

PROPOSTA DE MELHORIA PARA REDUNDÂNCIA DE TOPOLOGIA DE COMUNICAÇÕES EM UNIDADES DE GERAÇÃO EÓLICA

Resumo: Desde a assinatura do decreto nº 5.025 o número de unidades geradoras provenientes de fontes alternativas vem aumentando no Brasil, entre elas as unidades de geração eólica. A indústria de geração eólica tem produzido equipamentos cada vez mais eficientes e seguros, entretanto os aerogeradores ainda são equipamentos que dependem do controle de um centro de operações. A distribuição dos equipamentos e a forma com que são conectados, a chamada topologia de rede, é fator determinante para o bom desempenho das unidades geradoras. Ao se tratar de parques eólicos um fator que impacta diretamente nos custos das instalações é a distância entre os dispositivos. Com isto, este artigo busca apresentar uma alternativa ao modelo de topologia redundante atualmente aplicada em unidades de geração eólica, avaliando o grau de impacto para aplicação dessa mudança. Além disso, espera-se elucidar quais são os maiores empecilhos técnicos para implantação da proposta. Demonstrando por fim qual o custo para sua utilização e quais impactos seriam causados por sua implantação.

Palavras-Chaves: Comunicações; parque eólico; Protocolo RSTP.

PROPOSAL FOR IMPROVEMENT OF REDUNDANT TOPOLOGY OF COMMUNICATIONS IN WIND GENERATION UNITS

Abstract: Since the signing of the Decree Nº 5.0.25 the number of generating units from alternative sources has been increasing in Brazil, among them the wind power plants. The industry of wind power generation has been producing increasingly efficient and safe equipment; however the wind turbines are still equipment that depends on the control of operation centers. The distribution of the equipment and the way in which they are connected, the so-called network topology, is a determining factor for the good performance of the power generating units. In the case of wind farms, one factor that directly impacts the costs of the facilities is the distance between the devices. With this, this article seeks to present an alternative for the redundant topology model currently applied in wind power units, evaluating the degree of impact to apply this change. In addition, it is expected to elucidate which are the major technical impediments to the implementation of the proposal. Demonstrating at last what the cost to use and what impacts would be caused by its deployment.

Keywords: Communication; Wind farms; RSTP protocol.

1. INTRODUÇÃO

Há alguns anos, já existe um grande movimento de migração das formas tradicionais de produção de energia para a utilização de fontes mais limpas e renováveis. No Brasil, desde 2004, com a assinatura do decreto nº 5.025, em que foi instituído o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) [1], o número de unidades geradoras provenientes de fontes alternativas vem aumentando, entre elas as unidades de geração eólica.

Com os incentivos que tem recebido por todo planeta, a indústria de geração eólica tem produzido equipamentos cada vez mais eficientes e seguros, o que torna os investimentos mais confiáveis e trouxe grande maturidade à tecnologia aplicada.

Mesmo com uma tecnologia mais madura e evoluída, que tornou os equipamentos mais eficientes e com menores custos de manutenção, os aerogeradores ainda são equipamentos que dependem do controle de um centro de operações. Esses centros são responsáveis por enviar comandos de controle aos equipamentos individualmente ou em grupo, de acordo com a demanda de produção [2]. Neste contexto, nota-se que a integridade e robustez da comunicação entre os aerogeradores e o sistema supervisor é de suma importância para o correto funcionamento de um parque eólico. É importante então definir quais são as características essenciais de um circuito de comunicação entre os aerogeradores de uma planta eólica e os diferentes modelos disponíveis.

1.1. Topologia de comunicações

Ao se tratar de sistemas de comunicações, um de seus pontos essenciais é a topologia de rede utilizada. A topologia de rede tem o objetivo de descrever física ou logicamente como é estruturada uma rede de computadores. A topologia física descreve como os equipamentos são dispostos e conectados na rede, enquanto que a topologia lógica demonstra o fluxo de dados que trafega por esta rede [3].

Em geral, tratamos por topologia de rede a distribuição física dos equipamentos que a compõem. A forma com que esses componentes são conectados classifica a rede em diferentes configurações. A seguir descrevem-se as principais configurações para uma rede local.

1.1.1. Barramento

Em uma topologia por barramento, todos os dispositivos são conectados em um mesmo barramento físico central. Essa topologia é geralmente utilizada para tecnologias de comunicação ponto-a-ponto. Nessa configuração, os dispositivos trocam informações entre si através deste mesmo cabo, o que significa que apenas um deles pode enviar mensagens, a cada vez, caso contrário, ocorrerão choques entre os pacotes enviados e os dados não serão transmitidos corretamente [3].

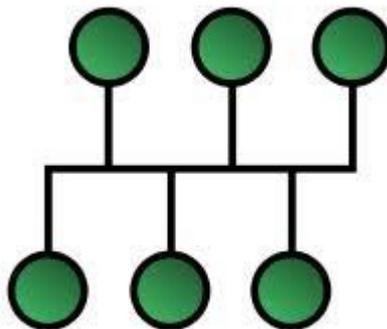


Figura 1- Topologia de rede em Barramento. Fonte: [4]

1.1.2. Anel

Numa configuração em anel, os dispositivos são conectados formando um circuito fechado (um anel ou um círculo). Nesta topologia, os dados são transmitidos em uma única direção, passando pelos dispositivos que estão conectados em série e sendo retransmitidos até atingir o dispositivo a que se destinam. Nessa configuração não se sofre com perdas no sinal uma vez que é retransmitido a cada dispositivo que encontra durante o percurso. Em contrapartida, temos um atraso no processamento dos dados uma vez que ele passa por dispositivos sequencialmente até atingir seu destino [3].

