

Testes de Proteção contra Corrente Residual para Estação de Recarga em Corrente Alternada

Pedro H. Scherer¹, Valdemir Nunes de Miranda¹, Germano Giazzon Cavalli², Cassiano Rech¹

¹Grupo de Eletrônica de Potência e Controle - GEPOC, Santa Maria - RS, Brasil

¹Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria - RS, Brasil

²INTRAL SA, Caxias do Sul - RS, Brasil

pedro.scherer@acad.ufsm.br, valdemir.miranda@acad.ufsm.com.br, germano@intral.com.br, cassiano.rech@ufsm.br

Abstract—This work develops an AC charging station for electric vehicles (EVs) in Mode 3, capable of operating with 220 V in single-phase installations and 380 V in three-phase installations, with a power output of up to 22 kW. Designed in accordance with IEC 61851-1 standards, the station incorporates stringent safety measures, particularly in the control of leakage currents. Final tests, conducted on a dedicated platform, ensure the station's compliance with international safety standards.

Index Terms—Charging station, Electric vehicles, Alternating current, IEC 61851-1, Leakage currents

I. INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), mais de 1,2 milhão de veículos a combustão interna foram licenciados no Brasil de janeiro a julho do presente ano [1]. Entretanto, esse grande número gera tanto poluição sonora quanto ambiental, principalmente nos grandes centros urbanos, devido à queima de combustíveis fósseis [2]. Por outro lado, os veículos elétricos (VE's) não liberam gases poluentes enquanto estão em operação. O interesse por esses veículos tem crescido nos últimos anos, impulsionado pelo aumento das preocupações ambientais [3]. Como resultado, alternativas têm sido exploradas para substituir os tradicionais veículos com motores a combustão interna por outros que não dependam de combustíveis fósseis como fonte de energia. A principal dessas alternativas são os veículos elétricos a bateria, que têm recebido bastante atenção nos últimos anos. Isso se deve ao fato de que, ao converterem a energia armazenada na bateria em potência para a tração das rodas, eles reduzem significativamente as emissões de gases de efeito estufa, especialmente quando a energia utilizada provém de fontes renováveis [4].

Contudo, para que esses veículos funcionem, é necessário recarregá-los, e o processo de recarga tende a ser demorado. Entretanto, essa recarga pode ser realizada em praticamente qualquer lugar, desde que haja um carregador compatível com as características da rede elétrica disponível e do VE. No que diz respeito à velocidade de recarga, a norma internacional IEC61851-1 [5] define quatro modos de carregamento, com diferentes graus de consumo energético, sendo o Modo 4 o mais rápido e, por consequência, o que mais demanda corrente. Além disso, existe uma diferença na forma como a energia é fornecida ao VE. Nos Modos 1, 2 e 3, a energia é fornecida em CA, enquanto no Modo 4, a energia é fornecida em CC.

Com a finalidade de garantir a segurança do usuário do VE principalmente durante o seu carregamento, a IEC 61851-1 [5] define parâmetros máximos relacionados a correntes de fuga nestas estações.

Portanto, este trabalho tem como objetivo verificar a proteção contra corrente residual de uma estação de recarga CA projetada para VE no Modo 3, alimentada em 220 V em instalações monofásicas ou 380 V em trifásicas, com corrente máxima de 32 A e potência de até 22 kW. A estação atende às camadas de segurança da IEC 61851-1 [5] e utiliza componentes regulamentados. Para verificar o cumprimento das normas de segurança, foi utilizada uma plataforma de testes dedicada à detecção de corrente de fuga.

II. ESTAÇÃO DE RECARGA CA PARA VE

Para que possam ser vendidas, as estações de carregamento de VE devem cumprir os requisitos das normas em vigor. No Brasil, essas normas seguem as diretrizes da *International Electrotechnical Commission* (IEC), e abrangem principalmente aspectos de segurança, comunicação e conexão com os VE [5]. Estes aspectos serão explicados a seguir.

A. Requisitos de segurança

Sobre os requisitos de segurança a IEC 61851 - 1 define os seguintes requisitos:

1) *Chave de manobra*: A chave comutadora responsável por controlar o fornecimento de energia deve ter uma corrente nominal de operação igual ou superior à corrente máxima que a estação pode fornecer, além de um tempo de atuação inferior a 100 ms. Ela também deve estar em conformidade com a norma IEC 60947-4-1 (2018), que especifica os requisitos mínimos para contadoras [6].

