



# Mitigação de Incêndios na Distribuição

## Obtenha Rápido Progresso com Soluções de Tecnologias Avançadas

Anthony Rahiminejad e Daqing Hou  
*Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.*

Nick Nakamura e Manoj Bundhoo  
*G&W Electric*

© 2019 por Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. e G&W Electric. Todos os direitos reservados.

Todos os nomes das marcas ou produtos que aparecem neste documento são marcas comerciais ou marcas comerciais registradas de seus respectivos proprietários. Nenhuma marca comercial da SEL pode ser usada sem permissão por escrito. Os produtos SEL que aparecem neste documento podem estar protegidos por patentes dos EUA e de outros países. 20190628

## Sumário

A infraestrutura de energia elétrica pode ser uma fonte de incêndios florestais. Este artigo descreve estratégias e tecnologias projetadas para minimizar ou até evitar a ameaça de incêndios provocados por energia elétrica. Essas soluções, focadas nos equipamentos de proteção da distribuição, podem ser rapidamente aplicadas em áreas com alto risco de incêndio.

## Introdução

Nos últimos anos, o sistema de energia elétrica tem sido cada vez mais a fonte de ignição de incêndios florestais. Fatores ambientais (por exemplo, mudanças climáticas, temperaturas elevadas, terra e ar seco, e ventos fortes) combinados com os arcos gerados pelos equipamentos do sistema de energia elétrica aumentam significativamente o risco de incêndios florestais [1] [2]. Para garantir a segurança pública, é vital planejar, preparar e identificar soluções para mitigação de incêndios. As concessionárias de energia elétrica implementam estratégias para mitigação de incêndios durante condições com alto risco de incêndio através de manutenção preventiva, práticas operacionais estratégicas, proteção avançada do sistema e fortalecimento do sistema [3].

As práticas operacionais estratégicas variam desde esquemas de proteção baseados na seletividade de relés até medidas mais extremas, tais como programas de desenergização do tipo PSPS (“Public Safety Power Shutoff”: Desligamento da Energia para Segurança Pública). Os esquemas seletivos baseados em relés podem incluir bloqueio do religamento, curvas rápidas de fusíveis e proteção de faltas à terra mais sensível, enquanto os programas PSPS desligam a energia da área com alto risco de incêndio e seccionam o perímetro da área não afetada.

A proteção avançada do sistema reduz a probabilidade de ignição através de avanços tecnológicos, tais como esquemas com eliminação rápida da falta, detecção de condutor caído e automação do sistema assistida pelas comunicações.

As estratégias de fortalecimento do sistema ajudam a criar uma rede mais robusta e resistente ao fogo, efetuando um *upgrade* na infraestrutura antiga para mitigar e eliminar as ignições causadas por faíscas.

Este artigo fornece uma análise abrangente das tecnologias de proteção da distribuição atualmente disponíveis para atenuação de incêndios. Estas soluções estão resumidas na tabela do Apêndice.

## Escopo das Estratégias de Mitigação de Incêndios

Diversas estratégias incluem um programa abrangente de mitigação de incêndios. Essas estratégias abordam quase todos os aspectos de uma concessionária de energia elétrica, desde operações e infraestrutura até prontidão das equipes e avaliação de riscos em toda a empresa. Uma discussão aprofundada sobre todas as estratégias utilizadas pelas concessionárias de energia elétrica para evitar incêndios florestais está fora do escopo deste artigo, mas elas podem ser agrupadas nas quatro categorias listadas abaixo.

### Manutenção Preventiva

A inspeção e o reparo constantes da infraestrutura envelhecida do sistema de potência minimizam o risco de ignição em áreas com alto risco de incêndio. Inspeções dos postes de distribuição, das estruturas de transmissão, dos equipamentos montados em postes e das subestações devem ser conduzidas para identificar riscos potenciais. Um programa de gerenciamento pró-ativo da vegetação é também essencial nas áreas com alto risco de incêndio. Esses programas incluem normalmente o corte e a remoção de árvores e outras fontes de combustível.

## Práticas Operacionais Estratégicas

Um componente crítico da mitigação de incêndios florestais é a capacidade de avaliar e prever o risco de incêndio com base nas condições meteorológicas e outros fatores ambientais. Essas variáveis são dinâmicas e a previsão exata requer o processamento de uma grande quantidade de dados de múltiplas fontes. O Serviço Nacional de Meteorologia e outras organizações fornecem informações sobre o risco de incêndio para diferentes áreas. Contudo, muitas concessionárias em áreas com alto risco de incêndio implantam suas próprias estações meteorológicas e outros sensores para coleta de informações sobre a velocidade do vento, temperatura, umidade e outros fatores para determinar o risco de incêndio e tomar decisões relativas à operação do sistema de potência.

## Proteção Avançada do Sistema

A agregação centralizada dos dados de ativos do sistema de potência fornece visibilidade do estado do sistema de potência; dessa forma, os operadores podem ajustar rapidamente a proteção e o controle para adaptar às condições de risco de incêndio. Isso permite que as concessionárias rapidamente desabilitem o religamento ou, em casos extremos, desliguem a energia em resposta a um risco elevado de incêndio conforme procedimentos estabelecidos. Algoritmos avançados de proteção dos relés para detecção de condutores rompidos e caídos podem ser implantados para acelerar a isolação destes circuitos nos casos onde a proteção tradicional é lenta ou ineficaz.

## Fortalecimento do Sistema

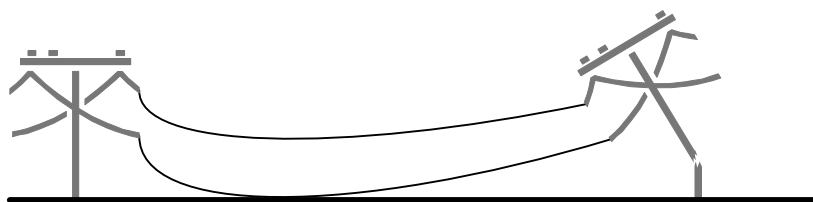
O fortalecimento das linhas, postes e outros equipamentos do sistema de potência através da atualização de projetos e seleção de materiais permite que o sistema de potência suporte maiores velocidades do vento e outros fatores ambientais. O fortalecimento do sistema geralmente foca no carregamento da linha ou poste, na prevenção de *flashover* dos equipamentos e na resiliência dos equipamentos durante a exposição ao fogo. Exemplos de fortalecimento do sistema incluem a substituição de postes de madeira por postes de metal, isolar condutores aéreos, aumentar o espaçamento dos condutores e enterrar circuitos seletivamente.

Este artigo fornece uma visão geral das tecnologias existentes que podem ser aplicadas para melhorar a proteção do sistema e fortalecer os sistemas de distribuição de energia para atenuar os riscos de incêndios florestais.

