

Num contexto mundial sem precedentes devido a uma pandemia que está a abalar o mundo, com consequências catastróficas nas economias de todos os países, voltamos à vossa presença com mais uma edição da revista “Neutro à Terra”, que já vai na sua vigésima quinta publicação. Compete-nos a todos agir com competência e responsabilidade, de forma a minimizar os efeitos devastadores que a situação atual terá na vida das pessoas. Neste contexto, as questões ambientais e a sustentabilidade energética tomam uma importância acrescida. Neste âmbito, publica-se nesta edição um artigo de opinião do professor Manuel Azevedo, que faz uma reflexão sobre este problema enquadrando-o no contexto de pandemia que estamos a viver.

José Beleza Carvalho, Professor Doutor

**Especial
Dossier Telecomunicações
Pág. 83**



Máquinas e Veículos Elétricos



Produção, Transporte e Distribuição Energia



Instalações Elétricas



Telecomunicações



Segurança



Gestão de Energia e Eficiência Energética



Automação, Gestão Técnica e Domótica

ÍNDICE

- Editorial	3
- Será que ainda queremos um planeta verde? Manuel Maria Pereira de Azevedo	5
- Wind Energy Conversion Systems José António Beleza Carvalho	7
- Instalações Elétricas em Hospitais, Clínicas Privadas, Centros Médicos e Dentários, Centros de Tratamento e Similares Henrique Ribeiro da Silva	17
- Short-Circuit Calculation on a Small Network José Alberto de Sousa Afonso	53
- Rede de distribuição do Porto: interligação entre postos de transformação Miguel Alexandre Ferreira Alves Pereira	59
- Tratamentos sustentáveis e inovadores para a indústria da madeira Kevin Duarte Tomaz	69
- Case study of an energy-intensive consumer Inês Vieira Tavares	77
- Dossier Telecomunicações	83
- Autores	118

FICHA TÉCNICA

DIRETOR:	José António Beleza Carvalho, Doutor
SUBDIRETORES:	António Augusto Araújo Gomes, Eng. Roque Filipe Mesquita Brandão, Doutor Sérgio Filipe Carvalho Ramos, Doutor
PROPRIEDADE:	Área de Máquinas e Instalações Elétricas Departamento de Engenharia Electrotécnica Instituto Superior de Engenharia do Porto
CONTATOS:	jbc@isep.ipp.pt ; aag@isep.ipp.pt

Estimados leitores

Num contexto mundial sem precedentes devido a uma pandemia que está a abalar o mundo, com consequências catastróficas nas economias de todos os países, voltamos à vossa presença com mais uma edição da revista “Neutro à Terra”, que já vai na sua vigésima quinta publicação. Compete-nos a todos agir com competência e responsabilidade, de forma a minimizar os efeitos devastadores que a situação atual terá na vida das pessoas. Neste contexto, as questões ambientais e a sustentabilidade energética tomam uma importância acrescida. Neste âmbito, publica-se nesta edição um artigo de opinião do professor Manuel Azevedo, que faz uma reflexão sobre este problema enquadrando-o no contexto de pandemia que estamos a viver

Nesta edição da revista publicam-se alguns artigos de natureza técnica e científica em língua inglesa, respondendo à crescente procura que se verifica por parte de leitores de várias nacionalidades. Por outro lado, também se pretende contribuir a nível internacional para o conhecimento e para a discussão de assuntos atuais e reconhecidamente importantes, como os que dizem respeito à sustentabilidade energética, às energias renováveis e, de uma forma geral, a todos os assuntos enquadrados cientificamente na engenharia eletrotécnica.

Merecem particular destaque nesta edição, um artigo relacionado com a conversão de energia eólica, analisando-se o funcionamento dos principais aerogeradores utilizados nesta fonte de energia renovável. Outro assunto muito importante relaciona-se com a proteção das pessoas do risco de eletrocussão com contactos diretos e indiretos em locais de risco elevado, como clínicas médicas e centros hospitalares. Neste âmbito, publica-se um artigo muito desenvolvido sobre as instalações elétricas nestes locais de risco, apresentando-se a forma como a segurança das pessoas deve ficar garantida.

Nesta edição da revista, merece ainda particular destaque um dossier sobre telecomunicações. Acompanhando a entrada em vigor do novo Manual ITED 4, que apresenta algumas soluções inovadoras e simplifica alguns dos procedimentos, com o objetivo de melhorar a eficiência e a adaptabilidade das infraestruturas de telecomunicações aos mais recentes desenvolvimentos tecnológicos, algumas Empresas que atuam nesta área da engenharia eletrotécnica apresentam algumas das soluções que disponibilizam no mercado, de forma a responderem às exigências técnicas definidas no Manual ITED4 que entrou recentemente em vigor.

Nesta edição da revista “Neutro à Terra” pode-se ainda encontrar outros assuntos reconhecidamente importantes e atuais, como um artigo que analisa o cálculo de correntes de curto-circuito em redes de distribuição de pequena dimensão, um artigo sobre tratamentos sustentáveis e inovadores para a indústria das madeiras e, um artigo que apresenta os resultados obtidos num estudo efetuado a um consumidor intensivo de energia.