2) *Proteção contra sobrecarga*: A proteção contra sobrecarga deve ser feita por meio de um disjuntor, com um tempo de atuação menor ou igual a 1 minuto caso a corrente ultrapasse 1,3 vezes o limite permitido pelo cabo de recarga.

3) *Aterramento das partes*: Todas as estações de recarga devem possuir um condutor de proteção, que, juntamente com as partes metálicas expostas, deve estar devidamente conectado ao sistema de aterramento, conforme as recomendações da NBR 5410 (2004). Em caso de perda do condutor de proteção, a estação de recarga deve interromper automaticamente o fornecimento de energia [7].

4) *Proteção contra correntes de fuga:* As estações de recarga devem ser protegidas contra correntes de fuga alternadas ou contínuas pulsadas de 30 mA ou mais, além de correntes puramente contínuas superiores a 6 mA. Em caso de detecção dessas correntes, o fornecimento de energia deve ser interrompido, e todos os condutores vivos devem ser desenergizados [5]. Se o sistema de alimentação de um VE utilizar uma tomada ou tomada móvel para CA conforme a IEC 62196, é necessário implementar proteção contra corrente de fuga em CC. Isso pode ser feito com um dispositivo diferencial residual do tipo B ou com um dispositivo do tipo A, junto com equipamentos que garantam a desconexão da alimentação se a corrente de fuga em CC exceder 6 mA [8].

B. Plugues e Tomadas

Para recarga em CA, os dois principais padrões de plugues e tomadas são o Tipo 1 SAEJ1772 [9] e o Tipo 2 IEC62196 [10]. O plugue Tipo 1, amplamente utilizado na América do Norte e no Japão, foi projetado para suportar recargas em CA monofásica, fornecendo até 7,4 kW de potência. Em contraste, o plugue Tipo 2, que é o padrão predominante na Europa, suporta recargas tanto em CA monofásica quanto trifásica, com uma capacidade de até 22 kW em instalações trifásicas e 7,4 kW em monofásicas. Para este desenvolvimento foi adotado o padrão de plugues e tomadas do Tipo 2, pois o mesmo permite recargas de potências mais elevadas, nível de segurança maior em comparação com o outro padrão e também é o tipo adotado na maioria dos VE comercializados no Brasil [3].

C. Identificação do cabo de recarga

Tanto a estação de recarga quanto o VE identificam a conexão do cabo de recarga através do pino de proximidade (PP). Nos plugues e tomadas Tipo 2, esse pino também informa a corrente nominal permitida pelo cabo, codificada por meio de uma resistência conectada entre o pino PP e o pino de proteção (PE). Isso garante que o sistema ajuste a corrente de carregamento conforme as especificações do cabo, assegurando uma operação segura e eficiente [3].

D. Comunicação entre estação e o veículo

A comunicação entre a estação de recarga e o VE é realizada através do condutor piloto (CP), em um processo conhecido como função piloto. Para que essa função opere corretamente, é necessário o circuito piloto, que é dividido em duas partes: uma localizada na estação de recarga e outra no VE. Essas duas partes são conectadas através do cabo de recarga, permitindo a troca de informações essenciais para o controle e segurança do processo de carregamento. A Fig. 1 ilustra o circuito piloto tanto na estação quanto no veículo.

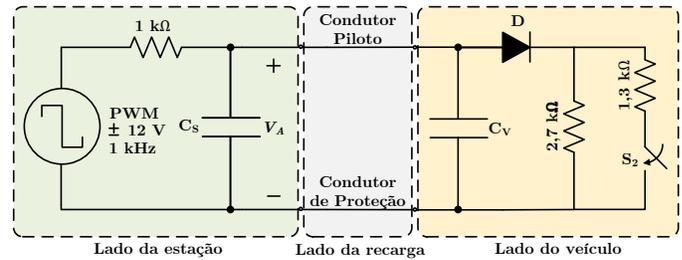


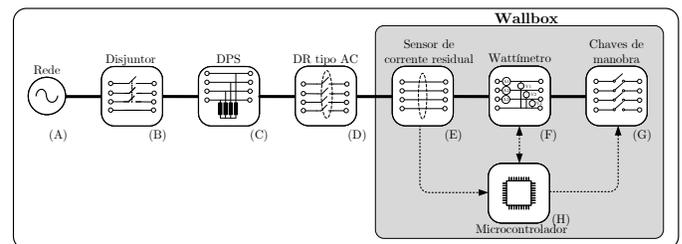
Fig. 1. Circuito da função piloto

E. Informações fornecidas pela estação e pelo VE

A estação de recarga utiliza um sinal modulado por largura de pulso (PWM – *Pulse Width Modulation*) para informar ao VE se está pronta para realizar a recarga. Quando a estação não está disponível, a razão cíclica do PWM será de 0% ou 100%. Caso a estação esteja disponível, a razão cíclica do PWM estará entre 10% e 96%, indicando a corrente máxima que o VE pode drenar naquele momento. O circuito piloto no lado do VE é composto por uma associação de resistores e um diodo. Esse circuito tem a função de atenuar a parcela positiva do sinal PWM gerado pela estação, comunicando à estação de recarga o estado de VE por meio da tensão medida.