## Proteção Avançada do Sistema

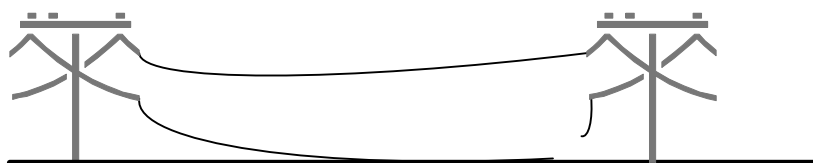
### Detecção de Condutores Caídos

Condutores elétricos caídos representam um risco à segurança pública devido à possibilidade de contato humano com os condutores e potencial formação de arco que provoca incêndios florestais. Condutores caídos, ou derrubados, são condutores aéreos que entraram em contato com o solo ou objetos conectados ao solo. Condutores caídos são tipicamente condutores rompidos. No entanto, postes ou outras infraestruturas danificadas também podem resultar em condutores caídos que ainda conectam cargas a jusante à fonte, conforme mostrado na Figura 1. Em casos extremos, alterações no próprio solo, tais como os movimentos de dunas de areia, também podem fazer com que os condutores de energia entrem em contato com o solo, resultando em uma situação de condutor caído.

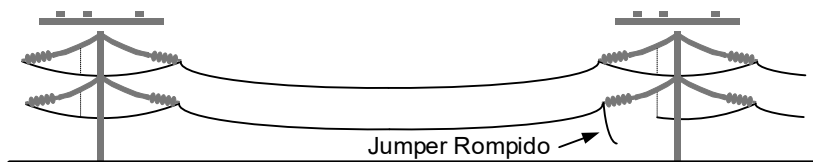


**Figura 1 Condutor Caído**

Condutores rompidos, às vezes conhecidos como condutores abertos, são condutores aéreos de energia que estão desconectados entre a fonte e a carga. Condutores rompidos que caem no solo também se tornam condutores caídos, conforme mostrado na Figura 2. Entretanto, nem todas as rupturas do condutor resultam em um condutor caído. Condutores rompidos podem enroscar em outros equipamentos no ar e nunca tocar o solo, como no caso de um jumper rompido (ver Figura 3).



**Figura 2 Condutor Rompido Caído**



**Figura 3 Condutor Rompido Que Não Está Caído**

### **Fontes de Falhas de Alta Impedância**

Condutores energizados caídos criam falhas de alta impedância (HIFs: “High-Impedance Faults”). HIFs são falhas no sistema de potência que geram correntes de falta muito pequenas (normalmente abaixo de 100 A). Quando um condutor caído entra em contato com uma superfície de baixa condutividade, a HIF resultante representa um desafio único para a proteção convencional do sistema de distribuição. A maioria dos sistemas de distribuição de energia usa proteção de sobrecorrente (por exemplo, relés, controles de religador e fusíveis) para detectar e eliminar falhas. No entanto, a baixa corrente de uma HIF torna difícil para a proteção de sobrecorrente distinguir a HIF da corrente de carga normal e do desbalanço permanente típico do sistema.

A tecnologia disponível nos relés e controles de religador da SEL pode detectar HIFs resultantes de condutores energizados caídos para que uma ação apropriada possa ser tomada para isolar rapidamente estes circuitos. O Controle de Religador Avançado SEL-651R integra-se facilmente com religadores G&W Viper® e está disponível com a tecnologia Arc Sense™ (AST: “Arc Sense Technology”) da SEL para detectar HIFs (tais como condutores caídos).

Os condutores caídos não são a única fonte de HIFs nos sistemas de distribuição de energia. Os isoladores sujos e a vegetação excessivamente grande tocando nos condutores aéreos de energia podem também resultar em HIFs. O diagrama de Venn da Figura 4 mostra a relação entre condutores abertos, condutores caídos e HIFs.



Conforme mencionado anteriormente, os condutores caídos não são a única fonte de HIFs no sistema de potência. A proteção AST do SEL-651R inclui um elemento de redução de carga para cada fase para ajudar a distinguir um condutor rompido e caído do arco no sistema causado por um isolador sujo ou um galho de árvore tocando a linha.

### ***Detecção de Fase Aberta***

Um método simples para detecção de uma condição de fase aberta que possa ser devida a um condutor rompido consiste em monitorar a relação da corrente de sequência-negativa pela corrente de sequência-positiva. Sob condições normais de operação, existe uma pequena corrente de sequência-negativa quando as cargas monofásicas são suficientemente equilibradas. No entanto, para uma condição de fase aberta, tal como aquela resultante de um condutor rompido, o desbalanço resultante terá como consequência um aumento da corrente de sequência-negativa medida. A corrente de sequência-negativa será igual à corrente de sequência-positiva para o circuito afetado.

Dividir a corrente de sequência-negativa pela corrente de sequência-positiva fornece o percentual do desequilíbrio de corrente em um determinado ponto no sistema. Os valores limites de alarme e trip podem ser ajustados para determinados níveis de desequilíbrio medidos nos Controles de Religador SEL-651R em todo o sistema de distribuição. Estes valores de pickup podem ser usados em conjunto com AST para ajudar a determinar se uma falta de alta impedância detectada é o resultado de um condutor rompido. O desequilíbrio do sistema típico e o do pior caso para diferentes condições de operação têm que ser considerados no ajuste destes valores limites. Este método não será capaz de distinguir entre um condutor rompido e um fusível queimado e pode não ser suficientemente sensível para detectar um condutor rompido em um ramal ou circuito levemente carregado. Nas áreas onde apenas cargas monofásicas são alimentadas e for desejável continuar a operação com apenas um fusível queimado, este método sozinho não é suficiente para detectar condutores rompidos.

### ***Integrando a Detecção de Condutor Caído no Nível do Sistema***

A proteção do condutor caído é implementada de forma mais adequada como parte de um sistema global. A tecnologia AST nos relés SEL e no SEL-651R pode fornecer o suporte principal (“backbone”) de tal sistema para detecção de HIFs dos condutores caídos. A integração desses dispositivos com o SCADA ou um controlador de automação da distribuição centralizado melhora a sensibilidade e a segurança desta proteção incorporando dados provenientes de outras fontes, tais como o Sistema Transmissor e Receptor de Falta e Carga SEL-FLT e SEL-FLR. A concentração dessas informações permite que um operador do SCADA execute rapidamente ações com base em todas as informações relevantes, o que possibilita que um controlador de automação da distribuição tome decisões automáticas de trip e alarme de alta velocidade baseadas nos dados de múltiplos dispositivos em várias zonas de proteção. Consulte a Figura 14 no Apêndice para obter um exemplo de alto nível de um sistema integrado e simples.

