© REVISTA INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SOCIEDADE 2020, vol. 3, n. 1, pp. 32-54 ISSN 2184-4569

https://doi.org/10.37334/ricts.v3i1.30

ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA EM POSTOS DE CARREGAMENTO DE BICICLETAS ELÉTRICAS

Analysis of energy quality in electric bicycle charging stations

RODINO, Analcísio António[1]

Resumo

O presente artigo visa analisar o impacto que as bicicletas elétricas introduzidas na mobilidade nacional e, consequentemente, a necessidade de carregamento da bateria regularmente podem causar na qualidade de energia elétrica distribuída. O estudo foi conduzido por meio de método analítico, que inclui a análise dos ensaios de carregamento. Para tal, recorreu-se aos ensaios feitos num posto de carregamento rápido de veículo elétrico, de forma a obter uma análise do impacto desta tecnologia na rede de distribuição elétrica. Para os dados recolhidos (tensão, corrente, potências, conteúdo harmónico e equilíbrio de fases), foram apenas analisados os valores médios de cada grandeza, com exceção do conteúdo harmónico em cada ordem, para os quais foram analisados os valores máximos. O registo dos dados foi feito de forma contínua durante todo o intervalo de carregamento, com períodos de amostragem de 1 segundo.

Abstract

This article aims to analyze the impact that electric bicycles introduced on national mobility and, consequently, the need to charge the battery regularly can cause on the quality of distributed electric energy. The study was conducted using an analytical method, which includes the analysis of loading tests. For this, tests were carried out at an electric vehicle fast charging station, in order to obtain an analysis of the impact of this technology on the electrical distribution network. For the collected data (voltage, current, power, harmonic content and phase balance), only the average values of each quantity were analyzed, except for the harmonic content in each order, for which the maximum values were analyzed. The data were recorded continuously throughout the loading interval, with sampling periods of 1 second.

Palavras-chave: *Bicicleta elétrica; Posto de Carregamento; Qualidade de Energia.*

Key-words: *Electric Bicycle; Charging Station; Energy Quality.*

Data de submissão: Janeiro de 2020 | **Data de publicação**: Março de 2020.

[1] ANALCÍSIO ANTÓNIO RODINO – Academia de Pescas e Ciências do Mar do Namibe (Coordenação de Engenharia Eletrotécnica e Eletrónica Industrial). ANGOLA. E-mail: analcisio@hotmail.com.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, têm vindo a crescer os problemas de mobilidade urbana. E uma das possíveis soluções para estes problemas poderá ser a adoção da mobilidade elétrica com bicicletas. Esta alternativa de mobilidade nas cidades oferece uma opção de transporte rápido, barato e eficiente para viagens de curta distância, com menor emissão de carbono quando comparada com um veículo de combustão interna. Para obter esses benefícios, muitas cidades promovem o ciclismo usando diferentes políticas, particularmente através da implementação de projetos de partilha de bicicletas (Adhisuwignjo, Siradjuddin, Rifa'I, & Putri, 2017). O esquema de partilha de bicicletas como um sistema de transporte alternativo tem vindo a crescer rapidamente em todo o mundo. Cidades em diferentes partes do mundo investem em sistemas de partilha de bicicletas para melhorar a sua mobilidade e promover a redução da dependência do automóvel (Baptista et al., 2015). As bicicletas elétricas não são apenas adequadas para condução em grandes cidades, mas também particularmente útil para pessoas que vivem em áreas montanhosas ou ventosas, onde andar de bicicleta convencional gastaria mais energia física para superar a resistência do vento ou subidas (Hung, Sung, Kim, & Lim, 2017).

Angola, apesar de em termos energéticos ser um país caracterizado por uma elevada dependência da energia fóssil, atualmente aposta bastante na forte implementação de energias renováveis, promovendo a utilização de fontes de energia endógenas. Estas apostas em exploração de recursos endógenos justifica a introdução das tecnologias de bicicletas elétricas no quotidiano angolano.

Portanto, com a introdução das bicicletas elétricas na mobilidade nacional e, consequentemente, a sua necessidade do carregamento regular da sua bateria, é de esperar que estas possam estimular algum impacto nas redes elétricas. Por esta razão, surge assim a necessidade de analisar o possível impacto que este meio de transporte possa provocar na qualidade da energia elétrica na rede.

1. BICICLETA ELÉTRICA

De acordo com a legislação portuguesa presente no Decreto-Lei n.º 44/2005, de 23/02, as bicicletas elétricas são velocípedes equipados com motor elétrico auxiliar de potência máxima contínua de 0,25 kW, cuja alimentação é reduzida progressivamente com o aumento da velocidade e é interrompida se esta atingir uma velocidade de 25 km/h, ou se o condutor deixar de pedalar. O mesmo decreto alerta também que, o uso de capacete durante a condução deve ser devidamente ajustado e apertado. Finalmente, o decreto termina salientando que, é obrigatório que a bicicleta de propulsão elétrica arranque usando somente a força humana.

As bicicletas elétricas (BE ou E-bikes) são divididas em duas categorias principais; as e-bikes de tipo “acelerador” ou bicicletas motorizadas (PB) e as e-bikes "pedelec" ou bicicletas assistidas por energia (PAB). O primeiro tipo está equipado com um interruptor no volante que permite ao usuário ligar/desligar o motor e/ou variar a sua energia, enquanto na alternativa 'pedelec' o motor funciona apenas em resposta ao pedal do usuário. Em muitos países é exigido por lei que o usuário tenha que pedalar para que o motor funcione. Na Europa, as e-bikes são classificadas como bicicletas regulares somente quando estão equipadas com um motor elétrico que possui uma potência nominal máxima de 250 W e com uma velocidade máxima de 25 km/h (Thomas, Klonari, Vallee, & Ioakimidis, 2015).

1.1. Breve história da bicicleta elétrica

Por meio de um pequeno levantamento das patentes sobre bicicletas elétricas, é possível fazer uma breve história da bicicleta elétrica. Assim sendo:

- A primeira bicicleta elétrica patenteada remonta ao ano de 1895, nos Estados Unidos da América, por Ogden Bolton Jr (Bolton, 1895);
- Dois anos mais tarde, em 1897 Hosea W. Libbey idealizou uma bicicleta elétrica cujo motor era incorporado no eixo da pedaleira, batizando assim com a segunda patente (Libbey, 1897);
- A terceira patente foi alcançada em 1899 por John Schnepf que projetou uma bicicleta elétrica, onde o motor era colocado sob a roda traseira, friccionando-a (Schnepf, 1899).

Com o decorrer dos anos foram surgindo novas patentes para bicicletas elétricas, porém a maior evolução deu-se na década de 90, devido ao avanço tecnológico da eletrónica de potência na área dos controladores de motores e sensores, bem como das baterias (Araújo, 2012). A evolução das baterias garantiu uma maior capacidade de armazenamento de energia, maior fiabilidade, maior robustez e principalmente um menor custo na sua aquisição, permitindo a utilização destas em bicicletas elétricas (Kim, Rhyu, & Jung, 2010).

3. PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ENERGIA

Classicamente, o objetivo do sistema de energia elétrica é gerar energia elétrica e entregar essa energia para o equipamento do usuário final com uma tensão aceitável. Os valores associados aos parâmetros que caracterizam um sinal de tensão ou corrente numa instalação elétrica podem ser alterados em função de variados fatores (arranque de motores, equipamentos constituídos por eletrónica de potência, iluminação por lâmpadas de descargas, etc.), e nesses casos, diz-se que a qualidade de energia do sinal foi afetada. Desta forma, podem ser produzidos vários tipos de perturbações elétricas, podendo referir-se os quatro tipos de problemas mais significativos: harmónicas, assimetria ou desequilíbrio de tensão, queda de tensão e flutuação de tensão (Shawon, Barczentewicz, & Kowalski, 2016).