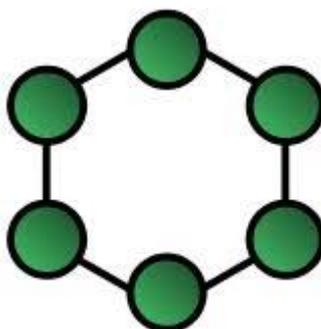


Figura 2- Topologia de rede em Anel. Fonte: [4]

1.1.3. Estrela

Essa configuração traz um conceito de concentrador. Para a troca de informação entre os dispositivos, todos os dados devem primeiramente ser enviados ao concentrador e apenas em seguida são retransmitidos a seu destino. Temos aqui, então, uma configuração em que falhas na rede podem ser rapidamente identificadas, assim como adição de novos dispositivos são mais simples que em outras configurações. Em consequência, possui um alto custo de implantação e um problema no concentrador faz com que toda a rede seja afetada [3].

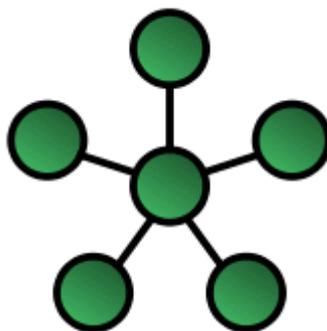


Figura 3 - Topologia de rede em Estrela. Fonte: [4]

1.1.4. Malha

Na configuração em malha, todos os dispositivos são conectados entre si. Assim, os dados podem ser transmitidos de um dispositivo a outro diretamente ou através de diversos caminhos. Assim, a comunicação entre os dispositivos é bem mais rápida que nas opções anteriores além de que um problema em um dispositivo ou conexão não afeta os demais componentes da rede. Em contrapartida, possui um elevado custo de implantação e requer que cada dispositivo tenha um número de interfaces equivalente ao número de dispositivos a qual se conecta [3].

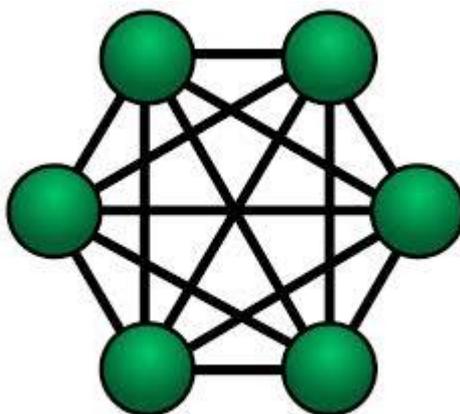


Figura 4 - Topologia de rede em Malha. Fonte: [4]

1.2. Rapid Spanning Tree Protocol

O Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) é um protocolo de rede utilizado para prevenir a formação de loops em uma rede de comunicação que possua anéis lógicos ou canais de backup. De uma forma geral, o RSTP é uma evolução do protocolo STP original, mais rápido e eficiente, utilizado em geral em redes que exijam alta disponibilidade. O protocolo baseia-se na atribuição de pesos para as

portas conectadas e definição de mestres para a comunicação (root bridge). Assim, durante a transmissão de dados, escolhe-se o caminho de menor peso (ou menos custoso) para o tráfego, enquanto mantém-se os caminhos de maior peso em estado de espera [5].

1.3. Virtual Local Area Network

Uma Virtual Local Area Network (VLAN) é uma segmentação lógica de uma rede local. As VLANs são construídas a partir de definições de software, de forma a dividir uma rede local física em distintos domínios a fim de dividir e priorizar o fluxo de dados. Outro propósito de sua utilização é restringir acessos a recursos de rede sem ser necessário aplicar modificações à sua topologia física [6].

2. ESTRUTURA AVALIADA

Diferente das estruturas encontradas em instalações prediais e datacenters, ao se tratar de parques eólicos, um fator que impacta diretamente nos custos das instalações é a distância entre os dispositivos. Quando se instala um parque eólico, deve-se levar em consideração que as perturbações geradas pelo funcionamento de um aerogerador não devem impactar no funcionamento de outro. Estudos indicam que a distância mínima entre os aerogeradores para evitar a influência da turbulência gerada por um gerador em outro deve respeitar uma distância mínima de três a dez vezes o tamanho de seu rotor. [7]

Assim, se imaginarmos um parque eólico com máquinas de 100m de rotor, teríamos que a distância mínima entre eles seria de 300m. Ou seja, à medida que aumentarmos a quantidade de aerogeradores o percurso chegaria facilmente a quilômetros.

Diante dessa realidade, topologias como de malha e estrela se tornam inviáveis diante dos custos relacionados à infraestrutura para passagem dos cabos de fibra óptica que interligam os equipamentos.

Uma configuração em barramento também se mostra pouco propícia em vista da quantidade de dados que necessita ser transmitida desde as turbinas até o sistema supervisor. Além disso, a comunicação não teria qualquer tipo de proteção contra possíveis falhas, ou seja, qualquer dano sofrido no canal de comunicação poderia comprometer a comunicação de um ou mais dispositivos sem possibilidade de recuperação até seu reparo.

