



# ANÁLISE DOS EFEITOS TÉRMICOS PROVOCADOS PELO DESEQUILÍBRIO DE CORRENTE EM CABOS PARALELOS

**Luã Martins**

Departamento de Engenharia e Inovação/ ESOL

Energisa Soluções

Avenida Manoel Inácio Peixoto, S/N, Cataguases, Minas Gerais, Brasil

luan.martins@energisasolucoes.com.br

## RESUMO

As instalações elétricas em empreendimentos de gerações eólicas possuem condutores unipolares paralelos. Esta configuração é escolhida para facilitar as instalações e passagem dos condutores por eletrodos ou bandejamentos. Conforme o arranjo em que os cabos estão submetidos podem gerar um desequilíbrio nas correntes elétricas. Em virtude dessa desigualdade pode ocorrer sobreaquecimento dos condutores que estão submetidos a um maior fluxo de corrente elétrica. Portanto para reduzir os impactos do efeito joule sobre os condutores, este artigo apresenta um método de organização dos condutores no local onde estão instalados. Com a reorganização dos condutores, juntamente com a realização de uma rotina de manutenção preditiva, é possível reduzir os efeitos térmicos e aumentar a disponibilidade do circuito.

**Palavras-chave:** *Desequilíbrio de corrente, cabos paralelos e efeito Joule.*

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui um perfil energético com potencial técnico para utilização de fontes sustentáveis de energia como a eólica. Em decorrência do recente desenvolvimento tecnológico e de políticas públicas de incentivo, há um gradual incremento da participação de fontes renováveis na matriz energética nacional.

Nesse panorama, as centrais eólicas assumem um papel de destaque, atribuído ao grande potencial e especialmente ao baixo impacto imposto ao ambiente em sua fase de implantação. Segundo a Abeeólica, em fevereiro de 2018 foram instaladas 518 usinas eólicas no Brasil, totalizando 13GW de potência instalada.



Além das turbinas eólicas essas instalações possuem uma gama muito grande de equipamentos e componentes necessários para o processo de geração de energia elétrica. Para obter eficiência, as empresas buscam acompanhar o desempenho de todo o processo de geração.

Para o escoamento de toda energia gerada e para controle dos equipamentos, os condutores elétricos são componentes de grande importância e também deverão ser monitorados. Nos parques eólicos são encontrados condutores dentro dos painéis, saída do gerador, subestação, linha de transmissão e distribuição.

A saída das fontes geradoras é um local com alta intensidade de corrente e por isso é comum encontrar cabos paralelos em uma mesma fase. Este arranjo é uma solução muito utilizada pois os condutores dimensionados terão uma redução na seção transversal e serão mais flexíveis, proporcionando fácil instalação e viabilidade econômica ao projeto [1].

Os condutores paralelos ligados a uma mesma fase de um circuito podem originar um desequilíbrio da corrente elétrica podendo ocasionar sérios problemas a instalação elétrica dos empreendimentos [2].

Neste artigo serão apresentados os efeitos do surgimento dos desequilíbrios das correntes nos condutores e quais problemas podem ser gerados.

## **ANÁLISE DE CAMPO**

Em um sistema de geração eólica os problemas estão presentes entre a fonte e o transformador elevador da subestação unitária, onde os condutores estão acondicionados em bandejamentos e apresenta elevado valor de corrente elétrica.

Na maior parte desses circuitos são utilizados cabos de baixa tensão, 0,69/1KV com isolamento em borracha flexível que transmitem a energia produzida no gerador para o transformador, geralmente localizado na base da torre. Esses condutores possuem uma temperatura predeterminada, de acordo com a norma NBR 5410, para trabalho em regime permanente, sobrecarga e curto circuito.

A elevação de temperatura pode estar relacionada a diversos fatores, dentre eles: o local onde os cabos estão acondicionados, o arranjo dos cabos, tipo de material, temperatura do ambiente, agrupamento e a corrente elétrica.