III. PROJETO DA ESTAÇÃO DE RECARGA

A estação de recarga em CA sob desenvolvimento é composta por oito partes, como ilustra a Fig. 2. Devido a limitação de páginas do artigo, serão expostos apenas os circuitos de controle e condicionamento de sinal, condicionamento do sinal V_A , chaves de manobra e o dispositivo de monitoramento de corrente residual.



Estação de recarga CA

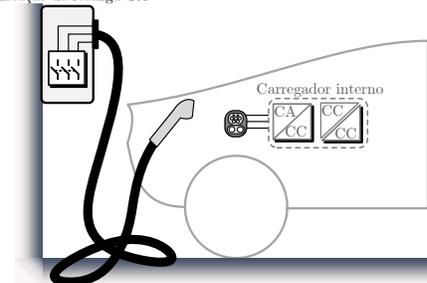


Fig. 2. Sistema sob análise

A. Circuito de controle e condicionamento de sinal

Uma das principais funções da estação de recarga é gerar um sinal PWM de ± 12 V onde junto com esta amplitude a razão cíclica codifica os estados do processo de recarga. A saída do microcontrolador utilizado não possui este nível de tensão, então aplicou-se o circuito da Fig. 3 com a finalidade de amplificar o sinal até alcançar os níveis exigidos em norma.

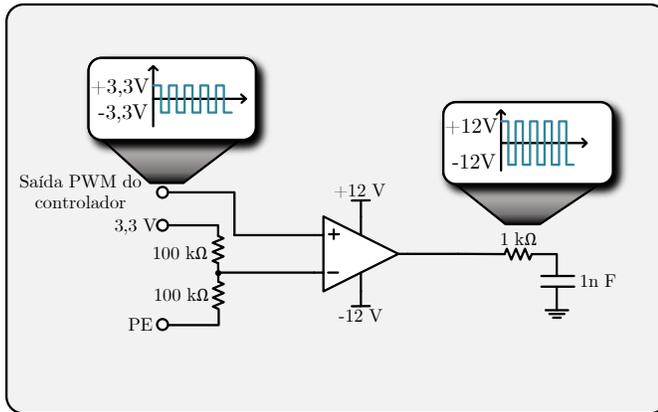


Fig. 3. Circuito de amplificação do sinal PWM

B. Condicionamento do sinal V_A

Para realizar a leitura da amplitude do sinal PWM proveniente do circuito piloto, utilizou-se uma entrada analógica do microcontrolador. As portas tanto analógicas quanto digitais deste microcontrolador excursionam até 3,3 V e o sinal PWM níveis de até 12V, logo aplicou-se um circuito de condicionamento, onde realiza-se uma atenuação do sinal e acrescido um *offset*. No circuito da Fig. 4 utilizou-se amplificadores operacionais tanto para realizar as atenuações necessárias quanto na proteção do pino do microcontrolador.

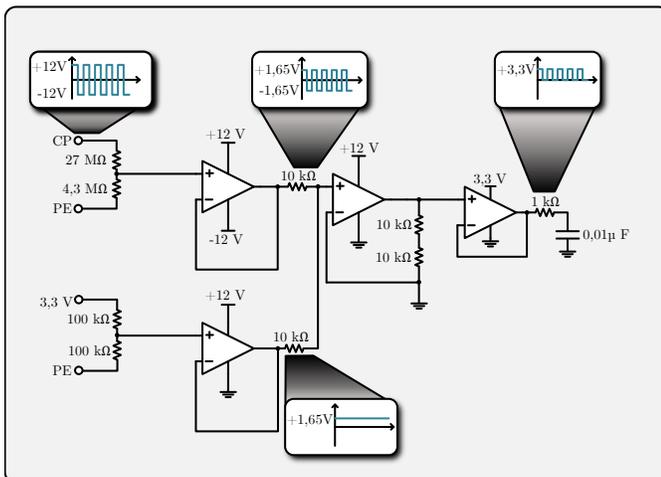


Fig. 4. Condicionamento do sinal V_A

C. Circuito de acionamento das chaves de manobra

Conforme a norma IEC 61851-1, é necessário o uso de uma chave de manobra que opere em menos de 100 ms e tenha uma vida útil de 100.000 ciclos para desconectar a energia da rede elétrica do VE. Para essa aplicação, foram escolhidos relés específicos para estações de recarga em modo 3, em conformidade com as normas, preferidos aos contadores por reduzir o peso e o volume da estação [5], [6]. O acionamento é feito por transistores bipolares nas regiões de corte e saturação, com um diodo de roda livre instalado em paralelo à bobina para dissipar a energia e proteger contra picos de tensão e transientes.