Dessa forma, é com a topologia em Anel que se obtém o maior equilíbrio entre a taxa de transmissão de dados, custo de implantação e robustez do circuito de comunicação. É por esse equilíbrio que essa topologia é a mais utilizada nas estruturas de parques eólicos.

Em um circuito de fibras conectado em anel, as máquinas são interligadas através de dois cabos de fibras ópticas que partem desde um switch principal gerenciável conectado ao sistema supervisor. Cada máquina conta então com um

switch gerenciável ou não, responsável por retransmitir o sinal recebido ao próximo dispositivo do circuito ou entregar o sinal ao PLC da máquina em questão.

2.1. Tecnologia utilizada

O cenário estudado utiliza um switch gerenciável, também chamado de switch principal (SwP), conectado diretamente ao sistema supervisório, switches não-gerenciáveis em cada um dos aerogeradores, também chamados de switches de máquina, e cabos de fibra óptica de oito fibras interconectando os equipamentos numa topologia em anel.

É importante destacar que, para a conexão em anel através de fibras ópticas, os switches utilizados devem possuir duas portas para conexão de fibras.



Figura 5 - Exemplo de Switch não-gerenciável - N-tron 306FX2. Fonte: [8]

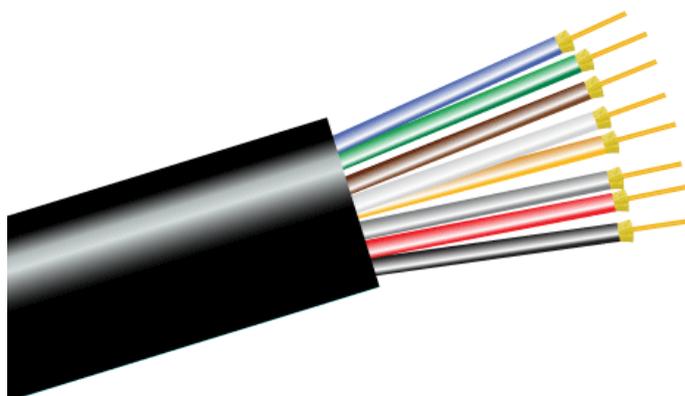


Figura 6 - Ilustração de cabo de fibras com 8 FO. Fonte: [9]

Das oito fibras que compõem os cabos, os dois primeiros pares são utilizados para o canal de comunicação principal e o canal de comunicação de backup. Os outros dois pares são chamados de reserva e permanecem livres até que ocorram danos em um dos pares que estejam em uso. A troca dos canais para um dos reservas deverá ser realizada de maneira manual. O canal principal e de backup partem do switch principal e se conectam aos switches dos aerogerados nas extremidades das séries de máquinas que compõem o anel. Para exemplificar, imagine que um circuito de fibras é composto por cinco máquinas, A1, A2, A3, A4 e A5, conectadas nessa ordem. As máquinas A1 e A5 são também ligadas ao switch principal (SwP), de forma que o canal principal liga-se à turbina A1 e o canal de backup conecta-se à turbina A5. Se imaginarmos que apenas o canal principal esteja em funcionamento, teremos as máquinas conectadas em série como SwP-A1-A2-A3-A4-A5. Ao mesmo tempo, caso apenas o canal de backup esteja em funcionamento veremos as conexões na sequência inversa SwP-A5-A4-A3-A2-A1. Ou seja, quando temos os dois canais disponíveis para comunicação, é possível extrapolar as séries de conexões, tornando-as realmente em uma conexão em anel como melhor exemplificado na figura abaixo:

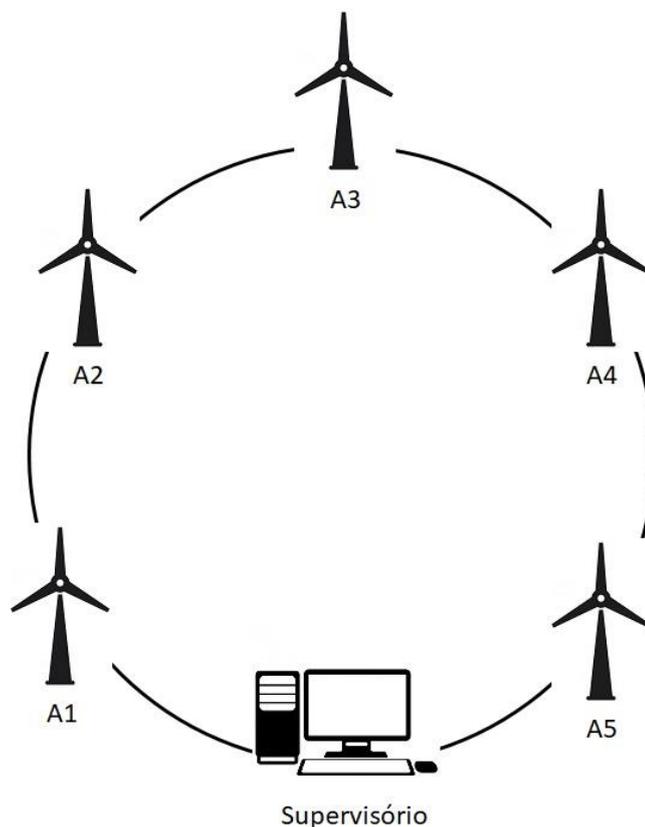


Figura 7- Exemplo de circuito de comunicação em anel com cinco aerogeradores. Fonte: Autor

Se todos os switches fossem não-gerenciáveis, a topologia em anel não seria possível, pois acabaria por criar um loop na rede. Sempre que um pacote de dados chega a um switch não-gerenciável ele o distribui para todos os dispositivos disponíveis ao seu alcance. Ou seja, no momento em que um pacote de dados fosse

entregue em um circuito fechado de switches não-gerenciáveis, estes switches seguiriam continuamente replicando o pacote já que não saberiam se ele realmente chegou ao seu destinatário.