Quando um cabo elétrico é submetido a temperaturas fora das recomendadas pelas norma NBR 5410, pode ocorrer a degradação da isolação e consequentemente interromper o processo de geração.

A corrente elétrica está relacionada diretamente com a elevação da temperatura nos cabos elétricos, é importante analisar esses efeitos quando as instalações possuírem cabos paralelos por fase. Dependendo do arranjo em que os cabos estão submetidos pode ocorrer o desequilíbrio entre as correntes da mesma fase, esse desequilíbrio é ocasionado pela indutância mútua[2].

## 2.1 Indutância mútua

Quando um condutor é submetido a um fluxo de corrente elétrica variável no tempo ocorre o surgimento de um campo magnético também variável. Em um circuito que possui vários cabos paralelos e com todos os condutores submetidos a um fluxo de corrente, o campo magnético proporcionará uma indução entres eles. Este fenômeno é conhecido como indutância mútua.

A indução mútua faz surgir uma força eletromotriz e uma corrente elétrica nos condutores vizinhos [3].

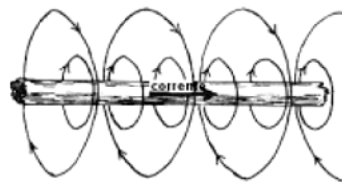


Figura 1 - Linhas de campo magnético criado com a circulação de corrente

A influência do campo e o surgimento da indução mútua entre os cabos podem contribuir no desempenho do circuito devido a alteração nos valores das grandezas elétricas de cada um dos condutores.

## 2.2 Acondicionamento regular

Em circuitos nos quais possuem cabos paralelos, devem-se levar em consideração as alterações que podem ocorrer devido a indução mútua.

Um circuito trifásico com três condutores paralelos por fase, montado conforme Figura 2, está exposto às influências das induções devido ao modo que estão acondicionados no circuito. Este tipo de organização é encontrado em muitos empreendimentos, também é possível encontrar condutores

organizados de forma aleatória sem seguir uma sequência entre as fases ou até sem seguir um padrão de organização, devido os cabos estarem próximos.

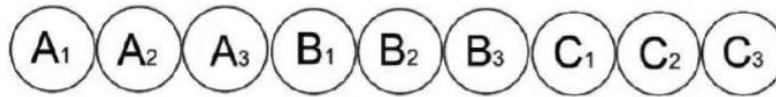


Figura 2 - Organização regular de cabos paralelos

No caso dos condutores pertencerem à mesma fase e, estes estarem agrupados lado a lado, a distribuição da corrente não será uniforme, ou seja, haverá cabos com maior e menor carregamento na mesma fase. Isso ocorre devido a indutância mútua gerar diferentes valores de força eletromotriz em cada condutores. Através da medição individual do valor de corrente elétrica de cada cabo é possível observar o desequilíbrio entre os condutores.

Na circulação de corrente elétrica ocorre a movimentação dos elétrons livres, a velocidade de deslocamento e a agitação entre eles produz um efeito térmico denominado efeito joule [4]. Quanto maior a corrente que circula por um condutor maior é o aumento da temperatura por efeito joule.

O condutor possui um limite de capacidade de condução de corrente elétrica que é determinada pela temperatura suportada pelo material isolante. A norma NBR11301 define o limite de temperatura que o material isolante de um condutor poderá suportar [5].

O cabo quando submetido ao regime de sobrecarga tem sua vida útil reduzida. Conforme a norma NBR11301 o condutor não pode superar 100 horas em 12 meses consecutivos, nem 500 horas durante a vida do cabo. Quando submetido ao regime de curto-circuito a duração máxima deve ser de 5 segundos [5].

A desigualdade do valor de corrente faz com que alguns cabos paralelos possam apresentar valores elevados e outros valores mais baixos, este efeito ocorre também nos condutores de uma mesma fase.