Fazendo votos que esta edição da revista “Neutro à Terra” satisfaça novamente as habituais expectativas dos nossos estimados leitores, apresento os meus cordiais cumprimentos.

Porto, 30 de junho de 2020
José António Beza Carvalho

Blog:

www.neutroaterra.blogspot.com

Histórico de visualizações

37 024

Entrada	Visualizações de páginas
Portugal	27352
Estados Unidos	3209
Brasil	2114
Alemanha	686
Rússia	507
França	452
Angola	243
Ucrânia	225
Reino Unido	220
Espanha	141



REDE DE DISTRIBUIÇÃO DO PORTO: INTERLIGAÇÃO ENTRE POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO

Resumo — Uma rede em desenvolvimento exige um contínuo esforço de otimização em termos de eficiência. Tal eficiência pode obter-se em diferentes domínios e de diferentes formas, nomeadamente através da redução de custos de operação dos sistemas de distribuição, da minimização de perdas de potência. No entanto tudo isto acontece com o objetivo de obter a melhor qualidade de serviço fornecida aos consumidores. Deste modo este artigo pretende abordar as especificidades presentes na rede de distribuição da cidade do Porto face a uma rede de distribuição convencional, com destaque às interligações entre postos de transformação de distribuição (PTD). Baseado nesta ideia foram estruturados cenários que pretendem simular as consequências na rede provenientes da interligação entre postos de transformação, com recurso à implementação do método Newton-Raphson (NR) no software Matlab.

Palavras-Chave — Posto de transformação; distribuição de energia; especificidades da rede de distribuição do Porto; consumidores.

I. INTRODUÇÃO

Com o rápido desenvolvimento das urbanizações, foram surgindo especificidades nas redes das principais cidades portuguesas, nomeadamente na rede de distribuição em Baixa Tensão (BT) do Porto. Essas especificidades, apesar de apresentarem vantagens para a rede em si, muitas vezes não representavam a solução ideal implementada, sendo que algumas delas têm vindo a serem substituídas no decorrer dos anos por soluções mais eficientes. No entanto, destacam a singularidade da rede em questão comparativamente a uma rede de distribuição com um topologia usual, tipicamente puramente radial, e representam o porquê da necessidade da sua existência e utilização fase aos obstáculos impostos.

A rede de distribuição em BT do concelho do Porto apresenta uma topologia típica das redes de distribuição, ou seja, é radial, mas com a particularidade de poder ser bialimentada, e é uma rede subterrânea, visto tratar-se de uma zona com alta densidade de carga. Essa bialimentação provém da principal especificidade da rede do Porto, as interligações entre postos de transformação de distribuição, que permitem que em caso de avaria ou manutenção de um posto de transformação (PT) haja continuidade do serviço. [1]

Este artigo propõe uma análise da influência das interligações entre postos de transformação numa rede com uma estrutura semelhante à atual rede de distribuição da cidade do Porto. Foram criados cenários com base em projetos já existentes na cidade do Porto, facultados pela EDP Distribuição – Porto, local onde foi realizado o estudo e, em função dos dados extraídos desses projetos, foi aplicado o método NR para avaliar os fluxos de potências nessa rede em estudo. [2]

II. ESPECIFICIDADES DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DO PORTO

A rede de distribuição em BT do Porto possui uma topologia do tipo radial, mas tem a particularidade de poder ser bialimentada.

Esta rede possui determinadas características que a diferem das redes de distribuição puramente radial, nas quais se destacam as seguintes:

- Derivações em T;
- Armários encastrados;
- Postos de transformação subterrâneos;
- Terra única;
- Interligação entre PT.

A. Derivações em T

As derivações em T consistem numa derivação através de uniões, a partir da canalização principal diretamente para o cliente, e consistem na principal solução para alimentação de cargas sem recorrer a armários de distribuição (AD). O pretendido originalmente era o uso de AD, visto que estes garantem a proteção e seletividade desejada. No entanto, nem sempre é possível o seu uso. O principal condicionalismo dos AD são os regulamentos instituídos pela Câmara Municipal do Porto. Visto que normalmente não é permitida a utilização de AD na via pública, o mais usual é encastrar o armário na parede de um edifício. Contudo esta ação carece de autorização do proprietário do imóvel. Deste modo, as derivações em T tornam-se na solução mais eficaz, fazendo com que grande número de armários não seja usado, tornando-se uma vantagem em termos de viabilidade, mas ao mesmo tempo uma desvantagem visto não haver seletividade garantida. [3]

B. Armários encastrados

Como foi referido anteriormente, a Câmara Municipal do Porto impõe limitações quanto ao uso de AD na via pública. Portanto, quando é mesmo necessário a colocação de um armário para efetuar distribuição, terá de ser encastrado numa parede, necessitando de aprovação prévia do dono do imóvel. Muitas vezes, em zonas antigas que necessitam de muitos ramais, é inviável a colocação de um número proporcional de armários, como seria desejado. Outra situação comum é a tentativa de fazer a distribuição em zona de caris histórico, que possuem interdição para colocação dos armários devido à sua classificação de património nacional. Nos casos em que é possível a colocação de armários, é recomendável que o último AD preveja a existência de um tribloco de reserva para uma futura expansão da rede ou futura ligação a outro ramal. [1]