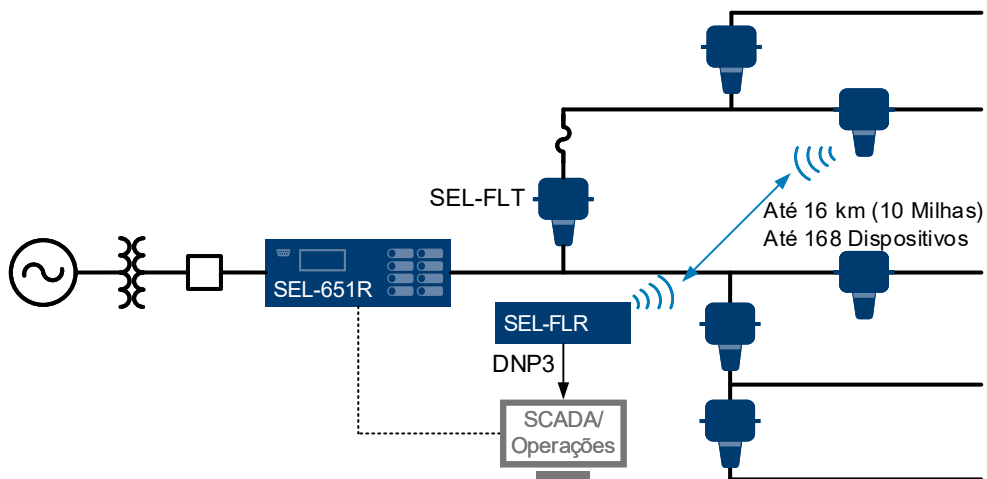
### ***Habilitando a Detecção de HIF***

Em aplicações com condições dinâmicas do sistema, pode ser necessário habilitar as decisões de trip dos elementos HIF com dados adicionais do sistema de potência. Se houver comunicações disponíveis para o SEL-651R, a sensibilidade e a segurança da detecção de HIF podem ser equilibradas com informações do SCADA e de outros sistemas. Quando os dados da infraestrutura de medição avançada estiverem disponíveis para o SCADA em tempo quase real, a perda dos medidores nas instalações a jusante de um religador combinada com a ativação do elemento HIF do SEL-651R naquele religador pode indicar com alto grau de confiança que há um condutor rompido e caído.

Uma perda súbita da corrente de carga em uma fase que é medida em uma derivação ou ramal pode também servir como habilitação para o elemento HIF de um SEL-651R a montante, o qual pode dar trip ou emitir um alarme para um condutor rompido e caído. Isso pode ser facilmente

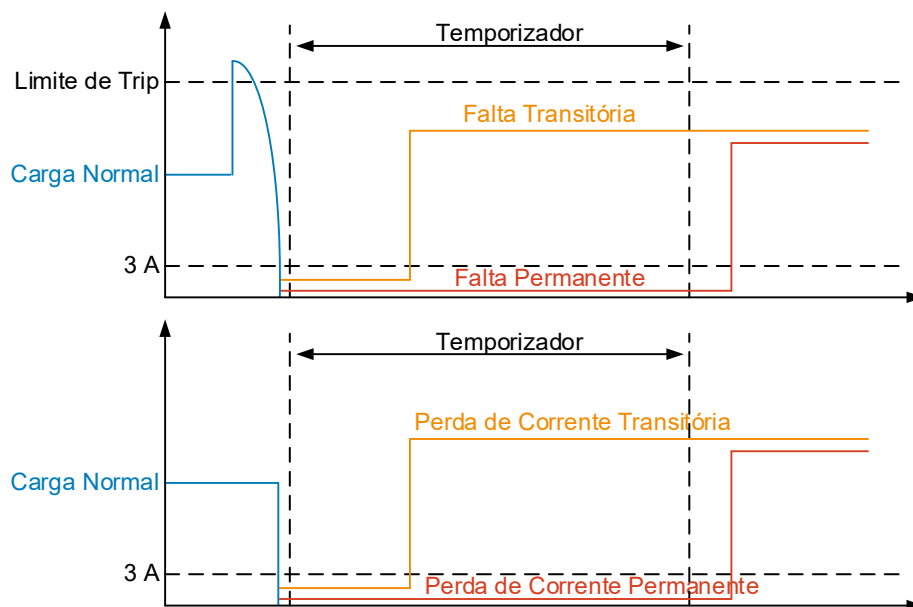
obtido aplicando-se o Sistema SEL-FLT e SEL-FLR em derivações e ramais a jusante de religadores em zonas com alto risco de incêndio para indicar uma perda de corrente para o SCADA ou controlador de automação da distribuição centralizado.

O Sistema SEL-FLT e SEL-FLR pode rapidamente indicar uma falta, perda de corrente ou distúrbio e reportar dados de carga precisos para fornecer aos operadores do sistema de distribuição uma melhor visibilidade das condições do sistema e agilizar a localização da falta. O SEL-FLT pode ser facilmente instalado em condutores aéreos com uma simples vara de manobra ("hot stick"). Ele se comunica com o SEL-FLR, que fornece então dados via protocolo DNP3 para o SCADA. A Figura 5 mostra um exemplo de aplicação.



**Figura 5 Exemplo de Aplicação do SEL-FLT e SEL-FLR**

O SEL-FLT pode distinguir entre faltas permanentes e transitórias ou perdas de carga em aplicações onde o religamento automático é aplicado. Um contador individual é mantido para cada tipo de evento, o que pode ajudar a identificar a localização de faltas transitórias ou outras áreas problemáticas. Um elevado número de faltas transitórias em um ramal pode indicar um ponto de falta iminente ou a necessidade de gerenciamento adicional da vegetação. A Figura 6 mostra como o SEL-FLT identifica diferentes tipos de eventos. Temporizadores programáveis independentes são usados para faltas e perdas de carga para distinguir entre eventos permanentes e transitórios.



**Figura 6 Detecção de Evento do SEL-FLT**



### ***Detecção de um Condutor em Queda***

A SEL trabalhou com uma concessionária de energia da Califórnia no desenvolvimento de uma abordagem inovadora para rapidamente detectar e dar trip para um condutor em queda antes mesmo que ele atinja o solo [4]. Esta aplicação monitora os dados dos sincrofasores de tensão medidos por unidades de medição fasorial (PMUs: “Phasor Measurement Units”) localizadas em todo o sistema de potência e verifica os padrões de mudança na tensão entre as localizações para detectar uma ruptura do condutor. Quando é detectada uma ruptura do condutor, este método usa a troca de mensagens IEC 61850 GOOSE de alta velocidade para emitir comandos de trip e isolar o condutor em queda. Esta aplicação requer comunicações de alta velocidade com alta largura de banda entre as PMUS, bem como medições da tensão em ambas as extremidades de todos os segmentos de linha protegidos.

### **Religamento Adaptativo**

As concessionárias de energia elétrica usam religamento automático para melhorar a confiabilidade do sistema impedindo que faltas transitórias em condutores aéreos resultem em interrupções de energia prolongadas. No entanto, para circuitos que atravessam áreas com alto risco de incêndio, o religamento automático não é desejável devido ao maior risco de ignição provocada pelos arcos repetidos. Tornou-se comum desabilitar o religamento nestes alimentadores durante determinados períodos do ano com base nas condições meteorológicas, ou desabilitar completamente em alguns casos. A flexibilidade do SEL-651R permite que as concessionárias facilmente adaptem os esquemas de proteção e religamento para atender aos desafios dinâmicos associados à prevenção de incêndios florestais.

### ***Ajustes Remotos do Religamento Automático***

Devido à natureza dinâmica das condições meteorológicas, ambientais e outros fatores que influenciam o risco de incêndios florestais, os esquemas de proteção precisam também ser ajustados em tempo real. O SEL-651R pode ser facilmente integrado em um sistema de controle centralizado (SCADA, sistema de gerenciamento da distribuição, etc.) usando protocolos padrões através de uma interface serial ou Ethernet. Isso permite que os operadores do sistema desabilitem rapidamente o religamento, seccionem as áreas com alto risco de incêndio, e configurem outros ajustes manual ou automaticamente baseando-se em condições variáveis.