Figura 8 - Switch gerenciável modular - N-tron NT24K. Fonte: [10]

Por esse motivo, o switch principal é um switch gerenciável em que foi configurado um protocolo RSTP. Dessa maneira, virtualmente, teríamos a topologia em anel dividida em uma série de máquinas, ou seja, o protocolo manterá em funcionamento a comunicação por apenas um dos canais disponíveis, usualmente, o principal, enquanto puder alcançar todos os dispositivos da rede. No momento em que a requisição de informações de um dispositivo não mais puder ser alcançada através desse canal, automaticamente, o switch habilitará o canal de backup a fim de voltar a ter conexão com todos os componentes de sua rede.

Vale ressaltar que, caso ocorra uma falha em algum trecho do canal principal e coincidentemente outra falha no canal de backup, as máquinas que se encontrassem entre estes pontos passariam a não comunicar-se com o supervisor, só recuperando a comunicação após reversão dos problemas na rede, geralmente reparo da fibra ou substituição do equipamento danificado.

3. MELHORIA PROPOSTA

Ao se avaliar, então, o cenário proposto, percebemos que a estrutura em anel atualmente empregada em parques eólicos é capaz de suportar uma falha crítica em seu circuito sem que haja comprometimento das comunicações de seus equipamentos. Entretanto, ainda que apenas com um evento, a localização do ponto defeituoso necessita do uso de mão-de-obra especializada, além de séries de testes para sua confirmação.

Em alguns casos, essas falhas podem ocorrer em momentos em que os especialistas não estejam disponíveis para avaliar o cenário ou prover os reparos necessários. Em situações como essas, a operação do parque eólico e o próprio Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), deixam de receber informações sobre as máquinas afetadas pelo problema, ou seja, será impossível realizar ações de regulação da energia daquela unidade geradora, caso o número de dispositivos em falha de comunicação tenha uma relação expressiva com o total de dispositivos do complexo.

Além disso, durante a operação normal de um aerogerador, existem alarmes que levam o dispositivo a uma parada até que o problema seja reconhecido. Muitas vezes, o próprio sistema supervisor avalia outras variáveis e envia um novo comando de retorno à operação para o equipamento; ou mesmo um operador desde o centro de comando pode enviar o comando de retorno, para casos em que o

evento registrado não seja uma situação crítica. Se durante o período de falha de comunicação, um evento como este ocorrer, a máquina permanecerá, então, em pausa até que uma das equipes de manutenção possa se dirigir ao local e faça a verificação do equipamento, ou seja, a máquina deixará de produzir e, conseqüentemente, serão acumuladas perdas no faturamento da unidade geradora.

Por fim, uma máquina em falha poderia apresentar uma série de alarmes que indicariam a necessidade de uma intervenção emergencial ou uma sinalização de princípio de incêndio. Sem a comunicação com o sistema supervisor para realizar qualquer intervenção ou sinalizar o problema encontrado, poderíamos chegar à perda do equipamento.

Diante do cenário exposto, em uma situação de falha de comunicação, a unidade geradora teria três opções:

- 1) Desligam-se os equipamentos nos períodos em que as equipes de operação de campo não estejam presentes para monitorar as máquinas;
- 2) Deslocam-se equipes de operação cobrindo turnos de 24 horas, verificando cada uma das máquinas que não tenham comunicação com o sistema supervisor diretamente na tela de registros do CLP;
- 3) Assume-se o risco de não cumprimento de pedidos de regulação pelo ONS e não monitoramento dos equipamentos em situações de falhas críticas.

Assim, além do custo de reparação da fibra ou equipamento danificado, acrescenta-se a um estado de falha, os gastos para deslocamento da equipe de especialistas, visto que em geral essa equipe não permanece fixa em um único parque eólico, e um valor significativo a ser pago seja por perda de produção, por pagamento de honorários às equipes que passarão a exercer a função de monitores dos equipamentos ou mesmo por conta de penalizações decorrentes do não cumprimento de requisições do ONS.

Neste contexto, este trabalho visa apresentar uma proposta de alternativa para o modelo atual de configuração em anel, expandindo o uso de switches gerenciáveis para todos os aerogeradores que compõem o circuito de fibras e não utilizando pares reservas, mas sim os transformando em novos canais de backup.

3.1 Alterações de topologia propostas

A principal modificação do novo modelo proposto é a substituição dos switches não-gerenciáveis por novos gerenciáveis. Além disso, os novos equipamentos deverão possuir quatro portas de fibras disponíveis e não mais apenas duas como no modelo anterior. O objetivo dessa substituição é transformar os atuais canais de reserva em novos canais de backup. A topologia em anel em si não seria alterada, os novos switches acrescentariam um segundo estágio de redundância à configuração atual.