De um modo geral e em concordância com o que foi dito anteriormente, a solução ideal para redes de distribuição em BT passa pela utilização, sempre que possível, de AD, pois

estes garantem proteção dos circuitos a derivar do armário tal como seletividade do circuito principal. [1]

C. Postos de transformação subterrâneos

Os postos de transformação subterrâneos são uma das principais topologias de PT usada na cidade do Porto. Isto deve-se ao facto de nem sempre ser possível a colocação de um PT de cabine baixa no local indicado, devido às infraestruturas existentes, muitas vezes classificadas pela Câmara do Porto. A solução usada nestes casos é, portanto, a colocação de um PT subterrâneo, que possui a vantagem de “contornar” as infraestruturas já existentes. No entanto, existem bastantes desvantagens com o uso desta topologia de PT. Há um acréscimo do perigo de manuseamento, aumenta a dificuldade em sair do PT em caso de acidente, há elevado risco de inundações e é necessário efetuar manutenções mais rigorosas e mais numerosas.

Atualmente evita-se ao máximo a colocação de PT subterrâneo, sendo apenas colocado como última alternativa.

D. Terra Única

Em geral, os circuitos de terra de proteção e terra de serviço são separados, sendo o neutro ligado à terra de serviço e as massas metálicas ligadas à terra de proteção, distinta da primeira. Contudo, com o crescimento populacional nas cidades, especificamente na cidade do Porto, inviabilizou a separação das terras em alguns casos, adotando-se o regime de terra única. [4]

“De acordo com o Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento (Decreto n.º 42895 de 60/03/31 e com as alterações introduzidas pelos Decretos Regulamentares n.º 14/77 de 18 de Fevereiro e n.º 56/85 de 6 de Setembro) poder-se-á optar nos PT MT/BT pelo estabelecimento de uma terra geral única (interligação da terra de serviço com a terra de proteção), tal como se faz nas subestações AT/MT, desde que a resistência global de terra seja igual ou inferior a 1 Ohm. “[4]

Como foi referido acima, para ser possível a utilização de terra única é necessário garantir uma resistência global igual ou inferior a 1 ohm. Caso não seja possível obter esse valor de resistência, é previsível a utilização de terras distintas nos PT.

Outro parâmetro que leva ao uso da terra única é a necessidade de existir uma separação entre terra de serviço e a terra de proteção igual ou superior a 20 metros. Quando não se consegue obter esse valor de separação, e consegue-se obter um valor de resistência inferior a 1 Ohm, opta-se pelo uso da tal terra única. [4]

Nas redes de distribuição em geral é típico o uso de terras independentes, mas na cidade do Porto, em particular, é comum o uso da terra única pela flexibilidade que garante face ao relevo onde são instalados os postos de transformação. Normalmente estes postos não têm espaço suficiente para abertura de valas em sentido contrário para os circuitos de terra distintos, de modo a conseguir cumprir a distância mínima entre terras obrigatórias. Quando não se consegue obter a distância de separação pretendida, interliga-se as terras para obter a terra única. [4]

Apesar desta especificidade permitir obter flexibilidade quando não se consegue obter terras independentes, uma das desvantagens do seu uso é o gasto adicional para se obter um valor de terra inferior a 1 Ohm. Como é um valor difícil de obter, é necessário utilizar técnicas para redução do valor de terra, que envolvem um gasto adicional, muitas vezes o dobro do que seria necessário com a implementação de terras separadas.

E. Interligação entre PT

Para finalizar a listagem das principais especificidades da rede do Porto surgem as interligações entre PT. Esta característica da rede de distribuição faz com que a rede seja bialimentada e, em caso de avaria ou manutenção de um PT, exista continuidade de serviço aos clientes.

Para apoiar a realização da interligação entre os PT, a EDP recorre às caixas de seccionamento, principalmente nos PT em que a rede seja maioritariamente explorada em T.

Para possibilitar essa alimentação de cargas com recurso a outro PT, é necessário confirmar se eles estão dimensionados para aguentar com este aumento de carga. Sendo a principal vantagem garantir a continuidade do serviço, sem ter de recorrer ao aluguer ou compra de geradores, uma desvantagem das interligações é o aumento considerável das perdas. A rede vai-se estender, as perdas vão aumentar, tal como a queda de tensão nos clientes.

Por exemplo, pela equação do cálculo de perdas (1), se considerarmos a presença de 2 cabos com 100 A cada, que possuem 1 ohm de resistência, vai-se obter perdas de 20000 W, ($10000+10000=20000$ W).

$$Perdas(W) = R(\Omega) \times I^2(A) \quad (1)$$

No entanto, e pela mesma equação (1), se for considerado apenas 1 cabo, mas com 200 A, possuindo na mesma 1 ohm de resistência, vão-se obter perdas de 40000 W.