3.1. Harmónicas

As correntes harmónicas são geradas pelas cargas não-lineares ligadas à rede, ou seja, quando a relação da tensão de carga e da corrente é não linear, o circuito produzirá harmónicas (Gao, Zhao, Zhou, & Ma, 2017). A circulação da corrente harmónica gera tensões harmónicas através das impedâncias da rede, e consequentemente uma deformação da tensão de alimentação.

Os sinais harmónicos são classificados quanto à sua ordem, frequência e sequência, como apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação das harmónicas.

Ordem	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	…
Frequência (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	…
Sequência	+	-	0	+	-	0	+	-	0	…

Fonte: Walcott (2017).

Da análise do Quadro 1 constata-se que existem harmónicas de ordens ímpar e par, onde as ímpares são de origem de corrente alternada e as pares de corrente contínua. As harmónicas de ordem ímpar são frequentes nas instalações elétricas em geral e as de ordem par existem nos casos de haver assimetrias do sinal devido à presença da componente contínua. É possível ainda observar que, as harmónicas têm uma sequência podendo esta ser positiva, negativa ou nula (zero). Os efeitos para cada sequência são:

Sequência positiva: Sobreaquecimentos;
Sequência negativa: Sobreaquecimentos e menor rendimento;
Sequência nula: Correntes harmónicas nas fases somam-se no condutor de neutro.

Existem três principais índices utilizados para mensurar as harmónicas de uma forma de onda, usados inclusive por órgãos reguladores e recomendações como critérios para se determinar os índices de qualidade de energia elétrica de determinado ponto da rede, bem como verificar se tais níveis são aceitáveis. Estes indicadores são: o DHT (Distorção Harmónica Total), DTD (Distorção Total da Demanda) e DHI (Distorção Harmónica Individual) (Costa, 2015; Cheng, 2014).

$$\mathrm{DHT_v}\ [\%] = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hmáx} V_h{}^2}}{V_1} \times 100$$

$$\mathrm{DTD_I}\ [\%] = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hmáx} I_h{}^2}}{I_1} \times 100$$

$$\mathrm{DHI_v}\ [\%] = \frac{V_h}{V_1} \times 100$$

Onde h é a ordem do harmónico; V é a tensão elétrica; I é a corrente elétrica.

3.2. Desequilíbrio de tensão

Os desequilíbrios nos sistemas trifásicos podem ser na tensão e na corrente, sendo o mais significativo na tensão. O desequilíbrio de tensão ocorre quando existem diferenças significativas entre os valores eficazes das tensões presentes na instalação.

Segundo a literatura, a definição de desequilíbrio de tensão é apresentada como a razão entre o componente de tensão de sequência negativa pelo componente de tensão de sequência positiva (Shawon, Barczentewicz, & Kowalski, 2016). O percentual de fator de desequilíbrio de tensão (% VUF), é dado por:

$$VUF\ [\%] = \frac{V^-}{V^+} \times 100$$

Para um conjunto de tensões não balanceadas, Va, Vb e Vc as tensões de sequência positiva e de sequência negativa (V^+ e V^-) são dadas por:

$$V^+ = \frac{V_a + aV_b + a^2V_c}{3}$$

$$V^- = \frac{V_a + a^2V_b + aV_c}{3}$$

onde a = -0,5 + j0,866 e a^2 = -0,5 - j0,866.

O desequilíbrio das tensões de fase influencia no desequilíbrio das correntes. Por exemplo, um desequilíbrio de 1% das tensões provoca um desequilíbrio das correntes de plena carga na faixa de 7,5 a 8,5 % e de 12,5 a 15 % em vazio (Henrique, Rezende, & Samesima, 2013). Portanto, a tensão da rede deve ser regularmente monitorizada e um desequilíbrio maior que 1% dever ser corrigido.

3.3. Queda de tensão

De acordo com a norma NP EN 50160, uma queda de tensão é definida como uma redução súbita do nível de tensão para um valor entre 90 % e 10 % do valor nominal, seguido de recuperação de tensão após um curto período de tempo. Normalmente, a duração da queda de tensão é de 10 ms a 1 minuto (Eslami, & Golshan, 2018).

Segundo os autores Nemes, Munteanu, Astanei, Larion e Adochitei (2017), uma queda de tensão é caracterizada pela sua profundidade e pela sua duração. E os autores Kapoor, Gupta, Son, Jha e Kumar (2018) acrescentam que, com base na duração, a queda de tensão pode ser separada em três classes largas. Essas classes são instantâneas, momentâneas e temporárias.

As quedas de tensão geralmente são causadas por falhas (por exemplo, curtos-circuitos) ou grandes mudanças de carga na rede. As quedas de tensão não estão localizadas apenas no local da falha, elas propagam-se através da rede, afetando os barramentos mais ou menos próximos da localização da falha. Dependendo do tipo de falha, os valores de tensão podem afetar uma, duas ou todas as três fases da rede (Nemes, Munteanu, Astanei, Larion, & Adochitei, 2017).

Portanto, a norma NP EN 50160 que descreve as características principais, no ponto de entrega ao cliente, da tensão de alimentação duma rede de distribuição pública em BT ou MT, em condições de exploração normais, exige que a profundidade máxima de tensão, em baixa tensão, seja de -15% da tensão nominal (Un) e para alimentação em média tensão, -10% da Un.

3.4. Flutuação de tensão

A flutuação da tensão é uma série de mudanças relativamente rápidas (aleatórias) ou contínuas no valor de uma tensão (Ruihua *et al.*, 2018). Se as variações são largas o suficiente numa certa faixa de frequência crítica, pode afetar o desempenho do equipamento.

Segundo Alshareef e Morsi (2017), a flutuação de tensão causa um fenómeno de cintilação, também conhecida na terminologia internacional (IEC) como flicker, que é percebido pelo ser humano como variação das intensidades do fluxo luminoso produzido pela lâmpada. Segundo a literatura, o nível de perturbação e sensação visual desagradável dependem do tipo de lâmpada e características (amplitude, frequência e duração) do flicker. A cintilação de tensão pode ser caracterizada com variações cíclicas na amplitude da tensão de ±10 % do valor nominal (Kapoor, Gupta, Son, Jha, & Kumar, 2018).

4. ESTUDO EXPERIMENTAL

Para o caso em estudo, uma vez que não se teve disponíveis as e-bikes para analisar o impacto no ponto de ligação à rede do posto de carregamento, utilizou-se os ensaios feitos pelas duas entidades: UBI e a ENFORCE. Estas mesmas entidades, realizaram ensaios ao comportamento do posto de carregamento rápido de um veículo elétrico, por meio de carregamentos parciais e um carregamento completo no referido posto, de forma a obter uma primeira análise do impacto desta tecnologia na rede de distribuição elétrica.

O objetivo dos ensaios é verificar o impacto no ponto de ligação à rede do posto de carregamento de veículos elétricos (incluindo bicicletas elétricas), através da análise de grandezas elétricas, como a variação de tensão, corrente, potência ativa e potência reativa, conteúdo harmónico e equilíbrio de fases.

4.1. Metodologias de ensaio

O procedimento de realização dos ensaios foi efetuado como indicam os pontos abaixo.