Quando um condutor é submetido a uma corrente acima de sua capacidade (sobrecarga), ocorre a elevação de temperatura e conseqüentemente degradação do material isolante. Isso reduz a vida útil do cabo e dependendo da intensidade da temperatura poderá derreter a isolação conforme Figura 3. Na presença de componentes harmônicas no circuito a corrente pode ser acentuada e conseqüentemente aumentar o valor da temperatura do condutor [6].

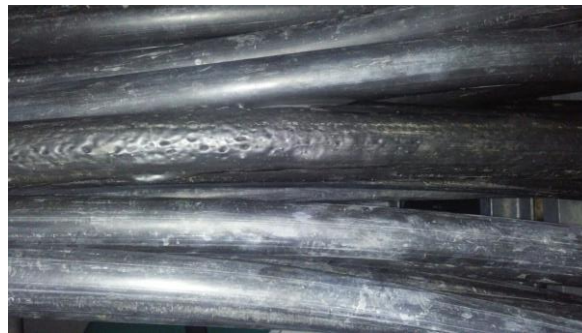


Figura 3 - Cabo danificado

Em análises em campo foi possível notar um desequilíbrio da corrente elétrica de até 50% entre condutores da mesma fase.

### 3 MEDIDAS DE CONTROLE

As normas NBR5410 e NBR14039 recomendam que devem ser tomadas medidas para garantir que as correntes sejam divididas igualmente [7] [8].

Para que ocorra distribuição de corrente uniforme entre os cabos que compõem a mesma fase, as induções nos cabos em paralelo devem ser semelhantes. Apenas dessa forma é possível garantir que as correntes se distribuam de forma regular. Com o intuito de realizar o arranjo dos condutores e uma distribuição de corrente mais equilibrada, os cabos unipolares deverão estar organizados com a junção das três fases de forma linear ou em trifólios.

As fases das extremidades do arranjo linear devem ser invertidas em cada conjunto e no arranjo em trifólio a inversão é nas fases que estão na base. Entre as fases deve ser considerado um espaçamento no valor do diâmetro do condutor para o arranjo linear ou duas vezes o diâmetro do condutor no caso da organização em trifólio [9]. A Figura 4 demonstra o correto arranjo que os condutores deverão seguir para uma distribuição de corrente equilibrada.

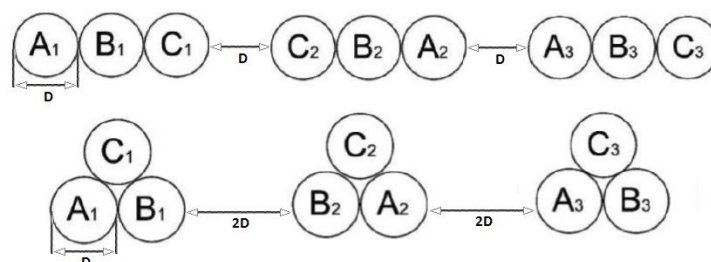


Figura 4 - Arranjo adequado para cabos paralelos



Cabos unipolares, instalados em paralelo, alocados em canaletas, leitos e eletrocalhas devem seguir a configuração acima e respeitar a distância entre a separação das fases.

Além da configuração os condutores devem ter a mesma seção nominal, o mesmo comprimento, o mesmo tipo de isolamento e mesmo material condutor. Todos estes cuidados devem ser analisados para não apresentar diferenças muito grandes na impedância de alguns dos cabos do circuito[9]. Para garantir o bom desempenho dos componentes deve-se adotar medidas afim de eliminar as possíveis falhas que poderão apresentar e atingir esse objetivo é importante seguir todos os critérios estabelecidos na norma NBR5410.