Outra consequência e desvantagem da extensão da rede consiste no facto de poderem existir valores de tensões em violação, nos clientes. Segundo o regulamento de qualidade de serviço da ERSE, a queda de tensão máxima admissível numa canalização que tem origem no PT, e se destina a alimentar um cliente, é 8%. Com a extensão, caso algum cliente possua uma queda de tensão superior a esse valor, é necessário aumentar a tensão nominal do PT em 2,5%, para 410V, por exemplo. [5]

No entanto, a EDP suporta os seus estudos de viabilidade para alimentação de novos clientes, bem com a indisponibilidade dos PT para manutenção, numa ferramenta de cálculo computacional D-PLAN, sendo possível simular a exploração da rede, quer em estado normal, quer no estado recursivo, bem como a introdução de novas cargas na rede. De um modo geral, a EDP consegue

verificar se a rede em estudo está preparada para ser explorada sem necessitar de investimento. Esta ferramenta efetua todos os cálculos técnicos para se validar a solução, tais como quedas de tensão, sobrecargas e curto-circuitos.

III. INTERLIGAÇÃO ENTRE PT NA REDE DO PORTO

Como foi visto anteriormente, as interligações entre postos de transformação de distribuição na rede de BT do Porto consistem provavelmente na principal característica que a rede possui em comparação com uma rede de distribuição típica. Estas interligações permitem com que esta rede possa ser bialimentada, que constitui um ponto fulcral para conseguir assegurar a continuidade de serviço aos clientes em caso de avaria ou colocação para manutenção de um posto de transformação.

Dito isto, procedeu-se à criação de 2 cenários para estudar o impacto que as interligações têm numa rede de distribuição com uma estrutura semelhante à rede de distribuição do Porto. Com o recurso ao software SIT, que contém todo o cadastro da rede de distribuição nacional, foram inicialmente analisados alguns projetos do concelho do Porto, e deles coligidos alguns dados para estruturar a rede em causa. Foram também usados os softwares Matlab e Excel para obtenção, estruturação e análise de dados da rede e valores de tensões nos clientes, fluxos de potências e perdas nas linhas.

A. Garantia de continuidade do serviço

Como principal fonte de extração de dados para a construção dos cenários foi usado um projeto de loteamento de serviço público localizado no Amial. O cenário 1 consiste essencialmente na análise da distribuição desde o posto de transformação até aos clientes presente no dito projeto. Para tal foi usado o PTD2 do projeto de loteamento, já com todos os dados de cablagem, cargas e potência do transformador estabelecido, entre outros.

Na figura 1 encontra-se representado o esquema de distribuição do PTD2, onde é possível reparar que a potência nominal do transformador é 630 kVA, que alimenta 6 cargas distintas, recorrendo a 2 AD, AD2.1 e AD2.2.

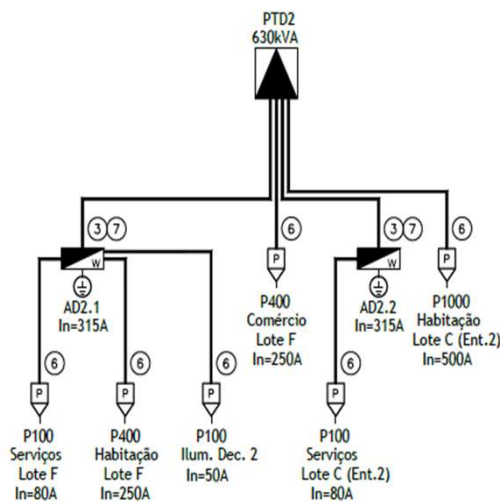


Fig.1. Esquema unifilar PTD2

Este cenário inicial apenas representa uma típica rede de distribuição que recorre a AD. No entanto, e com o objetivo de estudar como se comporta a rede quando se interliga os PT para assegurar a continuidade de serviço, construiu-se o cenário 2.

No cenário 2 são adicionados três novos PTD ao cenário 1. Destes novos postos de transformação, o PTD3, representado na figura 2, tem a mesma origem do PTD2, ou seja, todos os dados dessa rede de distribuição são provenientes do já referido projeto de loteamento.

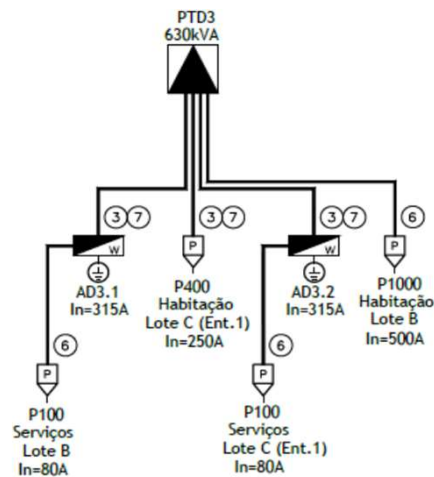


Fig.2 Esquema unifilar PTD3

No entanto, foram adicionados mais dois postos de transformação, estes com valores arbitrados, de maneira a ser possível assemelhar a um caso real de interligação da rede do Porto. Estes dois postos, representados na figura 3, são designados por PTDX e PTDY, e foram construídos com recurso ao software PowerWorld.