- Carregamento completo da bateria do Renault ZOE através do carregamento rápido:
  – De 63 % a 100 %.
- Carregamentos parciais da bateria do Renault ZOE através do carregamento rápido:
  – De 11 % a 72 % - o carregamento do veículo foi interrompido aos 72 % da capacidade de carga da sua bateria.
  – De 67 % a 98 % - o carregamento do veículo foi interrompido aos 98 % da capacidade de carga da sua bateria.

O primeiro carregamento do veículo teve início com a bateria a 67% do estado de carga (EC) máximo e terminou, por ação do utilizador quando o EC atingiu os 98 %. O segundo teve início a 11 % do EC e terminou, por ação do veículo quando a sua bateria atingiu os 72 %. No terceiro, e último ensaio, o carregamento da bateria do veículo foi iniciado a 63 % e terminou, por ação do veículo, quando este atingiu a totalidade da capacidade de carga da bateria (100 %), sendo este o carregamento completo.

Durante o decorrer dos ensaios foi monitorizado o perfil de carregamento do próprio veículo. A monitorização, teve como principal função descrever o comportamento do estado de carga em função do tempo. O equipamento Fluke, corretamente colocado no circuito de alimentação da estação, foi ligado instantes antes da inicialização do carregamento e desligado momentos depois. Para a recolha dos dados, foi selecionada uma amostragem ao segundo. Foram obtidas as seguintes grandezas: potência ativa e reativa, tensão, corrente, os valores de cos(ϕ) e conteúdos harmónicos. O posto é alimentado da rede elétrica por três fases a 230 V, fase-neutro.

5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

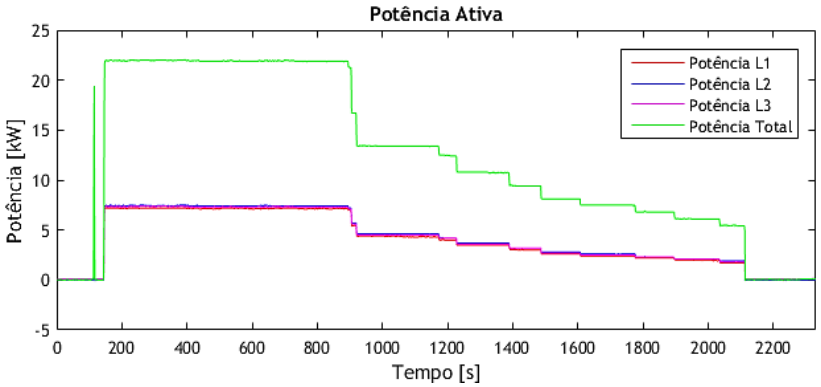
5.1. Carregamento 1

O ensaio teve uma duração de 38 minutos e 49 segundos, durante o qual foram carregados 32 pontos percentuais da bateria do veículo em 34 minutos, com temperatura ambiente exterior de 29 ºC. Durante o intervalo de carregamento foram consumidos 7.04 kWh.

Diagrama de carga

Na Figura 4 apresenta-se a evolução da potência ativa fornecida pelo Matlab. Nela podem ser observadas as potências nas três fases do sistema e a potência total, que resulta da soma das anteriores. O carregamento inicia-se com uma potência total perto da potência máxima, no entanto, o veículo interrompe o carregamento, liga as ventoinhas, e cerca de meio minuto depois, volta a permitir o carregamento, daí o primeiro pico visível no gráfico. Estes episódios podem ocorrer com outros veículos, e devido a esse facto, a estação deve permitir o ressurgimento do carregamento da bateria. Quando o carregamento se estabeleceu, a potência total chegou à potência máxima da capacidade do veículo, 22 kW.

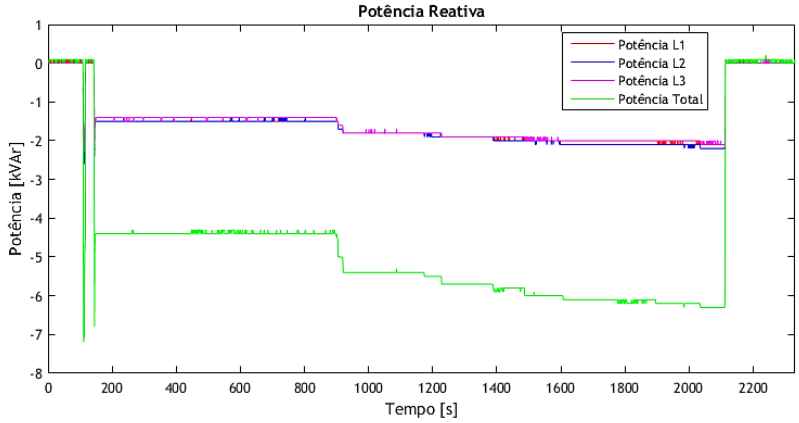
Figura 4 – Caso 1: Potência Ativa nas Fases e Potência Ativa Total.



Fonte: Elaborado do Matlab.

Na Figura 5 apresenta-se o comportamento da potência reativa.

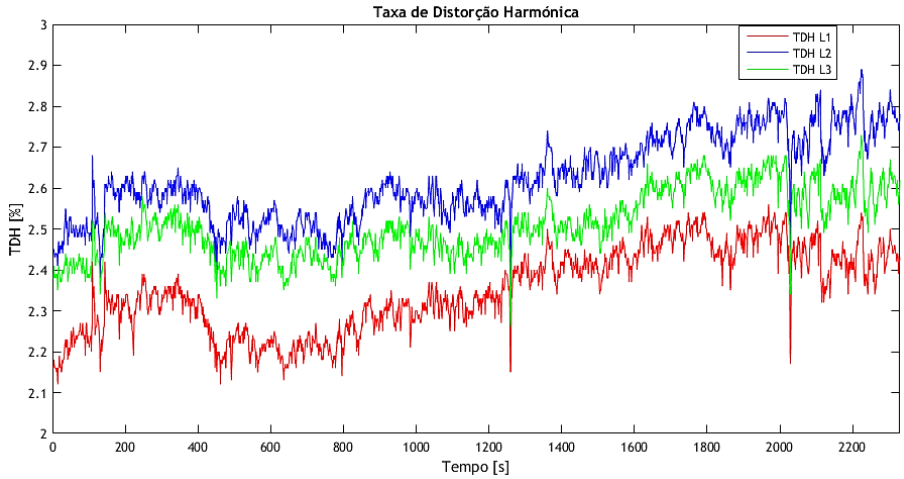
Figura 5 – Caso 1: Potência Reativa nas Fases e Potência Reativa Total.



Fonte: Elaborado do Matlab.

Na Figura 6 apresenta-se a evolução da Taxa de Distorção Harmónica (TDH) na tensão ao longo do período de carregamento.

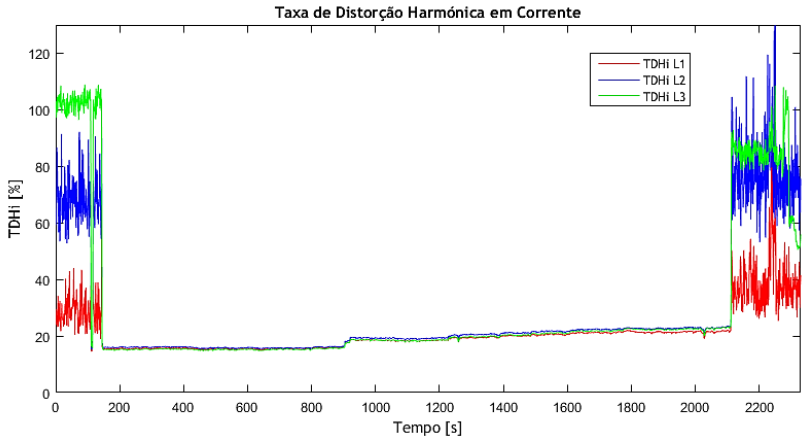
Figura 6 – Caso 1: Taxa de Distorção Harmónica em Tensão.