D. Dispositivo de monitoramento de corrente residual

Para garantir a proteção do usuário, as normas IEC 61851-1 e IEC 62955 estabelecem os níveis de corrente e o tipo de sinal que a estação de recarga deve monitorar para assegurar a desconexão segura [5], [8]. Para cumprir essa função, optou-se por utilizar uma solução comercial que atende aos requisitos das normas e que pode ser facilmente integrada a uma placa de circuito impresso, requisitos estes dificilmente encontrados em outros dispositivos da mesma categoria. Este dispositivo opera como um transformador de corrente, monitorando tanto os condutores de fase quanto o neutro, e detectando qualquer acréscimo indevido de corrente. Além de detectar, o dispositivo interpreta o tipo de sinal da corrente residual, acionando diferentes *triggers* que são interpretados pelo microcontrolador, permitindo assim distinguir entre uma falha por corrente pulsada, senoidal ou uma corrente puramente CC. A comunicação entre o dispositivo e o microcontrolador é realizada de forma digital, onde apenas a mudança de estados dos pinos do sensor indica a falha ocorrida.

IV. METODOLOGIA DO ENSAIO APLICADO

Durante o processo de recarga, a carcaça do VE está conectada ao condutor de proteção da instalação elétrica através do cabo de recarga e caso surgir correntes residuais devido a uma falha interna ao veículo, como por exemplo o isolamento se romper e as partes metálicas forem energizadas, essas correntes podem ser transferidas para a instalação elétrica [11]. Dessa forma, o RCD (dispositivo de corrente residual) é responsável por atuar e proteger tanto os usuários quanto a instalação. Portanto, os testes foram realizados para verificar a atuação em conjunto de todos os dispositivos (E, H e G da Fig.2), que compõem o dispositivo sob teste (DUT), e analisar se estão em conformidade com os requisitos estabelecidos para tempo de atuação e o nível da corrente de disparo.

A. Equipamentos utilizados

Para a realização dos ensaios, foram utilizados dois equipamentos principais: o *Fluke FEV 300* e o *Fluke 1663*. O FEV 300 é um adaptador de teste para estações de recarga, destinado à emulação do circuito piloto do lado do VE, conforme mostrado na fig. 1. Ele permite alterar os estados do veículo durante a recarga, conforme a máquina de estados especificada na IEC 61851-1 [5], possibilitando a alternância

entre os estados A (VE desconectado), B (cabo conectado) e C (VE pronto para carregar).

Já o *Fluke 1663* é um testador multifunção de instalações que além de outras funções, realiza testes em dispositivos de corrente residual, medindo tanto a corrente quanto o tempo de disparo após a corrente diferencial-residual de funcionamento nominal ($I_{\Delta n}$) ser estabelecida. Ele permite testar RCDs classificados segundo a IEC 60755 [12], como o Tipo AC (para correntes residuais sinusoidais de 50/60 Hz) e o Tipo A (que também detecta correntes residuais pulsadas). Além disso, o testador avalia dispositivos de proteção RDC-DD, que detectam correntes residuais contínuas suaves, conforme a norma IEC 62955 [8]. Em conjunto com estes equipamentos, foi utilizado um osciloscópio com ponteiros isoladas de tensão e corrente para verificar os tempos de atuação e a corrente residual de disparo.

B. Descrição dos testes

Ao todo foram realizados dois testes para cada tipo de corrente residual, visando determinar o tempo e o nível da corrente de disparo, totalizando seis testes. Para medir o tempo de disparo, $I_{\Delta n}$ é calibrada no testador e aplicada, fazendo circular uma corrente residual pelo o condutor de proteção da instalação. O intervalo de tempo é medido desde o estabelecimento da corrente até a atuação do dispositivo em teste. Por outro lado, para determinar o nível de disparo, realiza-se um aumento gradual da corrente de teste (ensaio em rampa) para identificar o nível em que o dispositivo atua.