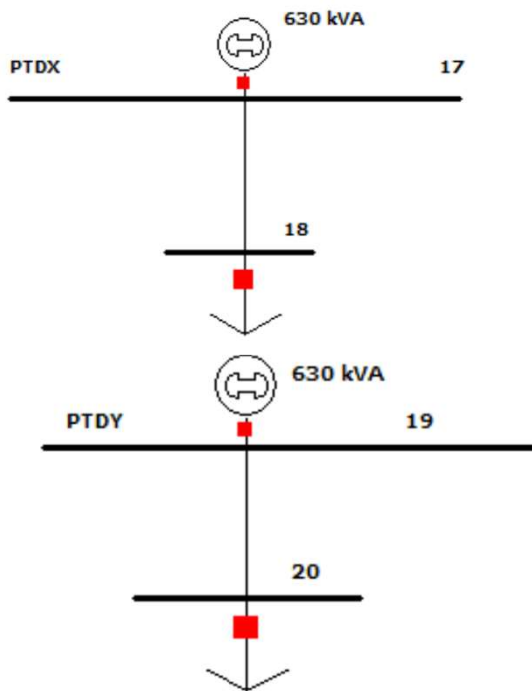


Fig.3 Esquema de rede do PTDX e PTDY em PowerWorld

Para este cenário estipula-se que o PTDX será colocado em manutenção e será necessário alimentar as suas respetivas cargas através das interligações com o PTDX3, PTDX e PTDY. Dito isto, considerou-se que a linha que interliga o PTDX3 e o PTDX transportava 140 kVA, enquanto a linha que interliga o PTDX e PTDY com o PTDX2 transportava 200 kVA, individualmente. A carga do PTDX e do PTDY correspondia a 40% e a 35%, respetivamente, da potência nominal do PT em causa.

Produção					Tipo	
Barramento	S (VA)	P (W)	PG (p.u)	V (p.u)	Barramento de:	Sigla
1					Carga	PQ
10	140000	112000	0,18	1	Produção	Ref
17	200000	160000	0,25	1	Produção	PV
19	200000	160000	0,25	1	Produção	PV

Fig.4 Valores das produções das interligações

Pela tabela presente na figura 4 é possível observar que o barramento 1 passou a ser um barramento de carga, PQ, enquanto os barramentos 10, 17 e 19 foram considerados como barramentos de produção, PV. Foi considerado como barramento de referência, R, o barramento 10. Para ser possível a análise dos valores obtidos em Matlab foi necessário criar a matriz dos dados da rede de cada PT em estudo, para além dos dados do PTDX2 já existentes. Para tal, foi necessário converter os respetivos valores para sistema p.u. Na construção da tabela de dados do PTDX e do PTDY, foi feito o processo inverso do usual.

Sabendo que era necessário transportar 200 kVA na linha de interligação, ou seja, 160 kW, converteu-se para p.u, no qual foram obtidos os valores já apresentados na figura 4.

Com estes valores de produção, e contrariamente ao normal, foi somado o valor da interligação ao valor da produção de cada barramento de produção. Obteve-se o valor de produção necessário para alimentar as respetivas cargas do PT mais as cargas do PTDX2, em p.u, presentes nas tabelas das figuras 5, 6 e 7:

PTDX						
Produção					Tipo	
Barramento	S (VA)	P (W)	PG (p.u)	V (p.u)	Barramento de:	Sigla
17	452000	361600	0,57	1	Produção	PV
18					Carga	PQ

Fig.5 Valores finais da produção do PTDX

PTDY						
Produção					Tipo	
Barramento	S (VA)	P (W)	PG (p.u)	V (p.u)	Barramento de:	Sigla
19	420500	336400	0,53	1	Produção	PV
20					Carga	PQ

Fig.6 Valores finais da produção do PTDY

PTD3						
Produção				Tipo		
Barramento	S (VA)	P (W)	PG (p.u)	V (p.u)	Barramento de:	Sigla
10	435440	348352	0,55	1	Produção	Ref
11					Carga	PQ
13					Carga	PQ
14					Carga	PQ
12					Carga	PQ
15					Carga	PQ
16					Carga	PQ

Fig.7 Valores da produção do PTD3

Com a interligação a produção atualizou-se para 0,73 p.u:

$$0,18 (p.u) + 0,55(p.u) = 0,73 p.u$$

Para a interligação foram utilizados cabos LVAV - 3x185+95 e considerando que a distância entre o PTD3, o PTDX e o PTDY ao PTD2 eram 75m, 110m e 130m, obteve-se os seguintes valores das linhas, cujos parâmetros se encontram representados na figura 8:

Barramentos		Linhas					
Início	Fim	L(km)	R (Ω)	X (Ω)	R (p.u)	X (p.u)	Ysh (p.u)
Barramento 1	Barramento 10	0,075	0,012	0,008	0,048	0,030	0
Barramento 1	Barramento 17	0,110	0,018	0,011	0,071	0,043	0
Barramento 1	Barramento 19	0,130	0,021	0,013	0,084	0,051	0

Fig.8 Valores das linhas das interligações

Para finalizar a construção do cenário, foi dimensionada uma tabela com todos os valores de linhas, cargas, produção, em p.u, e tipo de barramento, de maneira a simplificar a implementação desses valores no software que simula os parâmetros pretendidos.

Segue em anexo o esquema das interligações entre os postos de transformação considerados para estudo (figura 13) juntamente com a tabela descrita acima (figura 14).