Fonte: Elaborado do Matlab.

Na Figura 7 apresenta-se a evolução da Taxa de Distorção Harmónica na corrente (TDHi) ao longo do período de carregamento.

Figura 7 – Caso 1: Taxa de Distorção Harmónica em Corrente.

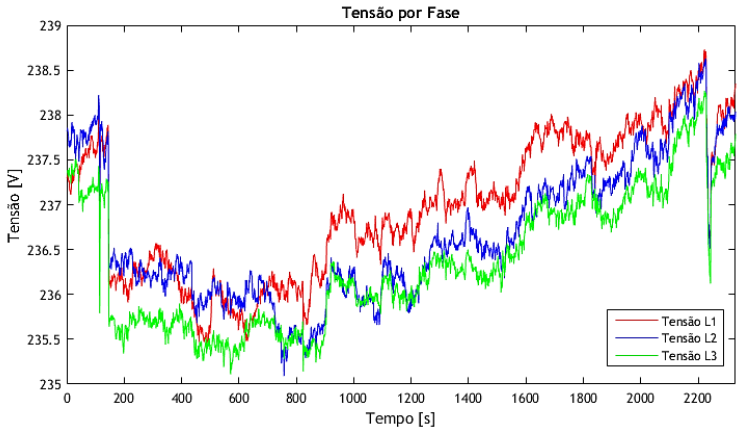


Fonte: Elaborado do Matlab.

Evolução da tensão

A Figura 8 apresenta o comportamento do valor eficaz da tensão do posto de carregamento rápido, em cada uma das fases. Com o início do carregamento verifica-se uma diminuição do seu valor, que vai atenuando à medida que a potência fornecida ao veículo vai diminuindo. Segundo a norma NP EN 50160, o valor médio da tensão num período de 10 minutos deve estar compreendido numa gama de valores entre 195.5 e 253 V, relativos à Tensão Nominal (Un), ou seja, entre Un-15 % e Un+10 %.

Figura 8 - Caso 1: Tensão nas Fases.

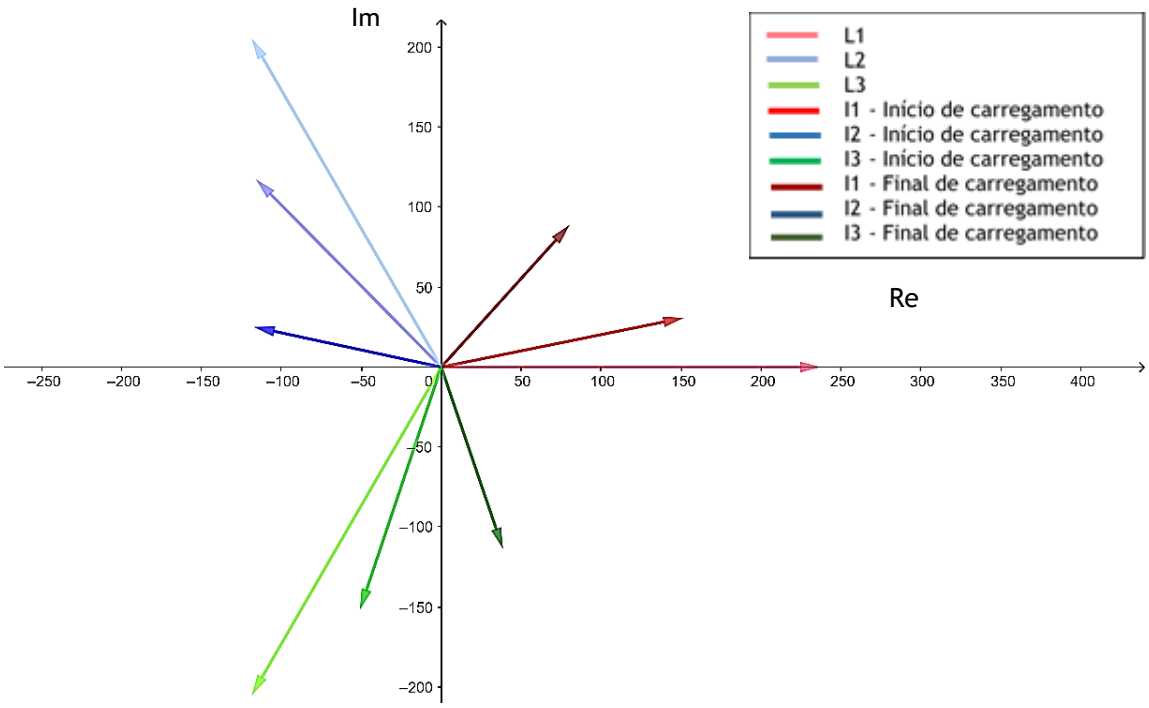


Fonte: Elaborado do Matlab.

Equilíbrio do sistema

A Figura 9 ilustra o diagrama das tensões de fase com as respetivas correntes desfasadas de um ângulo φ para cada uma delas.

Figura 9 - Caso 1: Diagrama Vetorial.



Fonte: Elaborado pelo Geogebra.

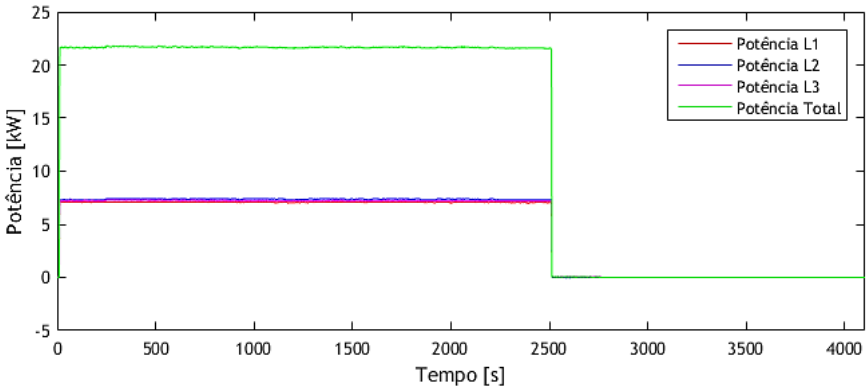
5.2. Carregamento 2

O carregamento 2 teve uma duração aproximada de 43 minutos, durante o qual foram carregados 62 pontos percentuais da bateria, com temperatura ambiente exterior de 22 ºC. Durante o intervalo de carregamento foram consumidos cerca de 13.6 kWh.

Diagrama de carga

Na Figura 10 é apresentada a evolução da potência ativa fornecida pelo Matlab. Nela podem ser observadas as potências nas três fases do sistema e a potência total, que resulta da soma das potências em cada fase. O carregamento inicia-se com uma potência total junto da potência máxima, 22 kW.