1) *Testes para corrente diferencial-residual alternada*: Para analisar o tempo de disparo de um dispositivo de corrente diferencial-residual alternada, é estabelecida uma corrente $I_{\Delta n}$ de 30 mA. De acordo com a IEC 61008-1 [13], o tempo máximo permitido para a atuação do DUT neste caso é de 300 milissegundos. Para verificar a corrente de disparo, realiza-se um outro teste com o testador multifunção, iniciando com uma corrente residual diferencial de $0,2 I_{\Delta n}$ e aumentando progressivamente até atingir o valor de $I_{\Delta n}$ em menos de 30 segundos. Se o DUT atuar (ou seja, abrir o mecanismo de manobra) durante o aumento da corrente residual, a corrente medida no momento da abertura, ou seja quando a tensão vai para 0 V, é considerada a corrente de disparo sendo que esta deve estar entre 15 a 30 mA. Caso contrário, o dispositivo sob teste não está de acordo com as normas relacionadas. [13].

2) *Testes para corrente diferencial-residual continua pulsada*: Neste caso, para realizar o teste do tempo de disparo, a corrente calibrada pelo testador multifunção após ser selecionado a corrente nominal do dispositivo em teste, é de $1,4I_{\Delta n}$, sendo que o tempo de atuação também deve ser no máximo 300 milissegundos após a corrente de teste ser estabelecida. No teste de rampa, para verificar a corrente de disparo, a corrente de teste é incrementada de forma a atingir $I_{\Delta n}$ eficaz de 30 mA, sendo que a corrente de disparo pode estar entre 10,5 e 42 mA ($0,35$ a $1,4I_{\Delta n}$).

3) *Testes para corrente diferencial-residual continua suave*: Para o teste do tempo de disparo, no caso de uma corrente diferencial-residual contínua suave, é aplicada repentinamente

uma corrente de 6 mA no circuito e de acordo com a IEC 62955, o DUT deve atuar em no máximo 10 segundos. Visando verificar a corrente de disparo, a corrente residual é aumentada continuamente, começando de um valor não superior a 2 mA e tentando atingir 6 mA em 30 segundos. A corrente de disparo é então medida, e o valor medido deve estar entre 3 e 6 mA CC [8].

C. Metodologia de Aplicação

Para a execução dos seis testes, seguiu-se um padrão sequencial conforme descrito abaixo:

- Conectar o emulador do circuito piloto ao plugue de saída da estação de recarga e ajustar o seletor para o estado A, representando o veículo desconectado.
- Iniciar a recarga colocando o emulador no estado B, autorizando a recarga pela estação e, em seguida, selecionar o estado C para aplicar tensão na saída e nos equipamentos conectados.
- Ajustar $I_{\Delta n}$ e iniciar o teste.
- Capturar a forma de onda no osciloscópio e medir o tempo ou a corrente de disparo de acordo com o teste.
- Alterar o emulador para o estado A, desconectar o VE e reinicializar o monitor de corrente residual.
- Repetir os passos para os testes subsequentes.

V. RESULTADOS

Com base na metodologia de ensaio tratada anteriormente e com todo o *setup* de testes já montado conforme apresentado na Fig. 5, todos os testes foram executados. Os testes foram realizados nas dependências do Laboratório de Mobilidade Elétrica, pertencente ao Grupo de Eletrônica de Potência e Controle da Universidade Federal de Santa Maria (GEPOC/UFSM) e situado no Instituto de Redes Inteligentes (INRI).

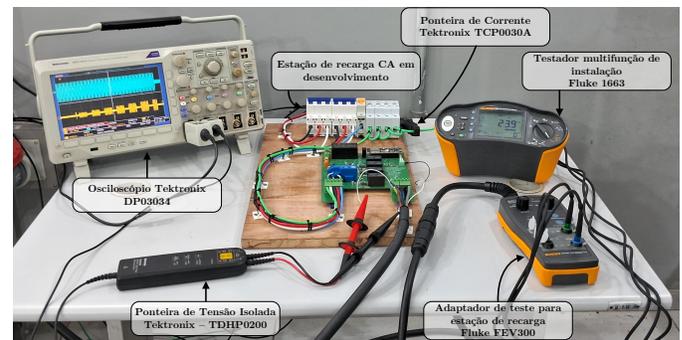


Fig. 5. Plataforma de testes

É possível observar na Fig. 5 todos os equipamentos utilizados, já mencionados anteriormente. A figura mostra, por exemplo, a posição das ponteiros, com a de tensão posicionada nos bornes de saída da estação para o VE e a ponteira de corrente posicionada no condutor PE da instalação. Além do mais, é possível verificar o testador multifunção conectado ao emulador do VE, e este último conectado a estação de recarga, o que também demonstra a estrutura de ligação de todos os

equipamentos. A seguir serão, abordado os resultados para cada um dos testes realizados.