B. Influência das interligações nos consumidores

Finalmente, para concluir os efeitos das interligações numa rede de distribuição em BT com uma topologia semelhante à da rede de distribuição do Porto, procedeu-se à fase da implementação. Nesta fase foram inseridos os valores das linhas, cargas e produção, e o tipo de barramento, definidos dos dois cenários, na ferramenta Matlab, onde foi usado o método NR como método para obtenção das quedas de tensão nos clientes, perdas nas linhas, fluxos de potência, entre outros. [2]

Esse método já previamente elaborado no Matlab, possuía como inputs os valores da linhas, cargas e produção, em sistema “por unidade”, e o tipo de barramento (PQ, PV ou Ref.). Através da construção da matriz das admitâncias nodais, cálculo das potências injetadas na rede, construção da matriz Jacobiana e efetuada a verificação da convergência, entre outros, são obtidos os outputs. Estes consistem em valores de tensão nos barramentos (em p.u) e módulo, fluxo de potência nas linhas e suas respectivas perdas.

Colocando os parâmetros do cenário 1 no Matlab obtém-se os seguintes valores de tensões nos barramentos (figura 9):

```

||Barramento || Valor tensão[pu] || Argumento da Tensão[rad] ||
U1= 1.0000 |_ 0.0000
U2= 0.9875 |_ 0.0012
U3= 0.9934 |_ 0.0009
U4= 0.9833 |_ 0.0039
U5= 0.9842 |_ 0.0015
U6= 0.9862 |_ 0.0023
U7= 0.9929 |_ 0.0007
U8= 0.9893 |_ 0.0036
U9= 0.9787 |_ 0.0022
Número de Iterações Realizadas até convergir:
1

```

Fig.9 Valores de tensões nos barramentos do cenário 1

Ao verificar os valores de tensão obtidos nos barramentos, conseguiu-se verificar que o barramento mais desfavorável é o barramento 9, apesar de não ser grande a diferença em comparação com os outros.

Isto deve-se ao facto da carga presente no barramento 9 ser a que se encontra a uma maior distância do PT, influenciando a impedância dos dois cabos em paralelo e aumentando a queda de tensão.

Sabendo que a queda de tensão máxima admissível desde o PT até ao cliente é 8%, e sendo esses 8% correspondentes a 32V, conclui-se que o valor mínimo aceitável de tensão é 368 V. Usando como tensão de base 400 V, o valor mínimo aceitável é 0,92 p.u, de acordo com o regulamento da qualidade de serviço.

$$400 (V) \times 0,08 = 32 V$$

$$400 (V) - 32(V) = 368 V$$

$$\frac{368 (V)}{400 (V)} = 0,92 p.u$$

Apesar do barramento mais desfavorável apresentar valores de tensão acima do mínimo aceitável, foi testado um novo cenário recorrendo ao uso de uma tomada do PTD2 para aumentar a tensão nominal em 1 patamar, correspondente a +2,5% da tensão nominal, ou seja, a tensão nominal do PT passou a ser 410 V.

$$400 (V) \times 0,025 = 10 V$$

$$400 (V) + 10 (V) = 410 V$$

A atualização do cenário consistiu na alteração da tensão nominal do PTD2 nos parâmetros da produção. Para isso foi convertido o valor para p.u, que corresponde a 1,025 p.u.

$$\frac{410 (V)}{400 (V)} = 1,025 p.u$$

Com este cenário atualizado foram obtidos valores mais próximos da tensão de referência, os 400V, e a tensão do barramento 9, o mais desfavorável, aumentou para aproximadamente 402 V, como é possível verificar na figura 10:

```

||Barramento || Valor tensão[pu] || Argumento da Tensão[rad] ||
U1= 1.0250 | _ 0.0000
U2= 1.0128 | _ 0.0012
U3= 1.0186 | _ 0.0009
U4= 1.0087 | _ 0.0038
U5= 1.0096 | _ 0.0015
U6= 1.0115 | _ 0.0023
U7= 1.0181 | _ 0.0007
U8= 1.0146 | _ 0.0035
U9= 1.0043 | _ 0.0021
Número de Iterações Realizadas até convergir:
1

```

Fig.10 Valores de tensões atualizados do cenário 1

Visto haver uma melhoria geral na tensão dos barramentos, foi usado esse valor de tensão atualizado para o cenário 2.

Posteriormente foram utilizados os valores tabelados do cenário 2 no Matlab e foram obtidos os seguintes valores de tensões nos barramentos, presentes na figura 11:

```

||Barramento || Valor tensão[pu] || Argumento da Tensão[rad] ||
U1= 0.9885 | _ 0.0220
U2= 0.9759 | _ 0.0233
U3= 0.9819 | _ 0.0230
U4= 0.9717 | _ 0.0261
U5= 0.9725 | _ 0.0236
U6= 0.9746 | _ 0.0245
U7= 0.9813 | _ 0.0228
U8= 0.9777 | _ 0.0258
U9= 0.9670 | _ 0.0243
U10= 1.0250 | _ 0.0000
U11= 1.0204 | _ 0.0006
U12= 1.0195 | _ 0.0008
U13= 1.0163 | _ 0.0032
U14= 1.0134 | _ 0.0011
U15= 1.0159 | _ 0.0031
U16= 1.0008 | _ 0.0024
U17= 1.0250 | _ 0.0115
U18= 1.0245 | _ 0.0114
U19= 1.0000 | _ 0.0628
U20= 0.9995 | _ 0.0628
Número de Iterações Realizadas até convergir:
3

```

Fig.11 Valores de tensões nos barramentos do cenário 2

Como já tinha sido previsto no tema das especificidades da rede BT do Porto, a interligação apresenta algumas desvantagens. Como houve extensão da rede, houve também um aumento da queda de tensão nos clientes mais afastados. A interligação ao ser efetuada em BT e com a adição dos cabos para efetuar a interligação, fez com que perdas totais da rede aumentassem, mas permitiu que houvesse continuidade do serviço, mesmo com o PTD2 em manutenção.