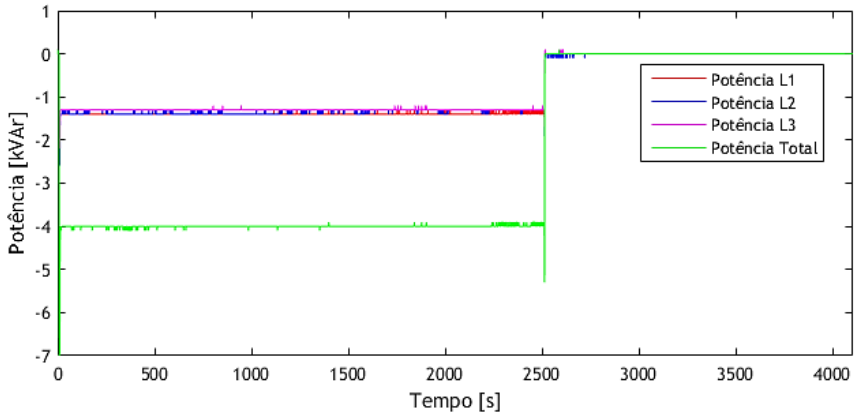
Figura 10 - Caso 2: Potência Ativa nas Fases e Potência Ativa Total.



Fonte: Elaborado pelo Matlab.

A **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** apresenta o comportamento da potência reativa. Durante todo o carregamento, verifica-se que o valor da potência reativa permanece, aproximadamente, constante.

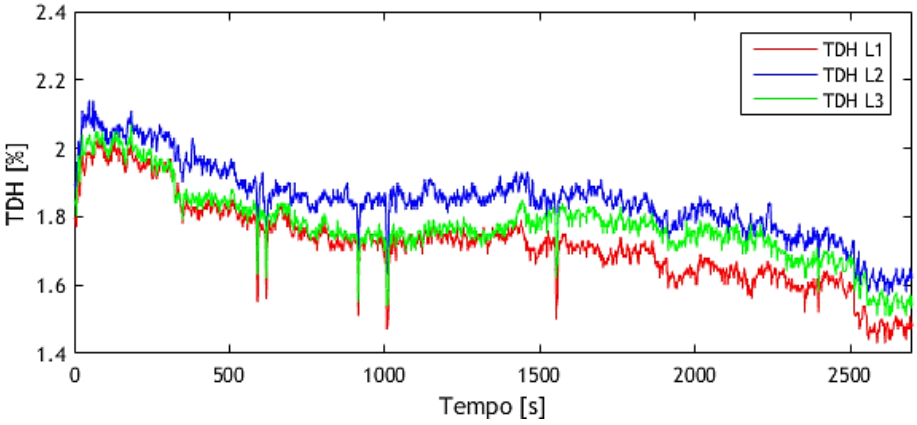
Figura 11 - Caso 2: Potência Reativa nas Fases e Potência Reativa Total.



Fonte: Elaborado pelo Matlab.

Na Figura 12 apresenta-se a evolução da Taxa de Distorção Harmónica (TDH) ao longo do período de carregamento. Considerando o limite imposto para a distorção harmónica total, sendo de 8 % para níveis de tensão inferior a 1 kV, baseado na norma NP EN 50160 e a norma IEEE STD 519-2014, verifica-se que, para a situação analisada, a distorção harmónica é substancialmente inferior ao limite, apresentando um valor máximo inferior a 2.2 %.

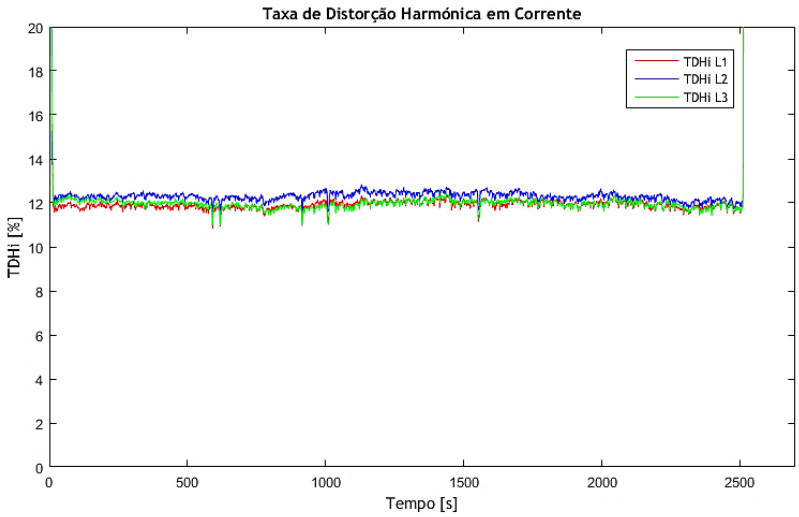
Figura 12 - Caso 2: Taxa de Distorção Harmónica em Tensão.



Fonte: Elaborado pelo Matlab.

Na Figura 13 apresenta-se a evolução da Taxa de Distorção Harmónica na corrente (TDHi) ao longo do período de carregamento.

Figura 13 – Caso 2: Taxa de Distorção Harmónica em Corrente.

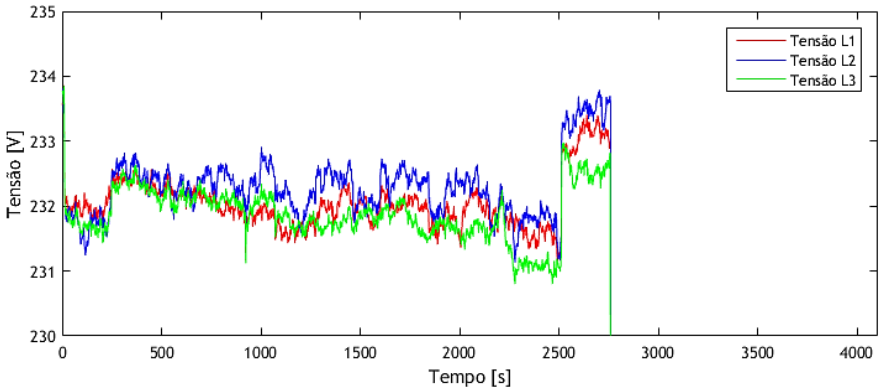


Fonte: Elaborado pelo Matlab.

Equilíbrio de tensão

A Figura 14 apresenta a evolução do valor eficaz da tensão do posto de carregamento rápido, em cada uma das fases. É possível observar a interrupção do carregamento, quando este atinge os 72 % de carga, fazendo o valor da tensão em cada fase ir a zero. Segundo a norma NP EN 50160, o valor médio da tensão num período de 10 minutos, deve estar compreendido numa gama de valores entre 195.5 e 253 V.

Figura 14 - Caso 2: Tensão nas Fases.