Um fator que contribui para o bom funcionamento dos componentes é a realização de manutenções preventivas e preditivas. Um tipo de manutenção que tem sido eficiente na prevenção de problemas é a inspeção termográfica. A termografia é um processo que utiliza o espectro infravermelho para identificar a temperatura de um corpo ou objeto. A técnica apresenta uma faixa de frequência eletromagnética emitida pelo equipamento do qual sua intensidade define a temperatura através de imagens térmicas [10]. Por dispensar contato físico e ser um teste não destrutivo, a análise de um componente considerando a distribuição de sua temperatura é uma técnica muito eficiente para análises em um sistema com uma grande circulação de corrente elétrica.

Uma outra técnica eficiente para identificação de problemas em cabos, principalmente em circuitos subterrâneos, é a reflexão de impulsos no domínio do tempo. O equipamento conhecido como reflectometro envia um pulso elétrico no cabo submetido ao teste. O reflectômetro realiza uma análise se o pulso elétrico de curta duração enviado sofreu alguma reflexão relacionado a presença de um defeito no condutor. Através da análise de retorno do pulso é possível identificar a localização exata de um defeito no cabo e reduzir o tempo de manutenção corretiva[11].

#### **4 CONCLUSÃO**

Foi observado que usualmente os condutores são instalados seguindo um padrão de arranjo, ou seja, alocados lado a lado de forma singela ou de forma aleatória sem seguir uma organização. Dependendo do arranjo dos condutores, podem ocorrer desequilíbrios dos valores de corrente e conseqüentemente elevar a temperaturas de alguns condutores.



O fluxo de corrente elétrica está totalmente relacionado com o aquecimento de um condutor. A temperatura é um fator determinante para o limite de condução de corrente dos cabos. Portanto o desequilíbrio de corrente em instalações onde os cabos estão subdimensionados ou mal arranjados podem ocorrer sérios problemas com a degradação térmica do material isolante dos condutores.

Com o objetivo de reduzir os impactos ocasionados pelo efeito joule este artigo apresentou a solução de organização dos cabos afim de eliminar os impactos da indução mútua e equilibrar as correntes elétricas em cada condutor. A solução apresentada garante um aumento da vida útil dos cabos e o bom desempenho da instalação, pois a corrente entre eles estará equilibrada e não ocorrerá sobrecarga de nenhum condutor.

Além disso, a elaboração de rotinas de manutenções nos ativos antecipam possíveis problemas gerados pelos sobreaquecimentos dos condutores. Com a atuação de uma equipe especializada em manutenção, utilizando equipamentos como termovisor e reflectômetro, é possível reduzir o tempo de indisponibilidade e assegurar a eficiência no processo de geração de energia elétrica.

## NOMENCLATURA

GW – Giga watts

kV – Quilo Volts

NBR – Norma Brasileira

## REFERÊNCIAS

- [1] LACORTE, Paulo L.; LOPES, Felipe T. F.; LOPES, Paulo. T. F.; VOLPATO, Sival R. Aceleração da Degradação do Isolamento de Cabos em Paralelo. *CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO*, 21., 2006, Vitória. Anais eletrônicos. Rio de Janeiro: ABRAMAN.
- [2] MIRANDA, Armando. P. R. *Instalações Elétricas Industriais*. São Paulo: edição do autor, 1994.
- [3] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J.; *Fundamentos de Física: Eletromagnetismo*. 8 a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v3.
- [4] RAMALHO JUNIOR, F. *Os Fundamentos de Física*. 7. Ed. Moderna, 1999.



- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11301: *Cálculo da Capacidade de Condução da Corrente de Cabos Isolados em Regime Permanente*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Setembro de 1990, 48 páginas.
- [6] Gouramanis, K., Demoulias, C., Labridis, D. P. & Dokopoulus, P.. *Distribution of non-sinusoidal currents in parallel conductors used in three-phase four-wire networks*. *Electric Power Systems Research*, v.79, pp.766-780, 2009.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: *Instalações elétricas de baixa tensão*. Rio de Janeiro, 2004.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14039: *Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV*. Rio de Janeiro, 2005.
- [9] FASSARELA, José Ernesto Viqueti. *Avaliação e Proposta de Solução para distribuição de corrente em arranjos com cabos paralelo*. Mestrado Profissional Em Montagem Industrial na Universidade Federal Fluminense.
- [10] ÁLVARES, Ricardo Costa. *Diagnóstico de falhas em para raios utilizando termografia*. Minas Gerais: 2008.
- [11] HASHMI, G. Murtaza; PAPAZYAN, Ruslan; LEHTONEN, Matti. *Determining wave propagation characteristics of MV XLPE power cable using time domain reflectometry technique*. In: *Electrical and Electronics Engineering, 2009. ELECO 2009. International Conference on. IEEE, 2009. p. I-159-I-163*.