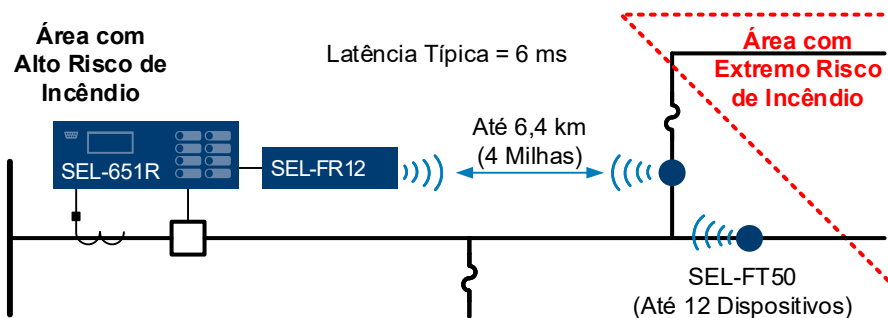
As concessionárias de energia elétrica coletam mais dados do que nunca provenientes de vários sistemas para maximizar a eficiência, confiabilidade e segurança. Modelos de risco de incêndio derivados de estações meteorológicas, fotografias de satélite e outros dados podem fornecer aos operadores do sistema as informações necessárias para tomada de decisões, tais como desabilitar o religamento ou, em circunstâncias extremas, desligar a energia em benefício da segurança pública. Os ajustes dos esquemas de proteção e religamento podem ser diferenciados por circuito e localização para se adaptar às condições existentes e previstas. Como exemplo, desabilitar remotamente o religamento ou abrir remotamente o religador para seccionar o perímetro de uma zona com alto risco de incêndio quando o risco de incêndio existente ou previsto for elevado devido ao clima ou outras condições.

### ***Ajustes Dinâmicos do Religamento Automático***

Ao desabilitar o religamento, as concessionárias de energia estão priorizando a segurança pública em relação à confiabilidade do sistema. Quando parte de uma linha passa através de uma área com alto risco de incêndio, a confiabilidade de todo o alimentador pode ser afetada. O Sistema Transmissor e Receptor de Faltas SEL-FT50 e SEL-FR12 pode fornecer informações da detecção de falta de alta velocidade diretamente para um relé SEL ou SEL-651R. O Transmissor de Faltas SEL-FT50 detecta a corrente de falta e envia uma indicação via comunicação *wireless* para o Receptor de Faltas SEL-FR12, que se comunica diretamente com o SEL-651R via comunicações MIRRORED BITS® de alta velocidade. O Sistema SEL-FT50 e SEL-FR12 possui velocidade otimizada e fornece tipicamente indicações de falta para o SEL-651R dentro de 6 ms do início da

falta. Isto é rápido o suficiente para alterar dinamicamente o esquema de proteção ou religamento do SEL-651R com base no local onde a falta ocorre no sistema.

O SEL-FT50 pode ser facilmente instalado nos condutores aéreos usando uma simples vara de manobra. Instalando SEL-FT50s em ramais ou nos limites de áreas com alto risco de incêndio, as concessionárias de energia podem habilitar o religamento para faltas que ocorrem fora destas áreas, conforme mostrado na Figura 7.



**Figura 7** Aplicação de Religamento Dinâmico Usando o SEL-FT50 e SEL-FR12

A aplicação do Sistema SEL-FT50 e SEL-FR12 possibilita que as concessionárias de energia foquem na segurança pública enquanto restabelecem a confiabilidade do sistema para faltas nas áreas onde o risco de incêndio é baixo.

### Eliminação Rápida da Falta

A velocidade com que as faltas são eliminadas é uma consideração importante para a mitigação do incêndio porque a energia liberada por uma falta com arco é proporcional ao tempo de eliminação da falta. O tempo total de eliminação da falta é a soma do tempo necessário para identificar uma condição de falta e enviar o sinal de trip mais o tempo requerido pelo disjuntor ou controle de religador para interromper a corrente de falta. As concessionárias de energia elétrica se esforçam para obter os tempos de eliminação mais rápidos possíveis, atendendo ao mesmo tempo aos requisitos de seletividade e confiabilidade do sistema. Para circuitos de distribuição que atravessam áreas com alto risco de incêndio, minimizar a duração do arco e a energia total da falta é fundamental.

### Acelere o Trip para Ramais de Alto Risco

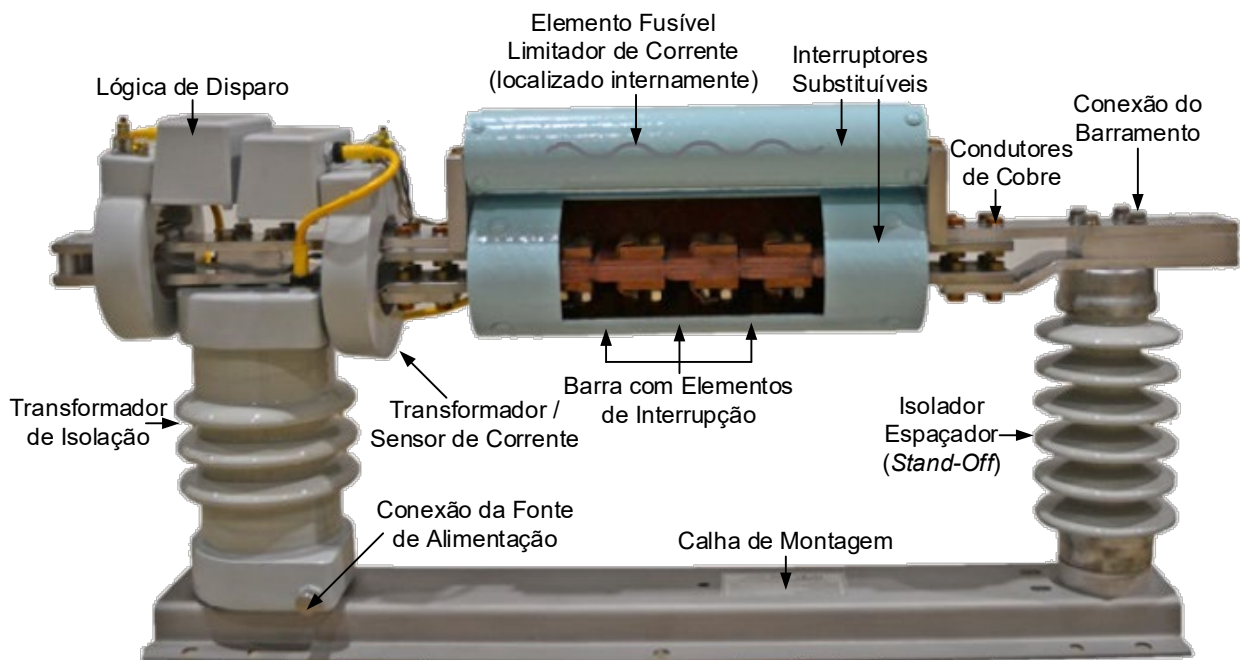
Para circuitos com ramais que passam através de áreas com extremo risco de incêndio, pode ser desejável acelerar o trip. Os controles de religador dessas áreas são normalmente ajustados para coordenar com os fusíveis dos ramais e o religamento é desabilitado. Quando os modelos de incêndio preveem um risco elevado para uma área com alto risco de incêndio, as concessionárias de energia podem aumentar as velocidades dos trips na área. O Sistema SEL-FT50 e SEL-FR12 podem ser usados para indicar se uma falta está em um ramal que passa através de uma dessas áreas e permite que o SEL-651R dê trip sem uma temporização intencional. Para ramais protegidos por fusíveis de maior capacidade, este método pode ser usado para acelerar o tempo de eliminação da falta e, dessa forma, reduzir a energia total da falta descoordenando intencionalmente o religador com o fusível que protege o ramal.