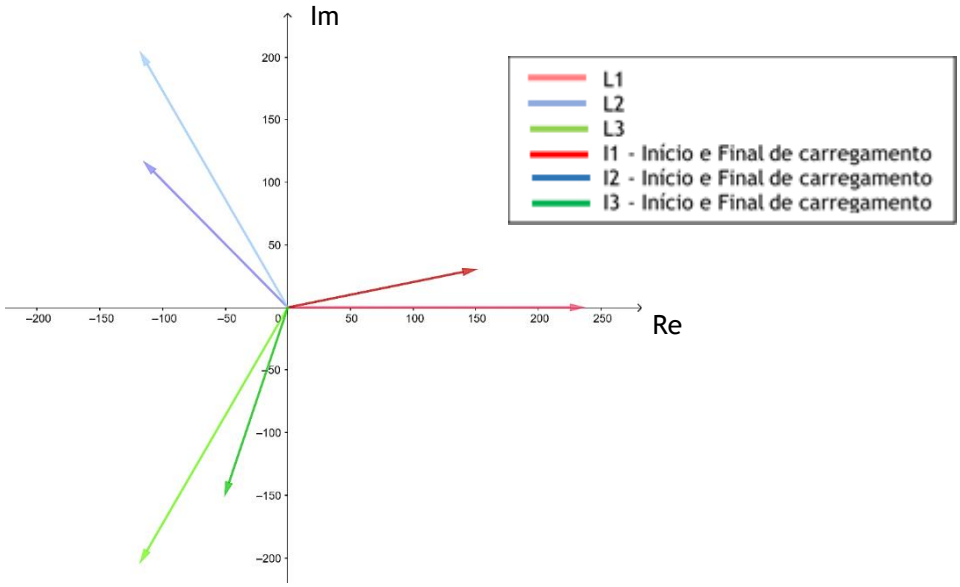


Fonte: Elaborado pelo Matlab.

Equilíbrio do sistema

A Figura 15 representa o diagrama das tensões de fase com as respetivas correntes desfasadas de um ângulo ϕ para cada fase. Na figura, as cores mais claras representam as tensões, as tonalidades intermédias representam o desfasamento das correntes em relação à tensão, nas respetivas fases, no início e fim do carregamento. O valor das correntes do início e do final foi multiplicado por um fator igual a 5, por questões de escala de visualização.

Figura 15 - Caso 2: Diagrama Vetorial.



Fonte: Elaborado pelo Geogebra.

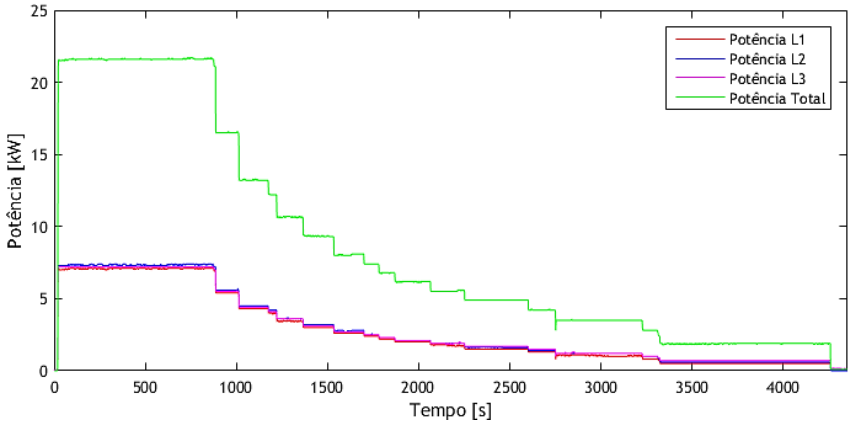
5.3. Carregamento 3

O ensaio para este último caso teve a duração de 72 minutos e 50 segundos, durante o qual foram carregados 71 pontos percentuais da bateria em 71 minutos, com temperatura ambiente exterior de 25 ºC. Durante o carregamento foram consumidos cerca de 15.6 kWh.

Diagrama de carga

Na Figura 16 é apresentada a evolução da potência ativa fornecida pelo posto. Nela podem ser observadas as potências nas três fases do sistema e a potência total, que resulta da soma das anteriores.

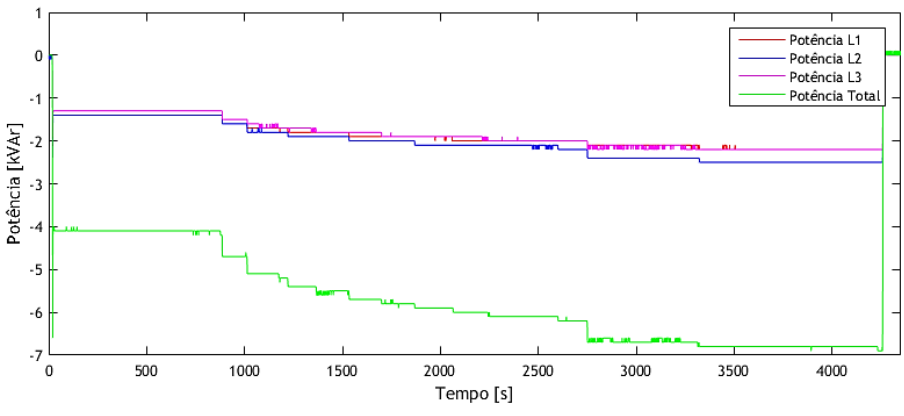
Figura 16 - Caso 3: Potência Ativa nas Fases e Potência Ativa Total.



Fonte: Elaborado pelo Matlab.

A Figura 17 apresenta o comportamento da potência reativa, o qual se assemelha ao comportamento desta grandeza no Carregamento 1, embora sem oscilações tão significativas dos valores iniciais.

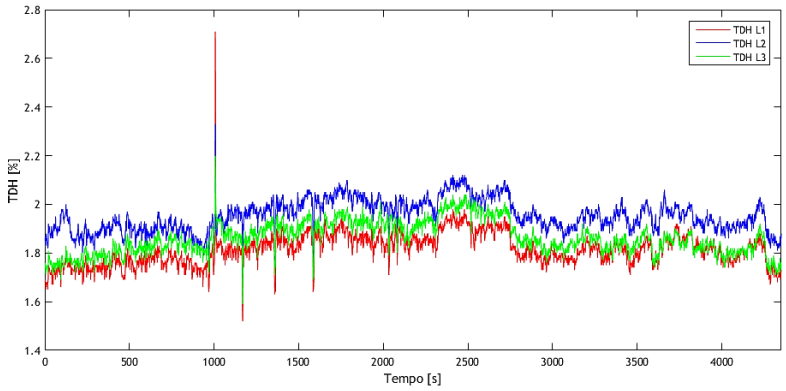
Figura 17 - Caso 3: Potência Reativa nas Fases e Potência Reativa Total.



Fonte: Elaborado pelo Matlab.

Na Figura 18 apresenta-se a evolução da TDH ao longo do período de carregamento.

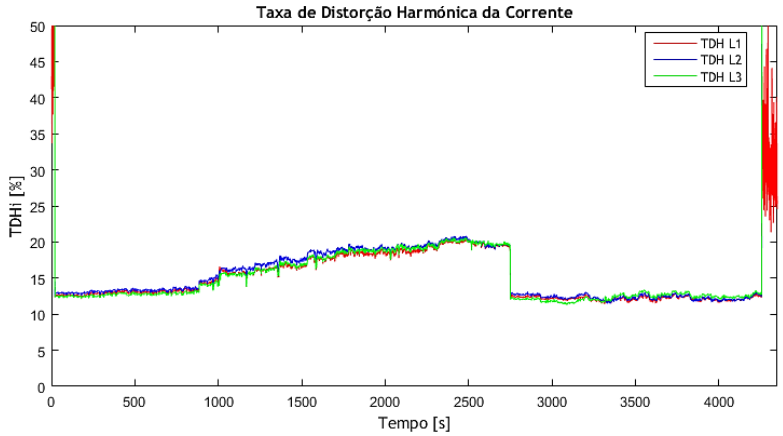
Figura 18 - Caso 3: Taxa de Distorção Harmónica de Tensão.



Fonte: Elaborado pelo Matlab.

Na Figura 19 apresenta-se a evolução da Taxa de Distorção Harmónica na corrente (TDHi) ao longo do período de carregamento.