Essa alteração concederia ao sistema novas possibilidades para realizar a comunicação com as máquinas em cenários de múltiplas falhas, reduzindo o risco de não cumprimento com as normas de monitoramento de unidades geradoras ou daqueles descritos no item 3 deste documento.

3.2 Implementação

O primeiro passo para a implementação na nova topologia em anel duplo passa pela criação de códigos de configuração para cada um dos equipamentos. Se antes era necessária a programação apenas do SwP, agora também os switches de máquina possuem endereços IPs, tornam-se acessíveis e tem poder de decisão no momento em que uma falha ocorre no circuito.

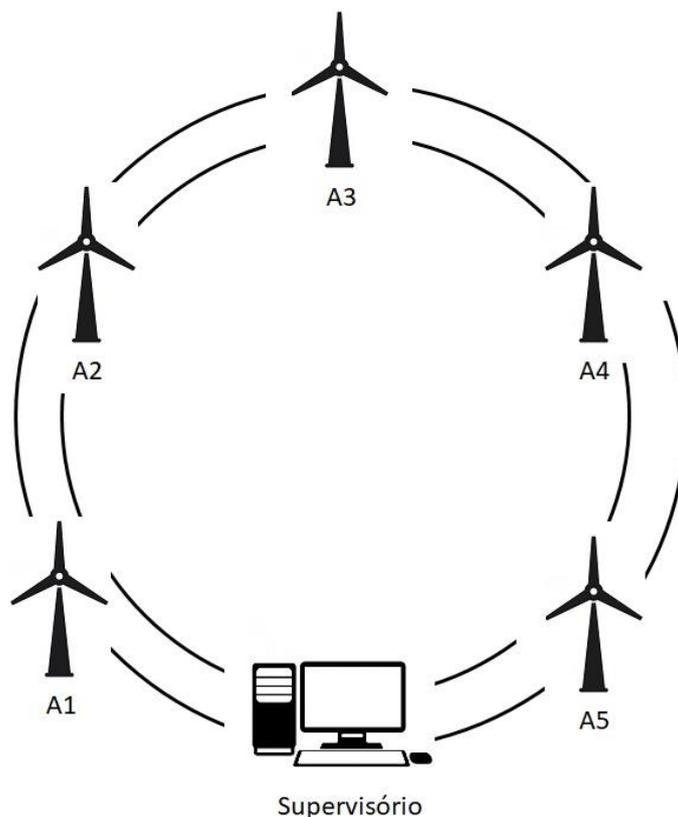


Figura 9- Exemplo de circuito de comunicação em anel duplo com cinco aerogeradores.
Fonte: Autor

Simplificadamente, a programação deverá contar com a configuração de duas redes básicas, uma VLAN de operação, responsável por transmitir os principais dados provenientes dos CLPs para o sistema supervisório e uma segunda VLAN de gerenciamento, que proverá acesso de administrador aos especialistas para que problemas sejam identificados com maior agilidade.

O exemplo abaixo demonstra o funcionamento de uma topologia que conta com um switch principal e um circuito simples de apenas três máquinas, na simulação, realizada através do software Cisco Packet tracer, podemos ver que um pacote enviado desde o CLP do segundo aerogerador (WTG02), representado por um computador, toma o caminho através do canal principal que passa pelo WTG01 e chega até o supervisório, também representado por um computador.

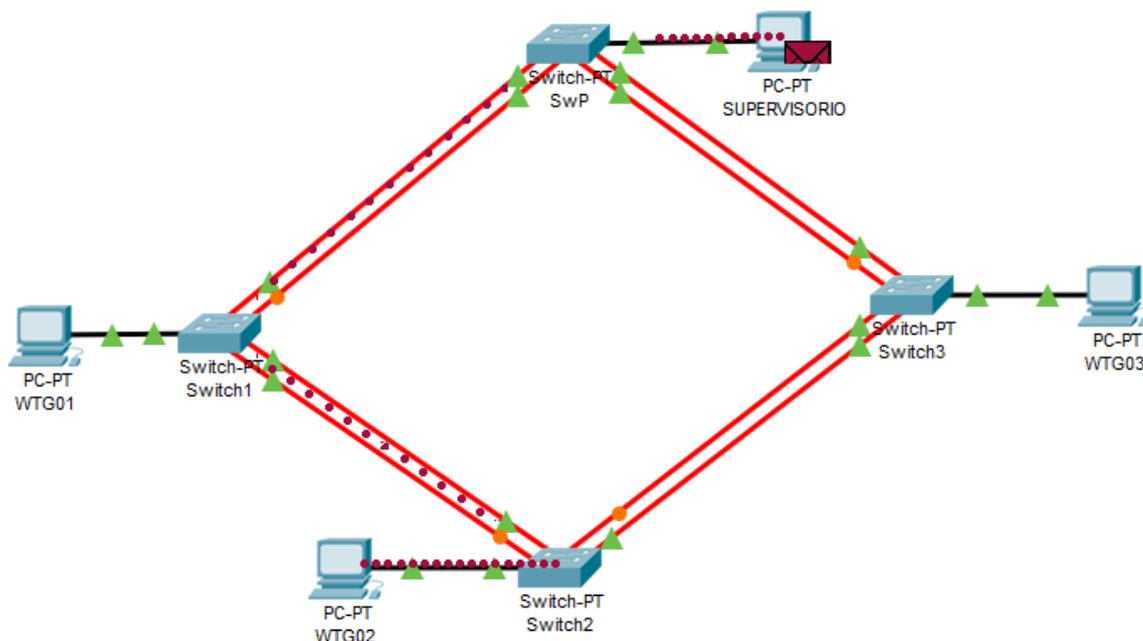


Figura 10 - Simulação de caminho percorrido por pacote enviado desde a WTG02 ao supervisório com todas as fibras em operação. Fonte: Autor