## BIOGRAFIA

**Luã Martins**, nasceu em Leopoldina, Brasil, em 13 de outubro de 1988. É formado em Técnico em Eletromecânica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET no ano de 2010 e em Engenharia Elétrica pela Faculdade Doctum de Caratinga-MG no ano de 2017. Sua experiência profissional inclui atividades de supervisão nas atividades de operação e manutenção em usinas hidrelétricas e subestações. Atualmente desempenha a função de Engenheiro de Manutenção na empresa Energisa Soluções dando suporte em contratos de suporte técnico para ativos do setor elétrico.





# ANALYSIS OF THERMAL EFFECTS CAUSED BY THE IMPROVEMENT OF CURRENT IN PARALLEL CABLES

**Luã Martins**

Departamento de Engenharia e Inovação/ ESOL

Energisa Soluções

Avenida Manoel Inácio Peixoto, S/N, Cataguases, Minas Gerais, Brasil

luan.martins@energisasolucoes.com.br

## ABSTRACT

Electrical installations in wind farms have parallel unipolar conductors. This configuration is chosen to facilitate the installation and passage of the conductors by electrodes or trays. According to the arrangement in which the cables are submitted can generate an imbalance in the electric currents. Due to this inequality, the conductors that are subjected to a greater flow of electric current may overheat. Therefore, to reduce the impact of the joule effect on drivers, this article presents a method of organizing drivers in the place where they are installed. With the reorganization of the conductors, together with the realization of a predictive maintenance routine, it is possible to reduce the thermal effects and increase the availability of the circuit.

**Keywords:** *Current unbalance, parallel cables and Joule effect.*

## 1 INTRODUCTION

Brazil has an energy profile with technical potential for the use of sustainable sources of energy such as wind. As a result of the recent technological development and public incentive policies, there is a gradual increase in the share of renewable sources in the national energy matrix.

In this scenario, wind power plants play an important role, attributed to the great potential and especially to the low impact imposed on the environment in its implementation phase. According to Abeeólica, in February 2018, 518 wind farms were installed in Brazil, totaling 13GW of installed capacity.



In addition to wind turbines, these facilities have a very large range of equipment and components required for the electric power generation process. To achieve efficiency, companies seek to monitor the performance of the entire generation process.

For the flow of all generated energy and to control the equipment, electric conductors are components of great importance and should also be monitored. In wind farms, conductors are found inside the panels, generator output, substation, transmission line and distribution.

The output of the generating sources is a place with high current intensity and therefore it is common to find parallel cables in the same phase. This arrangement is a widely used solution since the dimensioned conductors will have a reduction in cross section and will be more flexible, providing easy installation and economical feasibility to the project [1].

Parallel conductors connected to the same phase of a circuit can cause an imbalance of the electric current and can cause serious problems to the electrical installation of the projects [2].

In this article we will present the effects of the emergence of the imbalances of the currents in the conductors and what problems can be generated.

## 2 FIELD ANALYSIS

In a wind power system the problems are present between the source and the unit transformer lift, where the conductors are packaged in bundles and have a high electric current value.

In most of these circuits low voltage cables, 0,69 / 1KV with flexible **rubber insulation are used that** transmit the energy produced in the generator to the transformer, generally located in the base of the tower. These conductors have a predetermined temperature, according to NBR 5410, for permanent duty, overload and short circuit.