Figura 19 - Caso 3: Taxa de Distorção Harmónica de Corrente.

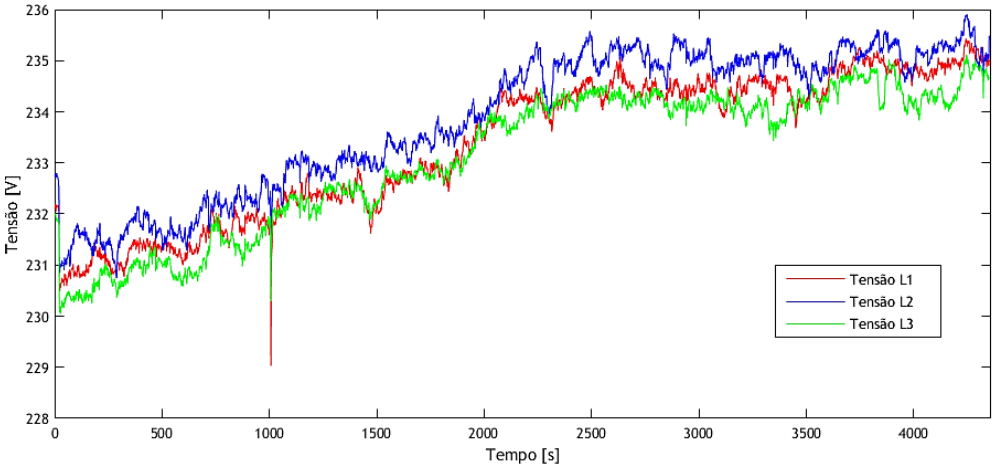


Fonte: Elaborado pelo Matlab.

Evolução da tensão

A Figura 20 representa a evolução do valor eficaz da tensão no ponto de carregamento da estação de carregamento rápido, em cada uma das fases. Durante o ensaio, isto é, 16 minutos e meio (cerca de 1000 s) passados desde o início do carregamento, observa-se uma descida instantânea do valor da tensão. Este comportamento registou-se nas três fases, mas verifica-se que é pontual e que coincide com o pico verificado na TDH.

Figura 20 - Caso 3: Tensão nas Fases.

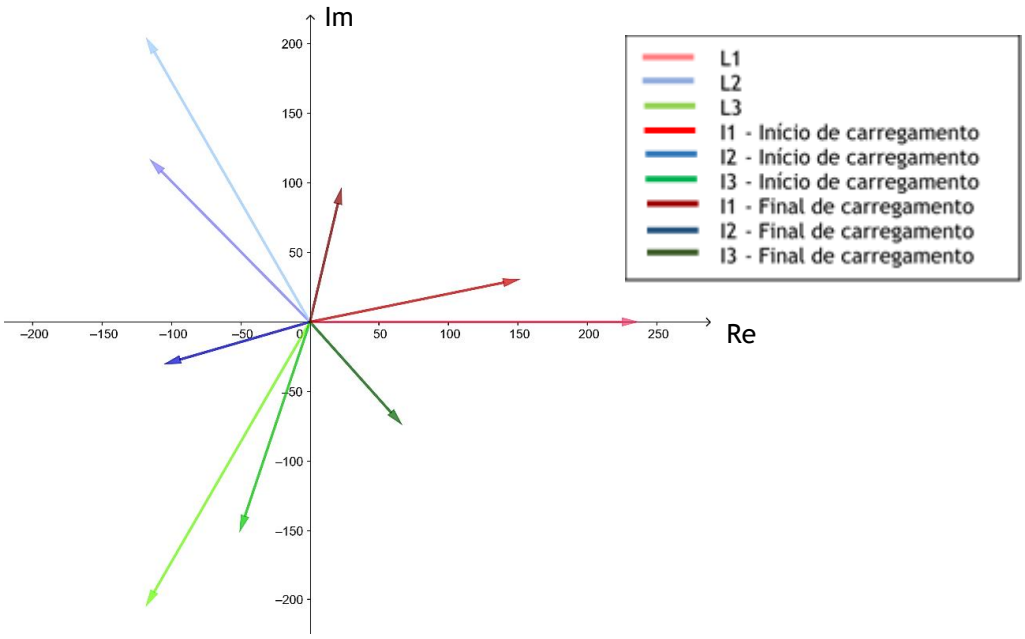


Fonte: Elaborado pelo Matlab.

Equilíbrio do sistema

A Figura 21 representa o diagrama das tensões de fase com as respetivas correntes desfasadas de um ângulo ϕ para cada fase.

Figura 21 - Caso 3: Diagrama Vetorial.



Fonte: Elaborado pelo Geogebra.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise da eficiência energética e a qualidade da energia gerada em postos de carregamento de bicicletas elétricas, fez-se mediante a análise de perfis de carregamento de veículo elétrico, especificamente, pelos resultados obtidos no experimento. Em relação à ligação à rede do posto de carregamento de VE (veículo elétrico), esta não teve impactos significativos, pois os resultados obtidos dos ensaios de carregamentos confirmam que há qualidade de energia do sistema. Esta qualidade pode ser confirmada analisando cada grandeza referida no ponto anterior, nomeadamente:

Potência: Durante os carregamentos (com exceção do carregamento 2), verifica-se a redução de potência ativa fornecida ao veículo que origina a redução de velocidade de carregamento do veículo, de forma a minimizar a deterioração da capacidade de armazenamento de energia da sua bateria. À medida que o nível de carga aumenta, ficando próximo de estado de carga totais, verifica-se uma grande variação dos valores da potência reativa, tornando a carga mais capacitiva e o fator de potência mais baixo, o que resultará no fornecimento de energia reativa à rede. Em instalações industriais com consumo de grandes potências reativas indutivas, estas estações podem servir de um bom compensador de fator de potência;

Harmónicas: As tensões dos sinais analisados contêm harmónicas, e somente de ordem par pelo facto de se utilizarem correntes e tensões alternas no posto. Todos os ensaios registaram valores inferiores a 3 %, verificando-se que está dentro dos limites normalizados, pois o valor máximo de TDH permitido pela norma é de 8 %.

Tensão: Em todos ensaios as tensões comportam-se sempre da mesma forma, isto é, com o início do carregamento observa-se uma descida no seu valor, mas o mesmo vai aumentando e estabilizando à medida que o carregamento prossegue. Os resultados obtidos, máximos e mínimos, dos valores de tensão em cada fase do sistema, estão contidos no intervalo imposto pela norma NP EN 50160 (Un-15 %; Un+10 %). Isto permite concluir que a utilização do posto por parte do veículo durante o carregamento não causa distúrbios significativos dos valores desta grandeza, pois os valores legais não são ultrapassados.

Corrente: No início de cada ensaio a corrente é constante, ou seja, as três fases iniciam o carregamento com o valor de corrente entre 31 a 33 A, o que é um valor aceitável para fornecer uma potência de 22 kW a uma tensão nominal estabelecida pela NP EN 50160. A corrente segue o mesmo comportamento da potência ativa, isto é, vai diminuindo à medida que o estado de carga da bateria vai alcançando seu limite, exceto para o carregamento 2, onde o veículo demonstrou ser eficiente na gestão do fluxo de corrente durante o carregamento quando ocorrem erros, isto é, interrompendo o carregamento.