A. Corrente diferencial-residual alternada 30 mA

Os primeiros testes realizados, foram para corrente diferencial-residual alternada, com valor de funcionamento nominal $I_{\Delta n}$ de 30 mA. Pela Fig. 6, é possível verificar o aumento da amplitude da corrente de teste, representada pelo canal 1 do osciloscópio na janela de zoom do mesmo, situada na parte superior da tela. Portanto, a corrente residual circulando para o PE, foi aumentando gradativamente, sendo esta estabelecida pelo testador multifunção.

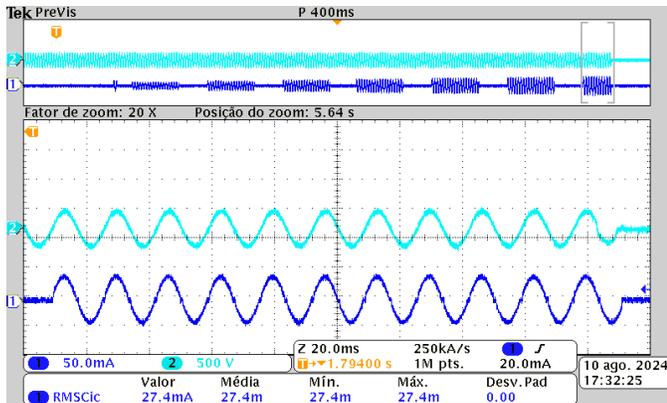


Fig. 6. Teste de rampa para corrente diferencial-residual alternada

Quando o nível de corrente de teste atingiu um valor eficaz de aproximadamente 27,4 mA, o monitor de corrente residual enviou um sinal ao microcontrolador, que então abriu o dispositivo de manobra da estação. A forma de onda da corrente de teste na última parte da rampa, capturada pelo osciloscópio, está exibida em zoom na tela. A medida *RMSCic* indica o valor de corrente eficaz estabelecido antes da atuação do dispositivo sob teste, que representa a corrente de disparo para este caso. Portanto, para este teste de corrente diferencial-residual alternada de 30 mA, o resultado foi positivo, atendendo aos requisitos estabelecidos pela IEC 61008-1 [13], uma vez que $0,5 I_{\Delta n} \leq 27,4 \text{ mA} \leq I_{\Delta n}$.

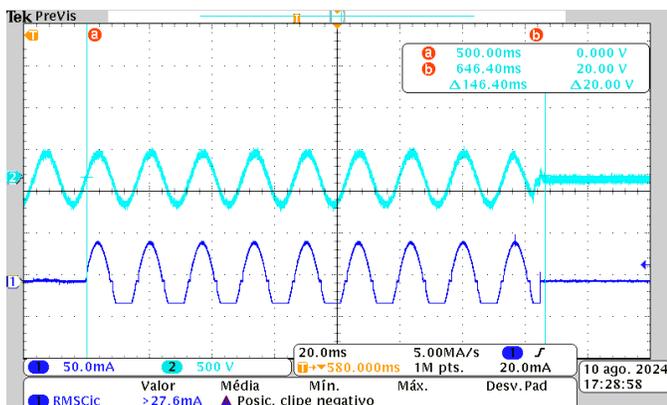


Fig. 7. Tempo de resposta para corrente diferencial-residual alternada

A Fig. 7 ilustra o teste realizado para determinar o tempo de resposta do dispositivo sob teste após o estabelecimento da corrente nominal de 30 mA. O intervalo de tempo (ΔT), medido desde o momento em que a corrente é estabelecida (cursor A) até a tensão cair para 0 V, indicando a abertura da chave de manobra da estação (cursor B), foi de aproximadamente 146,4 milissegundos. Este resultado atende ao requisito de estar abaixo do limite de 300 milissegundos estabelecido pela norma [13].

B. Corrente diferencial-residual contínua pulsada 30 mA

Outro teste realizado visou determinar a corrente de disparo para uma corrente contínua pulsada. Utilizou-se um teste de rampa com corrente pulsada, onde a amplitude da corrente de teste é aumentada gradualmente. Quando a corrente eficaz atinge aproximadamente 24,5 mA, ocorre a abertura do dispositivo de manobra. Isso é ilustrado na Fig.8.

