095
	1.008	1,0083	1,0143

Tabela 11 – Resultados Obtidos para 32 Amostras/ciclo; Carregamento 30

Caso F_{osc} [Hz]	Incidência da Oscilação [s]	Deteccção do transitório [s]	Classificação da oscilação estável [s]
-7	0.992	0.99212	1.0051
	0.995	0.99525	1,0083
	0.998	0.99837	1,0114
	1.002	1,002	1,0458
	1.005	1,0051	1,0947
	1.008	1,0083	1,0143
-4	0.992	0.99212	0,99836
	0.995	0.99525	01,0016
	0.998	0.99810	1,0045
	1.002	1,0022	1,0085
	1.005	1,0053	1,0092
	1.008	1,0083	1,0146
-1	0.992	0.99212	0,99834
	0.995	0.99526	01,0016
	0.998	0.99814	1,0045
	1.002	1,001	1,0082
	1.005	1,0051	1,0095
	1.008	1,0081	1,0143
1	0.992	0.99213	0,99836
	0.995	0.99521	01,0015
	0.998	0.99812	1,0046
	1.002	1,002	1,0085
	1.005	1,0052	1,0096
	1.008	1,0084	1,0146
4	0.992	0.99212	0,99836
	0.995	0.99525	01,0015
	0.998	0.99814	1,0046
	1.002	1,002	1,0085
	1.005	1,0054	1,0093
	1.008	1,0082	1,0142
7	0.992	0.99213	0,99836
	0.995	0.99525	01,0015
	0.998	0.99813	1,0045
	1.002	1,0022	1,0086
	1.005	1,0054	1,0095
	1.008	1,0083	1,0208

Tabela 12 – Resultados Obtidos para 32 Amostras/ciclo; Carregamento 60

Caso F_{osc} [Hz]	Incidência da Oscilação [s]	Deteção do transitório [s]	Classificação da oscilação estável [s]
-7	0.992	0.99212	1.0051
	0.995	0.99525	1,0083
	0.998	0.99837	1,0114
	1.002	1,002	1,0458
	1.005	1,0051	1,0947
	1.008	1,0083	1,0143
-4	0.992	0.99212	0,99836
	0.995	0.99525	01,0016
	0.998	0.99810	1,0045
	1.002	1,0022	1,0085
	1.005	1,0053	1,0092
	1.008	1,0083	1,0146
-1	0.992	0.99212	0,99834
	0.995	0.99525	01,0015
	0.998	0.99814	1,0045
	1.002	1,001	1,0083
	1.005	1,0052	1,0095
	1.008	1,0081	1,0142
1	0.992	0.99213	0,99836
	0.995	0.99521	01,0015
	0.998	0.99813	1,0046
	1.002	1,002	1,0085
	1.005	1,0052	1,0096
	1.008	1,0084	1,0146
4	0.992	0.99212	0,99836
	0.995	0.99525	01,0015
	0.998	0.99814	1,0046
	1.002	1,002	1,0085
	1.005	1,0054	1,0093
	1.008	1,0082	1,0142
7	0.992	0.99213	0,99836
	0.995	0.99525	01,0015
	0.998	0.99815	1,0045
	1.002	1,0022	1,0086
	1.005	1,0054	1,0096
	1.008	1,0083	1,0208

Tabela 13 – Resultados Obtidos para 32 Amostras/ciclo; Carregamento 90

Caso F_{osc} [Hz]	Incidência da Oscilação [s]	Deteccção do transitório [s]	Classificação da oscilação estável [s]
-7	0.992	0.99212	1.0051
	0.995	0.99525	1,0083
	0.998	0.99837	1,0112
	1.002	1,0022	1,0458
	1.005	1,0052	1,0947
	1.008	1,0083	1,0144
-4	0.992	0.99212	0,99836
	0.995	0.99525	01,0016
	0.998	0.99810	1,0045
	1.002	1,0022	1,0085
	1.005	1,0053	1,0092
	1.008	1,0083	1,0146
-1	0.992	0.99212	0,99834
	0.995	0.99526	01,0016
	0.998	0.99814	1,0045
	1.002	1,001	1,0082
	1.005	1,0051	1,0096
	1.008	1,0081	1,0143
1	0.992	0.99213	0,99836
	0.995	0.99521	01,0015
	0.998	0.99812	1,0046
	1.002	1,002	1,0085
	1.005	1,0052	1,0096
	1.008	1,0084	1,0146
4	0.992	0.99212	0,99836
	0.995	0.99525	01,0015
	0.998	0.99814	1,0046
	1.002	1,002	1,0085
	1.005	1,0054	1,0093
	1.008	1,0083	1,0143
7	0.992	0.99211	0,99834
	0.995	0.99525	01,0015
	0.998	0.99813	1,0045
	1.002	1,0021	1,0084
	1.005	1,0054	1,0095
	1.008	1,0083	1,0208