Desfasamento de Tensão e Corrente: Pelos resultados obtidos dos ensaios realizados, verifica-se que o ângulo de desfasamento entre a corrente e a tensão em cada fase no início do carregamento é mínimo ($\phi = 11{,}47^{o}$). A medida que o estado de carga aumenta, o ângulo acompanha esse aumento, que por sua vez faz acompanhar o desfasamento das correntes na mesma proporção, fazendo com que o ângulo de desfasamento no final do carregamento seja sempre maior que o do início, exceto para o carregamento 2, por razões que já foram referidas anteriormente. Este aumento do ângulo resulta da variação da impedância durante o carregamento, afastando a natureza da carga cada vez mais do comportamento perto do resistivo. Portanto, uma vez que o sistema se apresenta equilibrado, podemos afirmar que a qualidade da energia não está comprometida, neste aspeto.

7. CONCLUSÕES

Portanto, a partir da análise dos perfis de carregamento de veículo elétrico e o seu impacto na rede pode-se deduzir o comportamento do carregamento de bicicleta elétrica, apesar das suas diferenças técnicas. Assim sendo, quanto ao impacto na rede, o carregamento de bicicleta elétrica terá menor impacto porque a potência de demanda é muito menor com relação à potência do veículo elétrico. Para além disto, no carregamento de bicicleta elétrica a potência reativa devolvida à rede será menor devido à simplicidade dos componentes eletrónicos de conversão de energia. E quanto ao conteúdo harmónico, em ambos os casos haverá a existência de harmónicos ímpares pelo facto de se utilizarem correntes e tensões alternas nos postos. A taxa de distorção harmónica individual (uma e-bike) será inferior ao valor limite legal, tal como na situação analisada, devido à

simplicidade do sistema de conversão de energia. Porém, se houver um carregamento simultâneo de mais de uma e-bike, estes valores são suscetíveis de sofrerem alteração, o que possivelmente poderá vir a provocar algumas implicações em termos de qualidade de energia. Finalmente, só com resultados medidos é possível analisar de forma eficaz a qualidade de energia em postos de carregamentos de bicicletas elétricas.

AGRADECIMENTOS

Para que este artigo chegasse a realidade, graças ao apoio de pessoas especiais e não quero deixar de mencionar elas. Nomeadamente a Professora Doutora Maria do Rosário Alves Calado, pelo empenho, motivação, amizade, compreensão de frequentes interrupções em sua sala para esclarecimento de dúvidas, pelo conhecimento partilhado (com a sua reconhecida experiência) e pela generosa paciência na organização de informações para elaboração deste artigo; aos professores do curso de Mestrado de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (época 2016/2018, Universidade da Beira Interior, Portugal), que incansavelmente transmitiram os conhecimentos necessários para dar suporte a este artigo; a Rita Pinto pelo apoio nos esclarecimentos de assuntos relacionados ao tema. A todos leitores, o meu muito obrigado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adhisuwignjo, S., Siradjuddin, I., Rifa'I, M., & Putri, R. I. (2017). Development of a solar-powered electric bicycle in bike sharing transportation system. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci*., 70, 1-10. doi:10.1088/1755-1315/70/1/012025

Alshareef, S., & Morsi, W.G. (2017). Impact of fast charging stations on the voltage flicker in the electric power distribution systems. *2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, 1-6. doi:10.1109/epec.2017.8286226

Araújo, R. J. F. (2012). *Desenvolvimento de uma Bicicleta Elétrica*. (Tese de Mestrado). Universidade do Minho, Braga, Portugal.

Baptista, P., Pina, A., Duarte, G., Rolim, C., Pereira, G., & Silca, C. (2015). From on-road trial evaluation of electric and conventional bicycles to comparison with other urban transport modes: Case study in the city of Lisbon, Portugal. *Energy Convers. Manag*., 92, 10–18. doi:10.1016/j.enconman.2014.12.043

Bolton, J. O. (1895). U.S. Patent No. 552,271 *Electrical Bicycle*. Washington, D.C.; U.S.Patented and Dec. 31.

Cheng, J., CEng, CEM, CEA, & CMVP (2014). *IEEE Standard 519-2014*. In Schneider Electr., p. 50.

Costa, R. F. (2015). Estudo de Qualidade da Energia Elétrica e Viabilidade Econômica Visando o Uso de Lâmpadas LED em Iluminação Pública. (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade de São Paulo,São Paulo.

Diário da República (2005). *Decreto-Lei nº 44/2005, Diário da República - I Série-A Nº 38 - 23 de Fevereiro de 2005*. 2018th ed., Lisboa, pp. 1554–1625.

Eslami, A., & Golshan, M. E. H. (2018). Index - based voltage dip consideration in optimal planning of SDGs by applying a modified Monte Carlo simulation method. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 28(1), 1–17. doi:10.1002/etep.2478

Gao, Z., Zhao, H., Zhou, X., & Ma, Y. (2017). Summary of power system harmonics. Proc. *Engineering and Technology. Research*, 2017, 108-113.

ISBN: 978-1-60595-449-3

Rezende, P. H. O., & Samesima, M. I. (2013). Efeitos do Desequilíbrio de Tensões de

Suprimentos nos Motores de Indução. *Horizonte Científico*, v. 6(2), 1-11 .

Hung, N. B., Sung, J., Kim, K., & Lim, O. (2017). A Simulation and Experimental Study of Operating Characteristics of an Electric Bicycle. *Energy Procedia*, 105, 2512–2517.

Kapoor, R., Gupta, R., Son, L. H., Jha, S., & Kumar, R. (2018). Detection of Power Quality Event using Histogram of Oriented Gradients and Support Vector Machine. Meas. J. Int. Meas. Confed., 120, 52–75.

Kim, Y., Rhyu, S. H., & Jung, I. S. (2010). Parameter determination of the BLDC motor considering the dynamic equation of vehicle. *19th Int. Conf. Electr*. Mach. ICEM 2010.

Libbey, H. W. (1897). *Electric Bicycle.* 569, 272.

Nemes, C., Munteanu, F., Astanei, D., Larion, M., & Adochitei, M. (2017). *Voltage dips analysis for grid connections of dispatchable photovoltaic systems*. Proc. - 2017 Int. Conf. Optim. Electr. Electron. Equipment, OPTIM 2017 2017 Intl Aegean Conf. Electr. Mach. Power Electron. ACEMP 2017, pp. 783–788.

Ruihua, L., *et al.* (2017). Review of Comprehensive Evaluation Methods for Power Quality and Its Trend in New Generation Energy System Review of Comprehensive Evaluation Methods for Power Quality and Its Trend in New Generation Energy System. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci*, 113. doi :10.1088/1755-1315/113/1/012190.

Liu, R., Wang, R., Liu, Q., Yang, L., Xi, C., Wang, W., Li, L., Zhao, Z., & Zhou, Y. (2018). Review of Comprehensive Evaluation Methods for Power Quality and Its Trend in New Generation Energy System. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 113. doi:10.1088/1755-1315/113/1/012190.

Schnepf, J. (1899). *Automobile*. 627,006.

Shawon, M. H., Barczentewicz, S., & Kowalski, J. (2016). Identification of asymmetry in power system: Different case studies. *10th Int. Conf. - 2016 Electr. Power Qual. Supply Reliab*. PQ 2016, Proc., pp. 37–40.

Thomas, D., Klonari, V., Vallee, F., & Ioakimidis, C. (2015). Implementation of an E-bike Sharing System: The Effect on Low Voltage Network using PV and Smart Charging Stations. *Conference: International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, At Palermo, Italy. doi:10.1109/ICRERA.2015.7418478.

Walcott, W. (2017). *Harmonics and Their Impact on Power Quality*.