Comparativamente ao cenário 1, existiu uma diminuição acentuada da tensão no que era o barramento mais desfavorável, o barramento 9. Tinha-se concluído anteriormente que com o aumento da tensão nominal do PT para 410V, a qualidade do serviço melhorava. Para este caso, a tensão passou de 1,0043 p.u, 401,7V para 0,967 p.u, 386,8V. Mesmo com esta queda de tensão, os valores fornecidos aos clientes continuam dentro dos valores previstos no regulamento, ou seja, trata-se de uma exploração viável e com garantias do fornecimento de energia com boa qualidade de serviço.

IV. CONCLUSÕES

De uma maneira geral, o presente trabalho pode ser decomposto em 2 partes essenciais: a compreensão do funcionamento da rede de distribuição BT do Porto e o que a torna singular, e a análise dos impactos que surgem na rede com a interligação entre postos de transformação de distribuição.

Numa primeira parte, foi possível constatar que a rede de distribuição do Porto possuía algumas especificidades que apresentavam vantagens para a rede em si, mas que não representavam a solução ideal a implementar. Com o decorrer dos anos, muitas dessas soluções têm vindo a ser substituídas, como é o caso das caixas de seccionamento e, noutros casos, têm-se tentado dissuadir o seu uso, como é o caso dos postos de transformação subterrâneos, só usados como última solução.

Resumindo, as especificidades da rede do Porto permitem não só destacar a singularidade da sua rede comparativamente a uma rede puramente radial típica noutros locais, mas também perceber porque representam as soluções mais viáveis face aos obstáculos apresentados pela cidade do Porto e a sua rede.

Numa segunda parte foi executada uma análise sobre as interligações entre postos de transformação. Para tal foram criados 2 cenários.

No cenário 1 foi analisada uma rede típica, com apenas um PT a alimentar as suas cargas, recorrendo a AD para garantir proteção e seletividade dos circuitos. Foi averiguado se as quedas de tensão permaneciam dentro dos limites estabelecidos pela ERSE [11] e apesar de se confirmarem que os valores cumpriam todas as restrições, procedeu-se a um aumento da tensão nominal de modo a melhorar a qualidade de serviço e a aproximar a tensão do barramento mais desfavorável da tensão ideal.

No último cenário foi prevista a colocação para manutenção do PTD2 e a alimentação das suas cargas com recurso à interligação com outros 3 PT. Como já tinha sido previsto no tema das especificidades da rede BT do Porto, a interligação apresenta algumas desvantagens. Como houve extensão da rede, houve também um aumento da queda de tensão nos clientes mais afastados. A interligação ao ser efetuada em BT e com a adição dos cabos para efetuar a interligação, fez com que perdas totais da rede aumentassem, mas permitiu que houvesse continuidade do serviço, mesmo com o PTD2 em manutenção. Mesmo o aumento da queda de tensão, foi possível constatar que os valores fornecidos aos clientes continuaram dentro dos valores previstos no regulamento, ou seja, tratou-se de uma exploração viável e com garantias do fornecimento de energia com boa qualidade de serviço. Visto que um dos fatores de comparação entre os cenários foram as perdas da rede, foi construído um gráfico, presente na figura 12, onde é possível efetuar uma rápida comparação da influência de cada cenário nas perdas da rede, obtidas a partir do método NR:

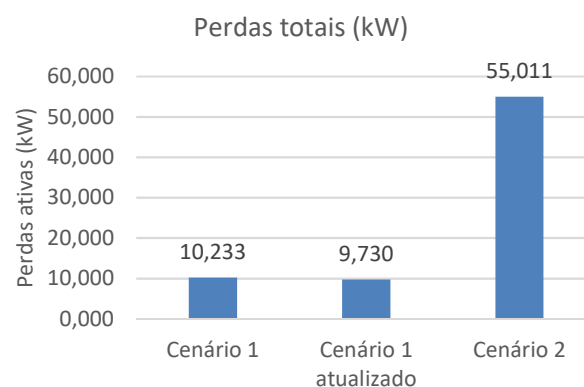


Fig.12 Comparação das perdas totais da rede nos diversos cenários

Comparando as perdas dos diversos cenários, é possível constatar que no cenário 1, ao aumentar a tensão nominal do PTD2 para 410V (cenário 1 atualizado), houve uma redução de perdas.

No cenário 2 houve a extensão da rede e o consequente aumento notório das perdas. Em comparação com o cenário 1, a interligação fez com que as perdas fossem 5 vezes mais, concluindo-se que um dos problemas das interligações em BT na rede do Porto é o aumento substancial das perdas totais.