### Reduza os Tempos de Eliminação do Dispositivo de Proteção

Uma vez que as faltas tenham sido detectadas, um sinal é enviado a um disjuntor ou religador para dar trip e isolar a falta. Há um tempo fixo para eliminar a falta, baseado no dispositivo, assim que este sinal de trip é recebido. Reduzir o tempo de eliminação da falta diminui a duração total do arco e a energia liberada por uma falta.

Um Protetor Limitador de Corrente (CLiP®: "Current Limiting Protector") da G&W é composto por um interruptor e um fusível limitador de alta corrente, conforme mostrado na Figura 8. É um

limitador de corrente por comutação com detecção e disparo eletrônico onde um barramento de cobre transporta a corrente continuamente. Este caminho da corrente é aberto sob condições de sobrecorrente para introduzir um fusível limitador de corrente instalado em paralelo que interrompe a falta. A maneira mais eficaz de reduzir a energia passante durante a atuação do fusível (“let-through energy”) consiste em reduzir significativamente o tempo de detecção e de eliminação. Reduzindo a energia “let-through” (tipicamente para menos de 1% quando comparada com um disjuntor de cinco ciclos) e eliminando a corrente de falta dentro de meio ciclo, o CLiP pode ser uma solução eficaz para mitigação de incêndios florestais. Sua capacidade de interromper a corrente em menos de um ciclo reduz enormemente a possibilidade de ignições provocadas por faltas. O CLiP pode ser configurado para disparar com uma corrente de falta ajustável pelo usuário e é adequado para instalação dentro da subestação, fora da subestação, ou em um poste da concessionária de energia.



**Figura 8 Componentes do CLiP da G&W**

As melhorias na proteção do sistema de distribuição podem ser rapidamente implementadas como uma estratégia em um programa abrangente de mitigação de incêndios. A detecção e a isolação de condutores caídos representam uma parte importante desta estratégia e podem ser realizadas usando AST no SEL-651R, no Relé de Proteção de Alimentador SEL-751 e no Sistema de Proteção, Automação e Controle do Bay SEL-451. A tecnologia AST pode ser adicionada aos Controles de Religador SEL-651R-2 existentes no campo para rapidamente identificar e isolar condutores caídos em áreas com alto risco de incêndio. A capacidade de integrar facilmente o Sistema SEL-FT50 e SEL-FR12 com controles de religador SEL novos e existentes permite a rápida implantação de esquemas de religamento dinâmicos e trips mais rápidos através dos sistemas de distribuição.

## Fortalecimento do Sistema

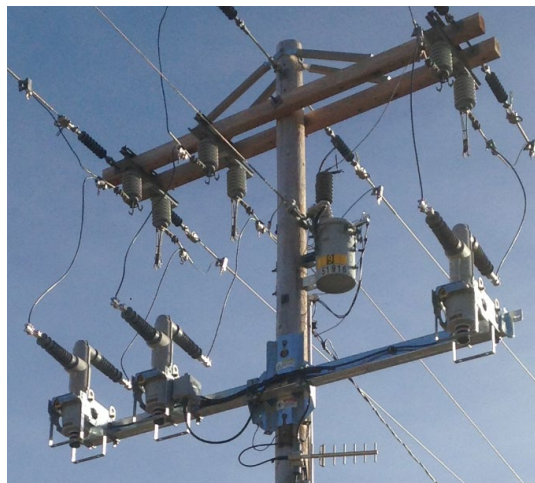
### Mitigação de Flashovers

Os condutores energizados expostos predominantes em toda a rede aérea podem produzir faíscas ou *flashovers* que podem provocar incêndios florestais. Desde faltas no sistema até violação dos espaçamentos (“clearances”) elétricos pela vida selvagem, muitas fontes de ignição diferentes precisam ser levadas em consideração. Esta subseção foca nas estratégias de fortalecimento do sistema que podem atenuar os *flashovers* do sistema.

### **Maior Espaçamento Entre Fases**

Os equipamentos de distribuição aérea atualmente disponíveis podem ser projetados de forma customizada para mitigar *flashovers*. Os religadores G&W Viper podem fornecer flexibilidade com projetos de polos independentes onde cada fase tem seu próprio mecanismo de interrupção da falta. Isso permite um espaçamento entre fases estendido personalizável que pode atenuar *flashovers* fase-fase externos. Os projetos tradicionais usam um espaçamento entre fases de 15 polegadas, enquanto os projetos mais recentes estendem este valor para 24, 30 ou mais polegadas. Este espaçamento estendido ajuda a evitar ignições de *flashovers* causadas por vegetação, sobretensão e contato com a vida selvagem. De acordo com as normas IEEE para espaçamentos elétricos [5] [6], os espaçamentos mínimos entre fases para classificações nominais de média tensão, tais como uma tensão máxima do sistema de 38 kV e nível de impulso básico de 150 kV, são de 10,3 e 12 polegadas, respectivamente. O espaçamento de fases estendido propicia uma margem considerável para mitigação de *flashovers* relacionados aos espaçamentos elétricos.

Quando o congestionamento do poste é um problema e há espaço limitado para instalar religadores, os projetos do módulo do religador G&W Viper podem ser configurados no formato Z que orienta ambas as buchas da fonte e da carga horizontalmente, conforme mostrado na Figura 9. Esta construção adiciona uma margem de segurança aos espaçamentos elétricos para evitar ignições.



**Figura 9** Religador G&W Viper com Módulos no Formato Z e Espaçamento Entre Fases Estendido

### **Construção do “Dead Tank”**

De acordo com IEEE C37.100-1992 [7], um dispositivo de chaveamento de tanque morto (“dead tank”) é um recipiente no qual “o potencial de terra circunda e contém o(s) interruptor(es) e os meios isolantes”. Um dispositivo de chaveamento de tanque vivo (“live tank”) é definido como um “dispositivo no qual o(s) recipiente(s) que abriga o(s) interruptos(es) está em um potencial acima da terra”. Os religadores G&W Viper são projetados com módulos dielétricos sólidos que usam um projeto “dead tank” totalmente aterrado. Em um evento de sobretensão que resulta em um *flashover* provocado pelo sistema, um módulo com um projeto “dead tank” pode conduzir a falta para o potencial de terra do módulo. Isso reduz a probabilidade de propagar o *flashover* de fase para fase e resultar em um *flashover* maior. Isto também reduz a necessidade de sensores externos, que por sua vez reduz a exposição de fontes vivas de energia. Um projeto “dead tank” também pode mitigar os *flashovers* provocados pela vida selvagem por meio da redução das fontes vivas de energia.



### **Isoladores com Classificação Superior e a Integração de Conectores Elbow**

As interfaces do religador G&W Viper conectadas ao primário são projetadas de acordo com a norma IEEE 386 para sistemas de conectores isolados desconectáveis, tornando os isoladores removíveis e atualizáveis no campo, conforme mostrado na Figura 10 [8].