Em uma segunda simulação, removemos o canal principal entre os aerogeradores WTG01 e WTG02, e pode-se perceber que o mesmo pacote agora passou a ser enviado pelo canal de backup através do mesmo aerogerador WTG01.

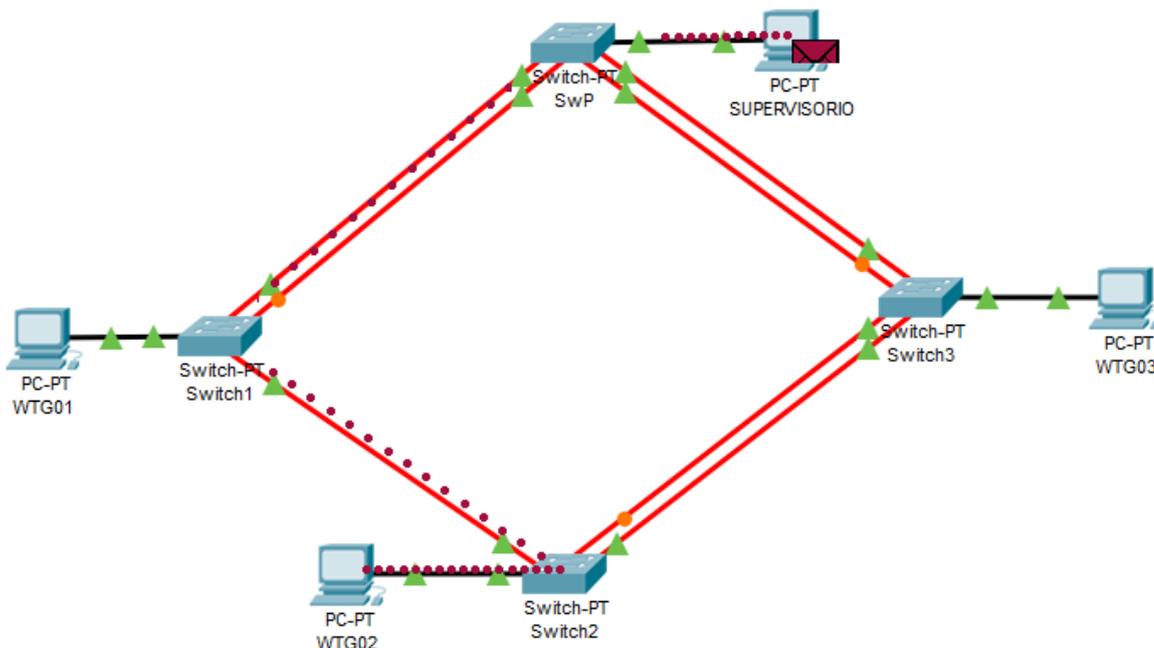


Figura 11 - Simulação de caminho percorrido por pacote enviado desde a WTG02 ao supervisório com fibra principal danificada entre WTG01 e WTG02. Fonte: Autor

Em um terceiro momento, ao remover completamente os canais principal e de backup que ligavam o aerogerador WTG01 e o SwP e também o canal principal entre o WTG03 e o SwP, podemos perceber que o pacote toma o caminho através do WTG03 e em seguida utiliza o canal de backup entre este último e o SwP.