The temperature rise can be related to several factors, among them: the place where the cables are conditioned, the arrangement of the cables, type of material, ambient temperature, grouping and the electric current.

When an electrical cable is subjected to temperatures outside the recommended by the NBR 5410 standard, degradation of the insulation can occur and consequently interrupt the generation process.

Electrical current is directly related to the temperature rise in electrical cables, it is important to analyze these effects when the installations have parallel cables per phase. Depending on the arrangement in which the cables are submitted, the imbalance between the currents of the same phase can occur, this imbalance is caused by the mutual inductance [2].

## 2.1 Mutual inductance

When a conductor is subjected to a variable current flow of time, a variable magnetic field arises. In a circuit having several parallel cables and all conductors subjected to a current flow, the magnetic field will provide an induction between them. This phenomenon is known as mutual inductance.

The mutual induction brings up a Electromotive Force and an electric current in neighboring conductors [3].

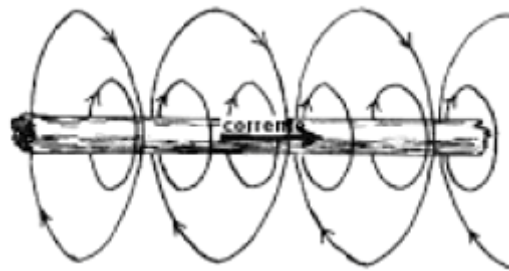


Figure 1 - Magnetic field lines created with current flow

The influence of the field and the emergence of the mutual induction between the cables can contribute to the performance of the circuit due to changes in the values of the electrical quantities of each of the conductors.

## 2.2 Regular packaging

In circuits in which they have parallel cables, one must take into account the changes that may occur due to mutual induction.

A three-phase circuit with three parallel conductors per phase, assembled as shown below Figure 2, exposes the influences of the inductions due to the way they are conditioned in the circuit. This type of organization is found in many enterprises, it is also possible to find drivers organized randomly without following a sequence between phases or even without following an organization pattern, because the cables are close.

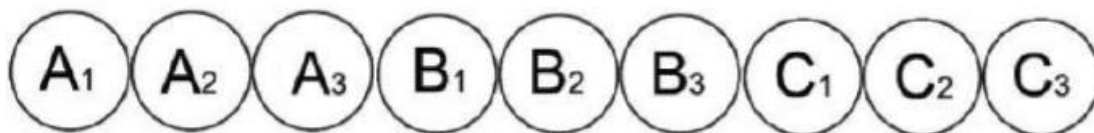


Figure 2 - Regular organization of parallel cables

If the conductors belong to the same phase and they are grouped side by side, the current distribution will not be uniform, ie there will be cables with higher and lower charges in the same phase. This is because of the mutual inductance generating different values of electromotive force on each conductors. Through the individual measurement of the electrical current value of each cable it is possible to observe the imbalance between the conductors.

In the electric current circulation, the free electrons move, the displacement velocity and the agitation between them produces a thermal effect called the joule effect [4]. The higher the current flowing through a larger conductor is the increase in temperature by joule effect.

The conductor has a current carrying capacity limit that is determined by the temperature supported by the insulation material. Standard NBR11301 defines the temperature limit that the insulation material of a conductor can withstand [5].

The cable when subjected to the overload regime has its life reduced. According to NBR11301 the driver can not exceed 100 hours in 12 consecutive months, nor 500 hours during cable life. When subjected to the short-circuit regime the maximum duration must be 5 seconds [5].

Inequality of the current value causes some parallel cables to have high values and other lower values, this effect also occurs in the conductors of the same phase.

When a conductor is subjected to a current above its capacity (overload), there is a rise in temperature and consequently degradation of the insulation material. This reduces the life of the cable and depending on the intensity of the temperature may melt the insulation according to Figure

3. In the presence of harmonic components in the circuit the current can be increased and consequently increase the value of the conductor temperature [6].