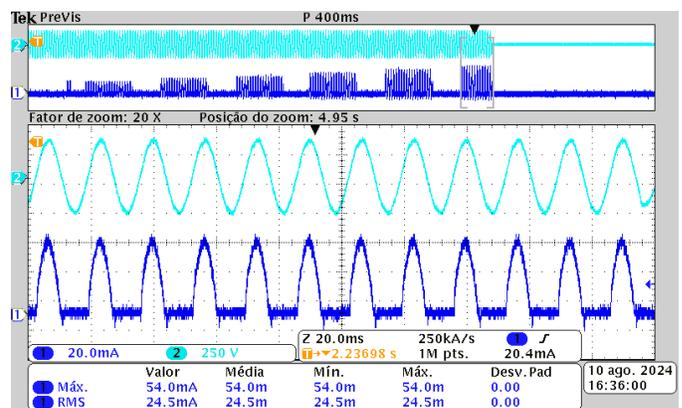


Fig. 8. Teste de rampa para corrente diferencial-residual contínua pulsada

Já a Fig.9 a seguir, apresenta o tempo de resposta do dispositivo em teste, no caso de aparecer de forma repentina uma corrente diferencial-residual contínua pulsada. Nesta situação, o dispositivo sob teste tem no máximo 300 milissegundos para responder e abrir os mecanismo de manobra [13]. Dessa forma, para corrente diferencial-residual contínua pulsada, foi atendido os requisitos de tempo de resposta e nível da corrente de disparo, sendo 24,5 mA e 132,2 milissegundos.

C. Corrente diferencial-residual contínua suave 6 mA

Nos testes de corrente diferencial-residual contínua suave, o teste de rampa é iniciado com uma corrente de 2 mA. Conforme descrito na metodologia, esse valor é aumentado gradualmente até atingir a corrente de funcionamento nominal $I_{\Delta n}$, que para esta situação é de 6 mA. A Fig. 10 apresenta o resultado obtido para este teste.

Conforme ilustrado na Fig. 10, pode-se observar que, quando o valor eficaz atingiu 5,07 mA, ocorreu a atuação do dispositivo em teste, resultando na queda da tensão para 0 V (canal 2 do osciloscópio). Deste modo, é possível destacar que a corrente de disparo corresponde ao valor *RMSCic* calculado no final da rampa, com o auxílio do zoom do osciloscópio.