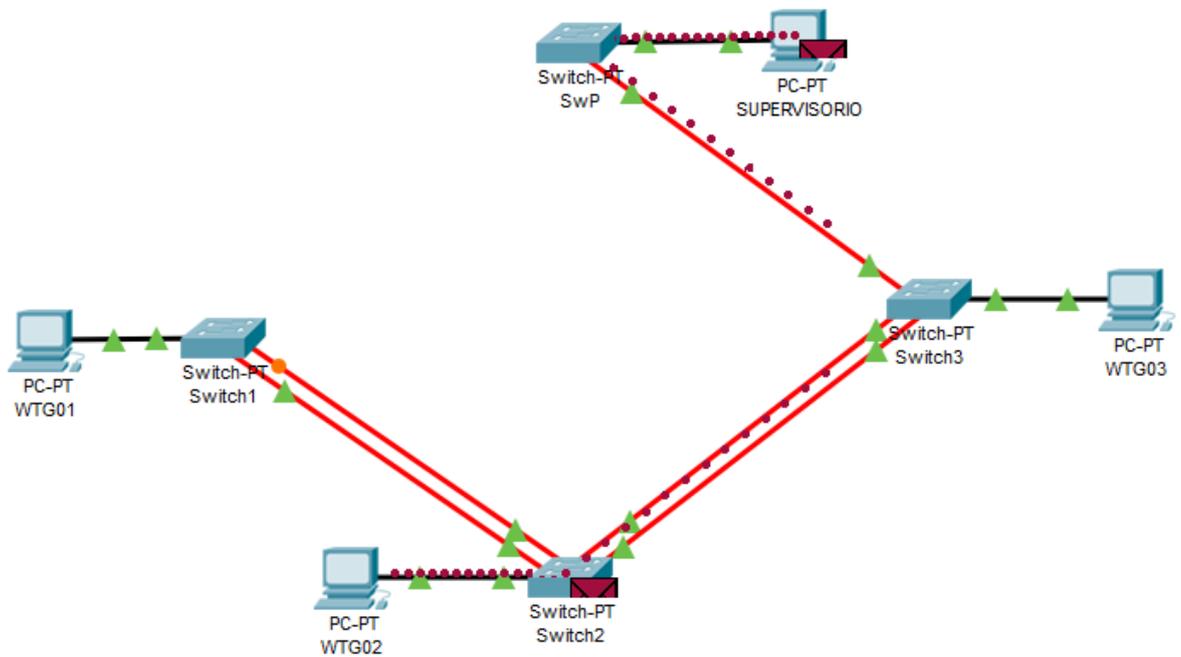


Figura 12 - Simulação de caminho percorrido por pacote enviado desde a WTG02 ao supervisorío diversas fibras danificadas. Fonte: Autor

Para essa simulação, foram utilizados switches genéricos disponíveis no software de simulação e montados com quatro módulos de fibra óptica e quatro módulos para conexões ethernet, conforme pode ser verificado na figura a seguir.



Figura 13 - Imagem do switch genérico montado para simulações através do software Cisco Packet Tracer. Fonte: Autor

A configuração aplicada aos switches para a realização dessas simulações pode ser encontrada no Anexo 1 deste documento.

4. IMPACTOS DA MUDANÇA

4.1 Ganho de confiabilidade

O fator diferencial na implementação da topologia em anel duplo proposta é o ganho significativo de confiabilidade do circuito de comunicação. Enquanto o modelo antigo possuía a capacidade de resistir a uma falha em seu sistema, a nova proposta só perderá seu estado de redundância completa, caso ocorram quatro falhas simultâneas em um mesmo dispositivo. Dessa forma, são inúmeras as possibilidades que a nova topologia possui para reconstituir a comunicação de seus dispositivos sem perda de eficiência.

Além disso, a partir do acesso remoto às interfaces de cada switch de máquina, o especialista, ao analisar um circuito, pode realizar um diagnóstico mais preciso das falhas e problemas que estão presentes em cada dispositivo, diminuindo o tempo de troubleshooting e, conseqüentemente, de reparo.

4.2 Impacto econômico

A implementação da topologia em anel duplo, conforme proposta, exigiria a substituição apenas dos switches de máquina por dispositivos gerenciáveis, conforme especificados no item 3.2 deste artigo. O switch principal utilizado para a comunicação direta com o supervisor poderia ser mantido, sendo necessário apenas acrescentar o número de módulos de fibras para parques com elevado número de circuitos, já que passariam a ser necessários quatro portas para cada circuito e não mais duas como no modelo anterior.

Também não seria afetado o número de cabos de fibras lançados, fator que, caso necessário, elevaria demasiadamente o valor do projeto e inviabilizaria a implantação da proposta. Conforme explicado anteriormente, não seriam acrescentados novos pares de fibra, mas sim passariam a ser utilizados os pares reservas como novos canais de backup, prontos para uso sem necessidade de intervenção direta.

As tabelas a seguir contêm os valores de dois modelos de switches que poderiam ser utilizados em cada uma das propostas, considerando um parque eólico com um total de quinze aerogeradores e divididos em três anéis de comunicação.

Tabela 1- Valores de Switches não gerenciáveis com alcance de 2Km. Fonte: [11], [12]

Dispositivo	Valor	Quantidade	Valor Total
N-Tron 308FX2	US\$690,72	15	US\$10.360,80
Moxa EDS-308-SS-SC	US\$649,00	15	US\$9.735,00

Tabela 2 - Valores de Switches gerenciáveis com alcance de 2Km. Fonte: [13], [14], [15]

Dispositivo	Valor	Quantidade	Valor Total
N-Tron 712FX4	US\$2.448,51	15	US\$36.727,65
Moxa EDS-G512E-4GSFP	US\$2.535,00*	15	US\$38.025,00

*O modelo Moxa EDS-G512E-4GSFP requer a aquisição de módulos SFP para transmissão por fibras. O Valor unitário de \$2.535,00 já inclui a compra dos quatro módulos SFPs necessários.

Como o custo da implantação da infraestrutura e fibras permanece o mesmo para todas as propostas, a diferença de valor, conforme descrito anteriormente, decorre unicamente da substituição dos switches em questão. A partir dos valores apresentados, a substituição dos equipamentos exigiria em média um investimento de \$27.328,43, para o exemplo proposto.

Dessa forma, a compensação de investimento recorre do ganho de confiabilidade decorrente do uso da nova topologia, no momento em que se remove da equação de custos os possíveis gastos decorrentes da perda de produção ou pelos honorários pagos à equipe de operação para monitoramento dos equipamentos em período integral.