**Figura 10 Isoladores G&W Viper Removíveis e Atualizáveis no Campo**

Os religadores G&W Viper classificados para tensões máximas do sistema de 15 kV ou 27 kV podem ser atualizados com isoladores de 38 kV, o que aumenta as distâncias de escoamento (“creepage”) e de arco (“strike”). A distância de escoamento é a menor distância permitida entre os potenciais condutivos, considerando o caminho ao longo das saias (“sheds”) do isolador. A distância de arco (“strike”), ou distância de *flashover*, é o menor caminho em linha reta entre os potenciais. O aumento da margem de segurança das distâncias de escoamento e arco reduz a probabilidade de *flashovers* que podem provocar incêndios florestais.

Além dos isoladores de silicone, os conectores *elbow* de borracha padrão industrial projetados com interfaces IEEE 386 também podem ser conectados às interfaces de religadores aplicáveis, conforme mostrado na Figura 11. Estes conectores *elbow* podem ser combinados com os religadores G&W “dead tank” para reduzir significativamente o número de conexões energizadas expostas na linha aérea, as quais podem ser uma fonte de *flashover*. Os religadores G&W Viper conectados via *elbow* têm sido aplicados para proteger transformadores e postes de transição (“riser pole”) da seção aérea para a subterrânea, bem como para mitigar *flashovers* provocados pela vida selvagem.



**Figura 11 Religadores G&W Viper Conectados Via Elbow**

### **Protetores da Vida Selvagem com Retardo da Chama**

O material, projeto e instalação apropriada dos protetores da vida selvagem sobre partes energizadas expostas são considerações extremamente importantes na mitigação de incêndios. Projetos que são corretamente implantados minimizam a exposição aos potenciais de energia e evitam *flashovers* causados pelo contato com animais. Os materiais com retardo da chama

usados na proteção da vida selvagem evitam que eventos de *flashovers* provoquem a ignição dos protetores, evitando assim que o material flamejante pingue no solo. Há protetores da vida selvagem disponíveis que foram personalizados para isoladores dos religadores G&W Viper e atendem às classificações de inflamabilidade da IEEE 1656-2010 e UL 94 V-0 [9]. A IEEE 1656-2010 é uma norma para testes do desempenho dos protetores da vida selvagem, e a classificação UL 94 V-0 testa a capacidade de o material autoextinguir sem pingar partículas flamejantes.

## Transição de Circuitos Aéreos para Subterrâneos

Outra estratégia para fortalecer o sistema e reduzir a possibilidade de um incêndio florestal consiste em identificar linhas aéreas de alto risco e efetuar a transição das mesmas para subterrâneas. O projeto “dead tank” com interfaces IEEE 386 de religadores G&W Viper permite que estes sejam usados em aplicações subterrâneas, tais como numa configuração com montagem em uma base (“pad-mounted”). Os mesmos relés e ajustes de proteção utilizados na aplicação aérea podem ser usados na aplicação subterrânea, reduzindo o número de *part numbers* de relés e configurações que precisam ser gerenciadas. As chaves de bypass G&W Trident® podem também ser operadas em paralelo com o religador para simular a construção aérea, tal como mostrado na Figura 12. Além disso, um indicador de estado visível (“visible break”), tal como “Trident with SafeVu”, pode ser integrado para fornecer mais visibilidade para o operador nesta configuração.

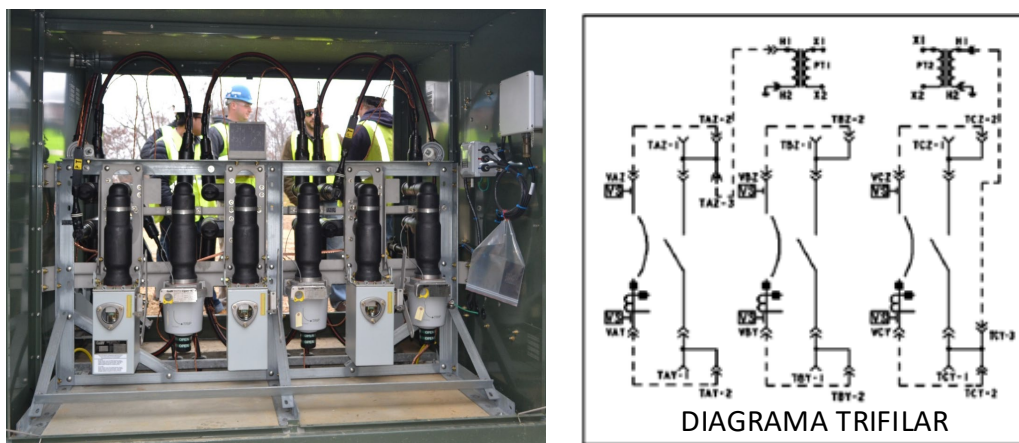
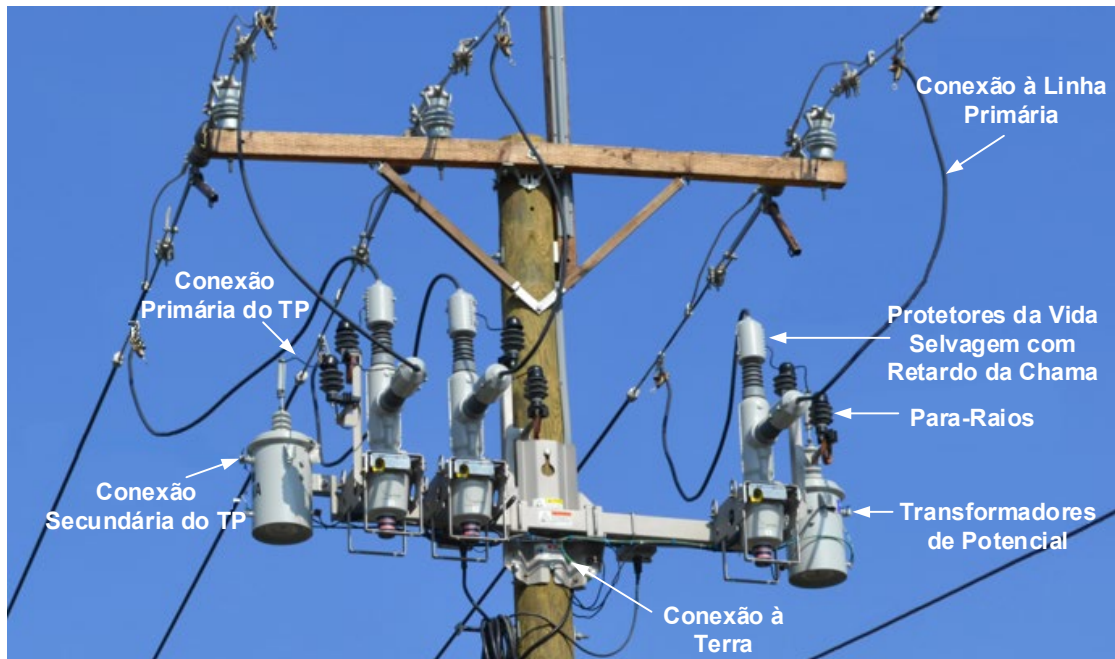


Figura 12 Religador G&W Viper com G&W Trident Bypass e o Diagrama Trifilar

## Progresso Rápido com Religadores Prontos para o Local de Instalação

Os Religadores G&W Viper e os controles de religador da SEL podem ser configurados como um sistema pronto para o local de instalação, o que pode agilizar a implantação das soluções de mitigação de incêndios. Esses projetos incorporam muitos componentes necessários na instalação global do religador, conforme mostrado na Figura 13. A variabilidade associada ao roteamento dos cabos primários ou instalação inadequada de para-raios no campo pode violar os espaçamentos (“clearances”) elétricos e provocar a ignição de um incêndio florestal. Usando configurações prontas para o local de instalação, a G&W planeja esta variabilidade fora do projeto e instala os componentes em um ambiente de produção controlado pela qualidade. Ter todos os componentes pré-instalados na fábrica reduz significativamente o tempo e o trabalho necessários para a instalação. Estes projetos também simplificam a terceirização de peças, uma vez que a G&W pode atuar como um único fornecedor para todos os componentes.