REFERÊNCIAS

- [1] EDP Distribuição, “Manual de Ligações à rede elétrica de serviço público Guia técnico e logístico de boas práticas,” 2015.
- [2] J.-P. Dedieu, “Newton-Raphson Method,” *Encycl. Appl. Comput. Math.*, vol. 6, no. 7, pp. 1023–1028, 2015.
- [3] E. Distribuição, “Ligação de clientes de baixa tensão,” p. 226, 2015.
- [4] R. C. C. Branco, “REDES - LINHAS REDES - LINHAS,” 2015.
- [5] E. Dos, “Regulamento da Qualidade de Serviço,” 2017.

CURIOSIDADE



Título: Instalações Elétricas de Baixa Tensão: Dimensionamento e Proteção de Canalizações Elétricas
2ª Edição

Autor: António Augusto Araújo Gomes, Henrique Jorge de Jesus Ribeiro da Silva, José António Beleza Carvalho

Editora: Engebook

Data de Edição: 2019

ISBN: 9789898927620

Nº Páginas: 202

Sinopse:

Esta obra pretende ser, acima de tudo, uma ferramenta didática de apoio aos alunos de cursos de engenharia eletrotécnica, bem como a técnicos responsáveis pelo projeto, execução e exploração de instalações elétricas.

Pretende ser ainda uma ferramenta prática de estudo e de trabalho, capaz de transmitir conhecimentos técnicos, normativos e regulamentares sobre o dimensionamento e proteção de canalizações elétricas aos diversos agentes eletrotécnicos, tornando-os capazes de, para cada instalação nas quais sejam intervenientes, seleccionar o tipo de canalização e o modo de instalação mais adequados, de forma a maximizar a segurança, a fiabilidade e a funcionalidade, assim como os custos de execução e exploração das instalações.

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO
DIMENSIONAMENTO E PROTEÇÃO DE CANALIZAÇÕES ELÉTRICAS

António Gomes, Henrique Ribeiro Da Silva, José Beleza Carvalho

Sobre a obra

Esta obra pretende ser, acima de tudo, uma ferramenta didática de apoio aos alunos de cursos de engenharia eletrotécnica, bem como a técnicos responsáveis pelo projeto, execução e exploração de instalações elétricas. Pretende ser ainda uma ferramenta prática de estudo e de trabalho, capaz de transmitir conhecimentos técnicos, normativos e regulamentares sobre o dimensionamento e proteção de canalizações elétricas aos diversos agentes eletrotécnicos, tornando-os capazes de, para cada instalação nas quais sejam intervenientes, seleccionar o tipo de canalização e o modo de instalação mais adequados, de forma a maximizar a segurança, a fiabilidade e a funcionalidade, assim como os custos de execução e exploração das instalações.

Sobre os autores

António Augusto Araújo Gomes

Bacharel em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas de Energia pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto. Licenciado e Mestre (pre-doutor) em Engenharia Eletrotécnica e Computadores pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Professor adjunto no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 1998. Coordenador de Obras na CEREBELUS – Engenharia de Segurança, entre 1997 e 1999. Sócio da empresa Neutro à Terra – Gabinete de Engenharia Ltda C252 e 2000. Prestação de serviços de formação profissional em áreas relacionadas com: ambiente das instalações elétricas, telecomunicações, segurança, gestão de energia, eficiência energética, a diversos entidades, nomeadamente NORVA – Consultores de Engenharia, Lda; Schmal – Engenharia e Serviços, Lda; ENERGO – Consultores de Engenharia, Lda; IQE – Instituto de Qualidade e Qualidade Quântica – fábrica de Químico Sintético, Lda; EP – Instituto Eletrotécnico Português; CENEFCE – Centro de Energia e Tecnologia; ANACOM – Autoridade Nacional das Telecomunicações; ICT – Instituto para o Desenvolvimento Tecnológico EDV – Agência de Energia Entre Douro e Vouga.

Henrique Jorge de Jesus Ribeiro da Silva

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica, ramo de Produção, Transporte e Distribuição de energia, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e Mestre (pre-doutor) em Engenharia Industrial pela Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

José António Beleza Carvalho

Bacharel e Licenciado em Engenharia Eletrotécnica pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto. Mestre e Doutor em Engenharia Eletrotécnica na especialidade de Sistemas de Energia pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Professor Coordenador no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto, desempenhando atualmente as funções de Diretor do curso de Mestrado em Sistemas Elétricos de Energia. É autor de vários artigos publicados em conferências nacionais e internacionais, diretor da revista técnico-científica e integrante do júri de provas públicas de doutoramento e para a carreira do ensino superior.

Apoio à Edição
hager

Parceiro de Comunicação
electricista

Também disponível em formato e-book
ISBN 9789898927620
www.engebook.pt

engebook



INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO
DIMENSIONAMENTO E PROTEÇÃO DE CANALIZAÇÕES ELÉTRICAS

ENGEBOOK **ELEKTROTECNIA**

António Gomes
Henrique Ribeiro Da Silva
José Beleza Carvalho

2ª EDIÇÃO



engebook