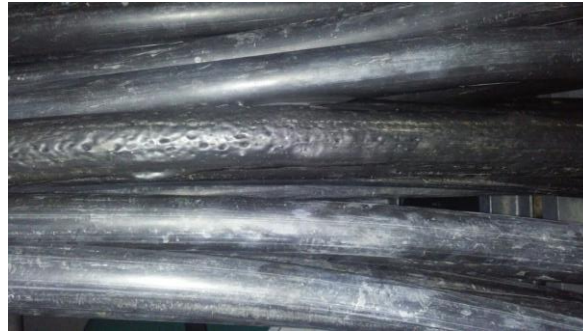


Figure 3 - Damaged cable

In field analysis it was possible to notice an electric current unbalance of up to 50% between conductors of the same phase.

### 3 CONTROL MEASURES

In standards NBR5410 and NBR14039, they recommend that steps must be taken to ensure that chains are equally divided [7] [8].

In order for uniform current distribution to occur between the cables composing the same phase, the induction on the parallel cables must be similar. Only in this way can it be ensured that the currents are distributed on a regular basis.

In order to realize the arrangement of the conductors and a more balanced distribution of current, the unipolar cables should be organized with the joining of the three phases in a linear or trifold way.

The phases of the ends of the linear arrangement must be inverted in each set and in the trefoil arrangement the inversion is in the phases that are in the base. Between the phases a spacing in the value of the conductor diameter for the linear arrangement or twice the diameter of the

conductor in the case of the trifolium organization [9] should be considered. Figure 4 shows the correct arrangement that the conductors should follow for a balanced current distribution.

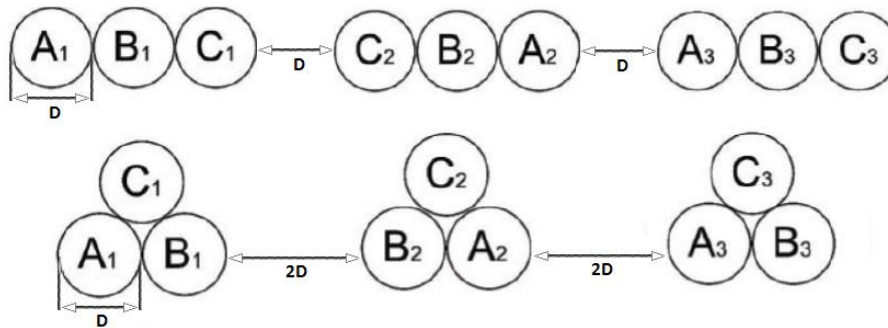


Figure 4 - Arrangement suitable for parallel cables

Unipolar cables, installed in parallel located in gutters, beds and electrodes should follow the above configuration and respect the distance between the separation of the phases.

In addition to the configuration the conductors must have the same nominal section, the same length, the same type of insulation and even conductive material. All these precautions should be analyzed in order not to present very large differences in the impedance of some of the circuit cables [9].

In order to guarantee the good performance of the components, measures must be taken in order to eliminate any possible failures. To achieve this objective, it is important to follow all the criteria established in the NBR5410 standard.

Another factor that contributes to the good functioning of the components is the performance of preventive and predictive maintenance. One type of maintenance that has been effective in preventing problems is thermographic inspection. Thermography is a process that uses the infrared spectrum to identify the temperature of a body or object. The technique presents an electromagnetic frequency band emitted by the equipment whose intensity defines the temperature through thermal images [10]. By dispensing physical contact and being a non-destructive test, the analysis of a component considering the distribution of its temperature is a very efficient technique for analysis in a system with a large circulation of electric current.



Another efficient technique for identifying cable problems, especially in underground circuits, is the reflection of impulses in the time domain. The equipment known as reflectometro sends an electric pulse to the cable under test. The reflectometer performs an analysis if the short-lived electrical pulse sent has undergone some reflection related to the presence of a defect in the conductor. Through the pulse return analysis it is possible to identify the exact location of a defect in the cable and reduce corrective maintenance time [11].