**Figura 13 Religador G&W Viper Pronto para o Local de Instalação**

## Conclusão

As estratégias de mitigação de incêndios baseadas no aprimoramento da proteção do sistema e no fortalecimento do sistema são fundamentais para estabelecer a base para uma rede resistente ao fogo. Com as condições ambientais variáveis ameaçando cada vez mais a infraestrutura e a segurança pública, a tecnologia avançada pode ser aproveitada para mitigar as ignições provocadas pela rede. As soluções e estratégias de proteção da distribuição discutidas neste artigo apresentam tecnologias atualmente disponíveis para obter um rápido progresso em direção à rede futura resistente ao fogo.

## Apêndice

A Tabela 2 e a Tabela 3 resumem as diversas soluções de proteção da distribuição discutidas neste artigo. A Figura 14 mostra um exemplo de várias soluções de mitigação de incêndios integradas em um único sistema.

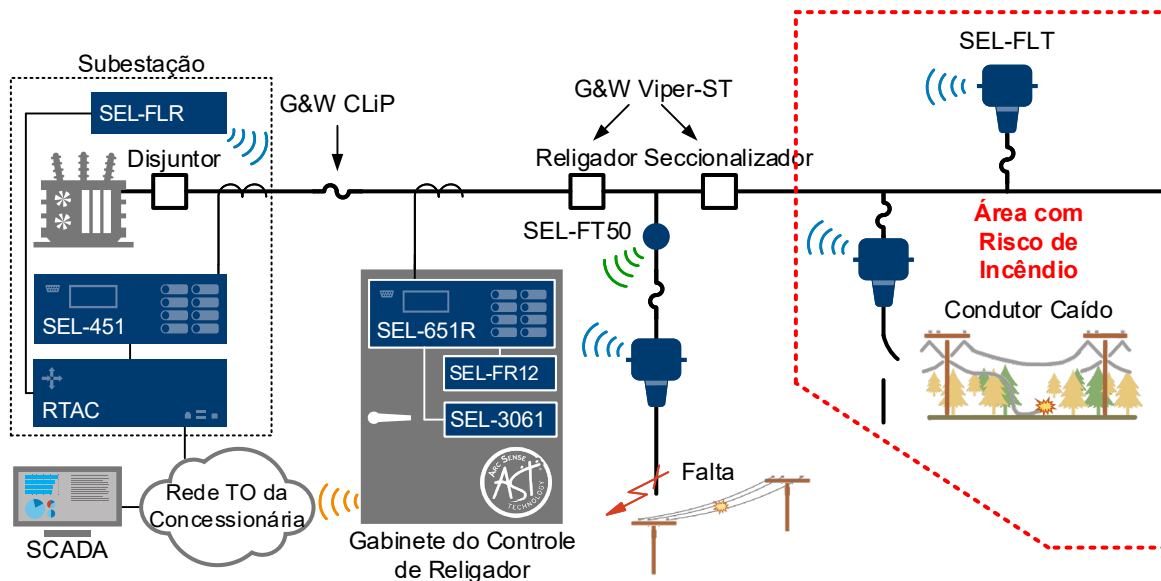
**Tabela 2 Obtenha Progresso Rápido com Proteção Avançada do Sistema**

Aplicação	Solução	Benefícios	Obter Progresso Rápido
Detecção de condutores caídos	Detecção de HIF	Detecta faltas à terra que podem representar condutores caídos produzindo faíscas	Disponível nos novos Controles de Religador SEL-651R-2 e como um <i>upgrade</i> de firmware para os Controles SEL-651R-2 existentes
	Detecção de fase aberta	Detecta um condutor aberto que pode representar uma ruptura no circuito e uma fonte de ignição potencial	Fácil de implementar em qualquer SEL-651R com a versão de firmware R408 ou posterior
	Integração da detecção de condutores caídos no nível do sistema	Incorpora dados de várias fontes para fornecer visibilidade aos operadores do SCADA para agir rapidamente e para habilitar sistemas de controle centralizados a tomar decisões de trip automáticas de alta velocidade no caso de um condutor caído	Fácil de implementar onde houver comunicação disponível do SCADA com o SEL-651R e outros dispositivos de campo; implantação fácil e rápida do Sistema SEL-FLT e SEL-FLR para fornecer pontos de dados adicionais em locais sem dispositivos eletrônicos inteligentes existentes
	Detecção de condutor em queda	Detecta condutores em queda usando comunicações de alta velocidade, sincrofasores e lógicas complexas, e elimina a falta antes que o condutor em queda atinja o solo	Disponível onde PMUs existentes e comunicações de alta velocidade estiverem disponíveis em ambas as extremidades do segmento de linha protegido
	Alterações em tempo real via SCADA	Permite que os operadores do SCADA se comuniquem com os relés de proteção e remotamente alterem os ajustes do grupo (ex., bloqueio do religamento, curva rápida, seccionamento durante a desenergização, e falta à terra sensível) para evitar incêndios	Fácil de implementar no SEL-651R onde houver comunicação disponível com o SCADA; a comunicação pode ser fornecida pelo Roteador Celular SEL-3061 onde houver uma cobertura de celular adequada
Religamento adaptativo	Alterações em tempo real via dados do transmissor de faltas	Usa dados do transmissor de faltas para ajustar rapidamente o trip e religamento do relé em tempo real com base na localização da falta para evitar incêndios	Fácil de adicionar o Sistema SEL-FT50 e SEL-FR12 aos controles de religador e relés SEL existentes
Religamento adaptativo	Ajustes de proteção dos relés	Altera a curva de interrupção da falta para uma curva mais rápida, e usa dados do transmissor de faltas para obter uma descoordenação intencional seletiva para minimizar a duração das faltas, reduzindo assim a probabilidade de ignições provocadas pelas faltas	Fácil de implementar curvas rápidas nos controles de religador e relés SEL existentes; facilidade para adicionar o Sistema SEL-FT50 e SEL-FR12 aos controles de religador e relés SEL existentes
Eliminação rápida da falta	Tecnologia de proteção por limitação de corrente	Interrompe correntes de falta com velocidades de subciclo (1/4 a 1/2 ciclo) para reduzir o tempo da corrente de falta na condição "let-through" e minimizar a probabilidade de ignições provocadas pelas faltas	Disponível como opção nos novos pacotes G&W ClIP