5. REFERÊNCIAS

¹ O PROINFA; Publicação do Ministério de Minas e Energia disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/>>. Acesso em 18 de Fev. 2019.

² Mohamed A. Ahmed; Young-Chon Kim - Communication Network Architectures for Smart-Wind Power Farms. **Energies**, 2014.

³ Franciscatto, Roberto et al. Redes de computadores. **Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Agrícola de Frederico Westphalen**, 2014. 116 p. : il. ; 28 cm.

⁴ Paulino, Daniel; Topologia de Redes. Disponível em: <https://www.oficinadanet.com.br/artigo/2254/topologia_de_redes_vantagens_e_desvantagens>. Acesso em 28 de Abr. 2019.

⁵ Wojdak, Waldemar. Rapid. Spanning Tree Protocol: A new solution from an old technology. **Reprinted from CompactPCI Systems**. Mar. 2003.

⁶ Cisco Systems. VLANs. **Cisco Catalyst 4500 Series Switches, Cisco IOS Software Configuration Guide - Cisco IOS XE 3.10.xE**, 2019.

⁷ PLANNING PORTAL. **Draft PPS 18: Renewable Energy Annex 1 Wind Energy: Spacing of Turbines**. Disponível em: <https://www.planningni.gov.uk/index/policy/planning_statements_and_supplementary_planning_guidance/pps18/pps18_annex1/pps18_annex1_wind/pps18_annex1_technology/pps18_annex1_spacing.htm>. Acesso em 20 de Abr. 2019.

⁸ Unmanaged switch 306FX, **Source for Industrial Network product page**. Disponível em: <<https://iethernet.net/product/1385/>>. Acesso em: 28 de Abr. 2019.

⁹ Military Fiber Optic Cable, 8 Strand, Multimode, 62.5/125 OM1, Outdoor Tactical Breakout, Polyurethane. **Fiber Savvy Store product page**. Disponível em: <<https://www.fibersavvy.com/store/p/9701-Military-Fiber-Optic-Cable-8-Strand-Multimode-62-5/125-OM1-Outdoor-Tactical-Breakout-Polyurethane.aspx>>. Acesso em: 28 de Abr. 2019.

¹⁰ N-tron NT24K Red Lion, **FAL AUTOMATION PRODUCT PAGE**. Disponível em: <<http://falautomation.com.br/n-tron-nt24k-red-lion/>>. Acesso em: 28 de Abr. 2019.

¹¹ Red Lion Controls 308FX2-N-ST, **Allied Eletronics & Automation PRODUCT PAGE**. Disponível em: <<https://www.alliedelec.com/product/red-lion-controls/308fx2-n-st/70819580/>>. Acesso em: 28 de Abr. 2019.

¹² EDS-308 Series Switches, **Industrial Networking Solutions PRODUCT PAGE**. Disponível em: <<http://www.industrialnetworking.com//Manufacturers/Moxa-8-Port-Fast-Ethernet-Switches/Moxa-EDS-308-Series-Unmanaged-Ethernet-Switches>>. Acesso em: 28 de Abr. 2019.

¹³ Red Lion Controls 708FX2-ST, **Allied Eletronics & Automation PRODUCT PAGE**. Disponível em: <<https://www.alliedelec.com/product/red-lion-controls/708fx2-st/70229475/>>. Acesso em: 28 de Abr. 2019.

¹⁴ EDS-G512E-8PoE Series Switches, **Industrial Networking Solutions PRODUCT PAGE**. Disponível em: <<http://www.industrialnetworking.com/Manufacturers/Moxa-Managed-PoE-Ethernet-Switches/Moxa-EDS-G512E-8PoE-Series-Full-Gigabit-Switches>>. Acesso em: 28 de Abr. 2019.

¹⁵ SFP-SM-LC SFP Module, **Industrial Networking Solutions PRODUCT PAGE**. Disponível em: <<http://www.industrialnetworking.com//Manufacturers/Adder-KVM-Cabling-Accessories/Adder-Singlemode-SFP-Module-SFP-SM-LC>>. Acesso em: 28 de Abr. 2019.

ANEXO I – Configuração de Switch gerenciável utilizada para simulações no ambiente Cisco Packet Tracer

```
!  
version 12.1  
no service timestamps log datetime msec  
no service timestamps debug datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname SW1  
!  
!  
!  
!  
!  
spanning-tree mode pvst  
spanning-tree extend system-id  
!  
interface FastEthernet0/1  
  switchport access vlan 2  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet1/1  
  switchport access vlan 2  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet2/1  
  switchport access vlan 2  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet3/1  
  switchport access vlan 2  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet4/1  
  switchport access vlan 21
```

```
switchport trunk allowed vlan 2
switchport mode trunk
!
interface FastEthernet5/1
switchport access vlan 21
switchport trunk allowed vlan 2
switchport mode trunk
!
interface FastEthernet6/1
switchport access vlan 21
switchport trunk allowed vlan 2
switchport mode trunk
!
interface FastEthernet7/1
switchport access vlan 21
switchport trunk allowed vlan 2
switchport mode trunk
!
interface Vlan1
no ip address
shutdown
!
interface Vlan21
mac-address 00d0.587e.0c01
ip address 192.168.21.1 255.255.224.0
!
!
!
!
line con 0
!
line vty 0 4
login
line vty 5 15
login
```

```
!  
!  
!  
!  
end
```