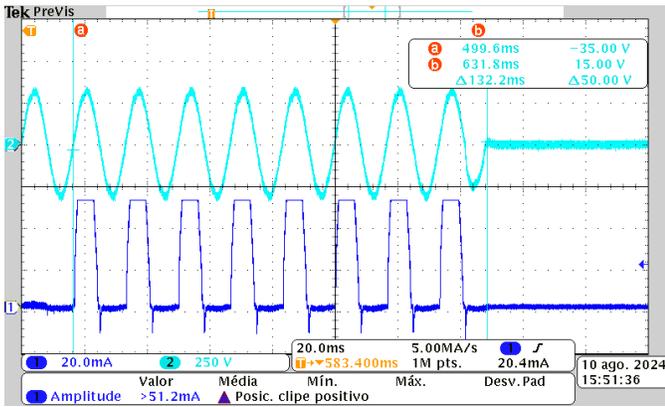


Fig. 9. Tempo de resposta para corrente diferencial-residual continua pulsada

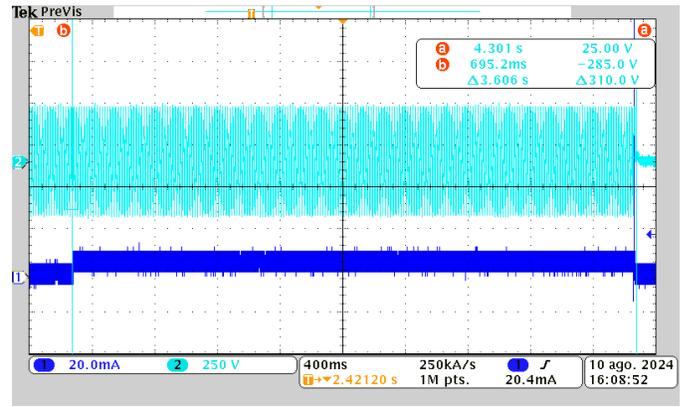


Fig. 11. Tempo de resposta para corrente diferencial-residual continua suave

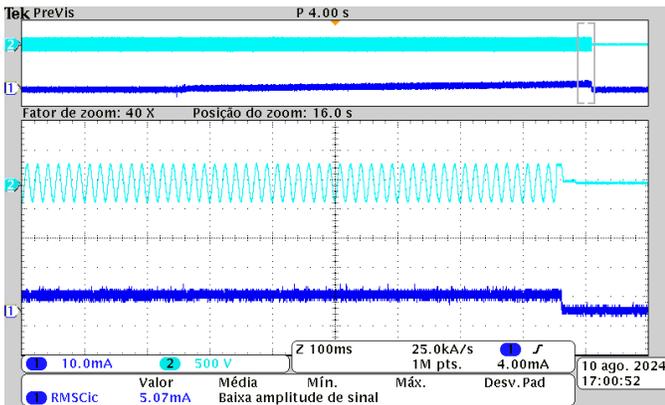


Fig. 10. Corrente diferencial-residual continua suave

A Fig. 11 mostra o resultado do tempo de disparo quando a corrente nominal de 6 mA é aplicada. O tempo de disparo é medido desde o momento em que essa corrente é estabelecida até o instante em que o dispositivo em teste abre seu mecanismo de manobra. Assim, o ΔT é calculado como a diferença entre o cursor B e o cursor A no osciloscópio. O valor obtido foi de 3,6 segundos, que está dentro dos requisitos estabelecidos pela norma, que especifica um tempo máximo de 10 segundos para uma corrente contínua de 6 mA [8].

VI. CONCLUSÃO

Como proposto inicialmente, a finalidade deste trabalho foi realizar testes para verificar os dispositivos de proteção de corrente residual em uma estação de recarga Modo 3 em desenvolvimento. Com os resultados apresentados, é possível concluir que a estação testada está em conformidade com as exigências das normas internacionais, e que a plataforma utilizada para esses testes é de grande valor para futuras análises relacionadas ao tema.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho contou com o apoio da Associação Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII), em parceria com a unidade do Instituto de Redes Inteligentes

(INRI) da UFSM, Grupo de Eletrônica de Potência e Controle (GEPOC) e por fim com a empresa INTRAL SA.

REFERENCES

- [1] Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), "Carta da anfavea," 2024, acesso em: 10 ago. 2024. [Online]. Available: <https://anfavea.com.br/site/carta-da-anfavea/>
- [2] S. Zhang, Y. Wu, H. Liu, R. Huang, P. Un, Y. Zhou, and J. Hao, "Real-world fuel consumption and co2 emissions of urban public buses in beijing," *Applied Energy*, vol. 113, pp. 1645–1655, 2014.
- [3] J. M. d. R. Cassiano Rech, "Sistema automatizado de testes de estações de recarga de veículos elétricos em corrente alternada," in *Seminário de Eletrônica de Potência e Controle (SEPOC)*. Grupo de Eletrônica de Potência e Controle, Universidade Federal de Santa Maria, 2022, p. 6.
- [4] J. M. da Rosa, "Plataforma em tempo real para desenvolvimento e ensaios de estações de recarga rápida de veículos elétricos," Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2024.
- [5] IEC, "Electric vehicle conductive charging system - part 1: general requirements (IEC Standard No. 61851-1)," p. 141, 2017.
- [6] —, "Dispositivo de manobra e comando de baixa tensão - parte 4-1: Contadores e chaves de partidas de motores - contadores e chaves de partidas de motores eletromecânicos (IEC Standard No.60947-4-1)," p. 130, 2018.
- [7] NBR, "Instalações elétricas de baixa tensão (NBR5410)," p. 273, 2004.
- [8] IEC, "Dispositivo de detecção de corrente contínua residual (rdc-dd) a ser usado para carregamento de veículos elétricos no modo 3 (IEC Standard No.62955)," p. 315, 2018.
- [9] SAE, "Sae electric vehicle and plug in hybrid electric vehicle conductive charge coupler (SAE1772)," p. 116, 2017.
- [10] IEC, "Plugues, tomadas, tomadas móveis para veículos elétricos e plugues fixos para veículos elétricos - recarga condutiva para veículos elétricos parte 1: Requisitos gerais (IEC Standard No.62196)," p. 87, 2021.
- [11] Digi-Key, "How to use residual current monitors to ensure electrical safety when charging electric vehicles," 2023, acesso em: 10 ago. 2024. [Online]. Available: <https://www.digikey.com/en/articles/how-to-use-residual-current-monitors-to-ensure-electrical-safety-when-charging-electric-vehicles>
- [12] IEC, "General safety requirements for residual current operated protective devices (IEC Standard No. 60755)," p. 65, 2017.
- [13] —, "Residual current operated circuit-breakers without integral over-current protection for household and similar uses (rccb) - part 1: General rules (IEC Standard No.61008-1)," p. 160, 2022.