**Tabela 3 Obtenha Progresso Rápido com Fortalecimento do Sistema**

<b>Aplicação</b>	<b>Solução</b>	<b>Benefícios</b>	<b>Obter Progresso Rápido</b>
Mitigação de <i>flashovers</i>	Maior espaçamento entre fases	Aumente os espaçamentos (“clearances”) elétricos com estruturas flexíveis do religador e projetos do módulo no formato Z para reduzir <i>flashovers</i> fase-fase externos	Disponível nos novos religadores G&W Viper (espaçamentos entre fases disponíveis de 24 e 30 polegadas, ou maiores)
	Construção do “dead tank”	Minimize a propagação de <i>flashover</i> externo proveniente de descarga elétrica e interferência da vida selvagem conduzindo a falta para a terra	Incluído em todos os projetos do religador G&W Viper-S/ST/SP
	Isoladores com classificação superior	Aumente as distâncias de escoamento (“creepage”) e de arco (“strike”) nos isoladores dos religadores G&W Viper removíveis para reduzir a probabilidade de um <i>flashover</i>	Facilidade no <i>upgrade</i> dos religadores G&W Viper novos ou existentes instalados no campo; pacotes de retrofit estão disponíveis
	Integração de conectores <i>elbow</i>	Elimine conexões energizadas expostas que podem ser uma fonte de <i>flashover</i> potencial	Facilidade no <i>upgrade</i> dos religadores G&W Viper novos ou existentes instalados no campo
	Protetores da vida selvagem com retardo da chama	Evite <i>flashovers</i> provenientes do contato com a vida selvagem usando protetores da vida selvagem com retardo da chama compatíveis com IEEE 1656 e UL 94 V-0	Facilidade no <i>upgrade</i> dos religadores G&W Viper novos ou existentes instalados no campo
Transição de circuitos aéreos para subterrâneos	Religadores “pad-mounted”	Elimine condutores aéreos expostos em áreas com alto risco de incêndio usando religadores G&W Viper “dead tank” totalmente aterrados (o mesmo relé pode ser utilizado para aplicações aéreas e subterrâneas)	Disponível nos novos religadores G&W Viper
	Religadores “pad-mounted” com chaves de bypass e isolamento integradas	Reproduza configurações aéreas com religadores G&W Viper “pad-mounted”, chaves de bypass Trident, e chaves de isolamento com indicador de estado visível “Trident with SafeVu”	Disponível nos novos G&W Viper, Trident, e chaves com combinação “Trident with SafeVu”
Progresso rápido com religadores prontos para o local de instalação	Projetos prontos para o local de instalação	Incorpore o religador G&W e os componentes do controle SEL em um projeto para acelerar a implantação da solução de mitigação de incêndios	Disponível nos novos religadores G&W Viper



**Figura 14 Aplicações do Sistema de Mitigação de Incêndios**

## Referências

- [1] A. Borunda, "See How a Warmer World Primed California for Large Fires," National Geographic, November 2018. Disponível em: <https://www.nationalgeographic.com/>.
- [2] Center for Climate and Energy Solutions, "Wildfires and Climate Change." Disponível em: <https://www.c2es.org/content/wildfires-and-climate-change/>.
- [3] State of California, "Utility Wildfire Mitigation Plans (SB 901)," May 2019. Disponível em: <http://cpuc.ca.gov/SB901/>.
- [4] W. O'Brien, E. Udren, K. Garg, D. Haes, and B. Sridharan, "Catching Falling Conductors in Midair – Detecting and Tripping Broken Distribution Circuit Conductors at Protection Speeds," proceedings of the 69th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, April 2016.
- [5] IEEE C2-2017, National Electric Safety Code® (NESC®), Table 235-6.
- [6] IEEE 1427-2006, IEEE Guide for Recommended Electrical Clearances and Insulation Levels in Air Insulated Electrical Power Substations, Table 3.
- [7] IEEE C37.100-1992, IEEE Standard Definitions for Power Switchgear.
- [8] IEEE 386-2016, IEEE Standard for Separable Insulated Connector Systems for Power Distribution Systems Rated 2.5 kV Through 25 kV.
- [9] IEEE 1656-2010, IEEE Guide for Testing the Electrical, Mechanical, and Durability Performance of Wildlife Protective Devices on Overhead Power Distribution Systems Rated up to 38 kV.

## Biografias

**Anthony Rahiminejad** é um gerente de vendas de produtos líder na Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. (SEL) no grupo de sensores e controles da distribuição. Ele ingressou na SEL em 2015 como engenheiro de soluções industriais e desde então ocupou funções como engenheiro de aplicação e engenheiro de vendas. Antes de ingressar na SEL, ele ocupou a posição de engenheiro sênior de sistemas de potência na Eaton Engineering Services. Anthony recebeu seu B.S.E.E. da North Carolina State University e é um engenheiro profissional registrado no Estado da Carolina do Norte, Estado Unidos.

**Daqing Hou** recebeu seu B.S.E.E. e M.S.E.E. da Northeast University, China, em 1981 e 1984, respectivamente. Ele recebeu seu Ph.D. em Engenharia Elétrica e Computacional da Washington State University em 1991. Desde 1990, ele está na Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., onde ocupou diversas posições, incluindo engenheiro de desenvolvimento, engenheiro de aplicação, gerente de pesquisa e desenvolvimento, e engenheiro chefe de pesquisa. Atualmente, ele é o diretor técnico de pesquisa e desenvolvimento para o leste asiático. Seu trabalho inclui modelagem e simulação de sistemas de potência, processamento de sinais e projeto avançado de algoritmos de proteção. Seus interesses de pesquisa incluem sistemas lineares multivariáveis, identificação do sistema e processamento de sinais. Daqing detém várias patentes e é autor ou coautor de muitos artigos técnicos. Ele é um membro sênior do IEEE.

**Manoj Bundhoo** recebeu seu B.S.E.E. da University of Kwa-Zulu Natal, África do Sul, em 1996. Manoj ingressou na G&W Electric em 1999 e é atualmente gerente de produtos especiais (CLiP e acessórios de cabos). Na G&W, ele ocupou anteriormente posições como engenheiro de aplicação para cubículos aéreos e subterrâneos, engenheiro de aplicação sênior para acessórios de cabos, e gerente de engenharia de aplicação para cubículos aéreos e subterrâneos. Manoj ocupou uma função na área de engenharia no grupo de transmissão de uma empresa de energia na África do Sul. Considerando sua experiência como engenheiro de aplicação, Manoj passou a ocupar a função de gerente de produtos. Ele está focado em fornecer soluções para os clientes usando o portfólio de produtos existentes da G&W, bem como tecnologia e desenvolvimento de produtos novos e avançados.

**Nick Nakamura** recebeu seu B.S. em Engenharia Eletrônica pela DeVry University em 2002 e ingressou na G&W Electric em 2011. Ele atualmente ocupa a posição de gerente de produtos para sensores e já ocupou cargos como gerente de produtos para cubículos aéreos e engenheiro sênior no suporte pós-venda. Nick ocupou funções na área de engenharia nas indústrias de placas de circuito impresso, alimentos e indústria farmacêutica. Hoje, seu trabalho está focado em projetos associados ao desenvolvimento de novos produtos. Nick está envolvido em organizações profissionais, incluindo o IEEE Switchgear Committee e é membro do IEEE PES.



Tornar a energia elétrica mais segura,  
mais confiável e mais econômica

Schweitzer Engineering Laboratories  
+55 19 35152010 | suporte@selinc.com | www.selinc.com.br