#### **4 CONCLUSION**

It was observed that usually the conductors are installed following an arrangement pattern, that is, they are allocated side-by-side in a simple way or randomly without following an organization. Depending on the arrangement of the conductors, imbalances of the current values can occur and consequently rise to the temperatures of some conductors.

The flow of electric current is totally related to the heating of a conductor. Temperature is a determining factor for the current conduction limit of the cables. Therefore, current imbalance in installations where the cables are undersized or poorly arranged can cause serious problems with the thermal degradation of the insulation material of the conductors.

With the objective of reducing the impacts caused by the joule effect, this article presented the cable management solution in order to eliminate the impacts of mutual induction and to balance the electric currents in each conductor. The solution presented guarantees an increase in the useful life of the cables and the good performance of the installation, since the current between them will be balanced and no overload will occur of any conductor.

In addition, the preparation of maintenance routines in the assets anticipate possible problems generated by the overheating of the drivers. With the performance of a team specialized in maintenance, using equipment such as thermal imager and reflectometer, it is possible to reduce downtime and ensure efficiency in the electric power generation process.

#### **NOMENCLATURE**

GW - Giga watts

kV - Kilo Volts



NBR - Brazilian Standard

## REFERENCES

- [1] LACORTE, Paulo L.; LOPES, Felipe T. F.; LOPES, Paulo. T. F.; VOLPATO, Sinval R. Aceleração da Degradação do Isolamento de Cabos em Paralelo. *CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO*, 21., 2006, Vitória. Anais eletrônicos. Rio de Janeiro: ABRAMAN.
- [2] MIRANDA, Armando. P. R. *Instalações Elétricas Industriais*. São Paulo: edição do autor, 1994.
- [3] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J.; *Fundamentos de Física: Eletromagnetismo*. 8 a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v3.
- [4] RAMALHO JUNIOR, F. *Os Fundamentos de Física*. 7. Ed. Moderna, 1999.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11301: *Cálculo da Capacidade de Condução da Corrente de Cabos Isolados em Regime Permanente*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Setembro de 1990, 48 páginas.
- [6] Gouramanis, K., Demoulias, C., Labridis, D. P. & Dokopoulus, P.. *Distribution of non-sinusoidal currents in parallel conductors used in three-phase four-wire networks*. *Electric Power Systems Research*, v.79, pp.766-780, 2009.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: *Instalações elétricas de baixa tensão*. Rio de Janeiro, 2004.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14039: *Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV*. Rio de Janeiro, 2005.
- [9] FASSARELA, José Ernesto Viqueti. *Avaliação e Proposta de Solução para distribuição de corrente em arranjos com cabos paralelo*. Mestrado Profissional Em Montagem Industrial na Universidade Federal Fluminense.
- [10] ÁLVARES, Ricardo Costa. *Diagnóstico de falhas em para raios utilizando termografia*. Minas gerais: 2008.
- [11] HASHMI, G. Murtaza; PAPAZYAN, Ruslan; LEHTONEN, Matti. *Determining wave propagation characteristics of MV XLPE power cable using time domain reflectometry technique*. In: *Electrical*





and Electronics Engineering, 2009. ELECO 2009. International Conference on. IEEE, 2009. p. I-159-I-163.

## **BIOGRAPHY**

**Luã Martins** was born in Leopoldina, Brazil, on October 13, 1988. He holds a degree in Electromechanical Technician from the Federal Center of Technological Education of Minas Gerais - CEFET in 2010 and in Electrical Engineering from the Faculty Doctum de Caratinga-MG in the year of 2017. His professional experience includes supervision activities in the operation and maintenance activities in hydroelectric plants and substations. He currently works as a Maintenance Engineer at Energisa Soluções, giving support in technical support contracts for assets in the electricity sector.