



**XXII SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GTL/18  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO - XV**

**GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL**

**ANÁLISE E EXECUÇÃO DE PROJETO DE SINCRONISMO PARA REDES DE TELECOMUNICAÇÕES E PARA SUPORTE A SMART GRID**

**André C. Langrafe(\*)**  
**NETCON Ltda.**

**Cristiano H. Ferraz**  
**NETCON Ltda.**

**Eduardo Lopes**  
**NETCON Ltda.**

**RESUMO**

O projeto de uma rede atual de sincronismo para uma empresa de energia elétrica deve utilizar um enfoque global do sincronismo com o objetivo de montar uma rede hierárquica de sincronismo que atenda às necessidades dos serviços de telecomunicações, de controle, operação entre outros, a qual possa prover um serviço confiável, gerenciado e universal de frequência e tempo. Essa rede deve otimizar os recursos e deve constituir uma infraestrutura presente em todas as áreas operacionais da Empresa.

Neste trabalho descrevem-se as etapas de análise e execução do projeto de sincronismo para redes de telecomunicações voltado ao setor energético.

**PALAVRAS-CHAVE**

Sincronismo, PTP, NTP, IEEE 1588v2, IEC 61850

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Nas redes de telecomunicações, o sincronismo é um recurso essencial para todos os serviços envolvendo sinais TDM, incluindo tanto os sinais da hierarquia E1 quanto da hierarquia digital síncrona (SDH). A forma tradicional de sincronizar redes de telecomunicações baseia-se em uma estrutura hierárquica, a partir de pontos de distribuição na rede diretamente referenciáveis ao UTC (*Coordinated Universal Time*), a partir dos quais a referência de frequência é levada a todos os pontos da rede.

Antes do advento da SDH, o sincronismo era transportado ao longo dessa árvore hierárquica através de enlaces E1, os quais, por sua vez, eram transportados em quadros de linha da hierarquia digital plessiócrona (PDH). A técnica de multiplexação PDH tem a vantagem de ser transparente ao relógio da carga, de modo que o sinal E1, ao deixar a rede de transporte, ainda contém a informação original de sincronismo de frequência.

A arquitetura da rede de distribuição refletia a rede de comutação telefônica, também estruturada em forma de árvore hierárquica. A rede de transporte PDH, para atender à comutação, principal cliente da transmissão, também se organizava em forma de árvore hierárquica. As comunicações ocorriam principalmente no sentido vertical, isto é, entre centrais de certo nível na hierarquia de comutação com centrais de comutação pertencentes a um nível imediatamente superior ou inferior. Nada mais natural, portanto, que distribuir o sinal de sincronismo a partir de relógios localizados nos pontos de maior hierarquia para pontos de menor hierarquia.

A comutação telefônica usava redundância de centrais de certo nível que atendiam centrais de nível mais baixo, e o sincronismo aproveitavam os mesmos enlaces de transmissão para levar o sincronismo numa estrutura de

(\*)Avenida Marechal Câmara, nº 160 – sala 1001 - Edifício Orly – CEP 20.020-907 Rio de Janeiro, RJ, – Brasil  
Tel: (+55 21) 3027-0207 – Fax: (+55 21) 3027-0207 – Email: andre.camargo@netconltda.com.br

distribuição que garantia uma redundância também das vias de sincronismo. Somente em certos casos havia transmissão direta entre centrais do mesmo nível.

No planejamento das redes de sincronismo incluíam-se unidades de distribuição chamadas SSU (*Synchronization Supply Utility*) em postos-chaves da rede para garantir que o sinal de sincronismo continuasse a ser fornecido mesmo se a via de distribuição se interrompesse.

As redes SDH introduziram duas importantes modificações nesse panorama. Em primeiro lugar, possibilitaram romper o modelo de árvore hierárquica da transmissão, ao permitir um roteamento de tributários mais livremente configurável na rede, mediante a implantação de barramentos de acesso distribuído. Em segundo lugar, apresentaram uma nova necessidade de sincronismo e modificaram a maneira de levar o sincronismo de um ponto a outro da rede.

Após o advento das redes SDH, a forma de levar a informação de um ponto a outro passou a ser utilizar o próprio sinal de linha STM-N da SDH em vez de tributários E1. Inclusive, os movimentos de ponteiro, forma utilizada pela SDH para corrigir eventuais defasagens acumuladas em pontos da rede, tornavam a rede SDH não completamente transparente para o relógio dos sinais E1 nela transportados.

Essa forma de levar o sincronismo de um ponto a outro complicou o planejamento da hierarquia da rede de sincronismo, e exigiu um esforço cada vez maior dos planejadores. Era preciso tomar em conta o encadeamento de relógios de elementos de rede SDH e tomar especial cuidado para evitar *loops* de relógio imprevistos. O aprendizado foi longo, mas finalmente a arquitetura da rede de sincronismo foi modificada para conformar-se à nova situação.

Agora, estamos diante de mudanças ainda mais significativas nas redes. Em primeiro lugar, as redes de transporte são cada vez mais baseadas em interfaces e sinais em pacotes, que não são originalmente síncronas. Portanto, levar de um ponto a outro a informação de frequência torna-se um desafio.

Em segundo lugar, novas necessidades de sincronismo somam-se às necessidades originais de sincronismo em frequência. Trata-se do sincronismo em tempo e em fase, que aplicações que vão desde aplicações de telecomunicações até aplicações frequentes no ambiente de *Smart Grid*. Particularmente no setor de geração e transmissão de energia elétrica, aplicações tais como a medição fasorial (PMU), a automação crescente da operação do sistema, as medições distribuídas e o sequenciamento dos eventos, aliados à busca de maior eficiência energética e redução da carga, geração distribuída, controle do despacho com maior granularidade e muitas outras vêm incrementando a necessidade de contar com sincronismo de fase, frequência e tempo de grande precisão e exatidão em todos os pontos da rede.

Um planejamento da nova rede de sincronismo deve contemplar não apenas a necessidade de sincronismo das próprias telecomunicações, mas também criar uma infraestrutura superposta de sincronismo para atender a outros setores de uma empresa de energia. A mesma rede assim planejada estará em capacidade de fornecer um serviço de sincronismo através da entrega de estampas de tempo NTP (*Network Time Protocol*) a clientes das áreas de TI, gerência e outras aplicações informáticas; estampas de tempo IEEE 1588v2 (PTP) a clientes de telecomunicações e IEDs de nova geração das áreas de proteção, controle e automação; sinais IRIG-B para os dispositivos legados nas subestações e usina; e sincronismo de frequência a aplicações de telecomunicações, sempre com sinais de referência precisos e exatos.

Para vencer o desafio de montar uma estrutura robusta, resiliente, altamente disponível utilizando a arquitetura e as técnicas de transporte atuais das redes, é preciso adotar uma visão de sistema. É preciso planejar uma rede de distribuição de sincronismo que seja operada conjuntamente com a rede de telecomunicações. Essa rede deve obedecer a uma estrutura hierárquica de relógios, em uma árvore de distribuição, com a garantia de continuidade através de alternativas remotas aos relógios locais sincronizados por GPS para o caso de falha dos mesmos. As árvores de distribuição de sincronismo devem ser simples, porém um cuidado extremo deve ser tomado para evitar loops (que a atual estrutura flexível da rede facilita) que façam com que um sinal escravo em uma camada inferior da árvore volte a alimentar um ponto localizado mais alto na cadeia de distribuição de tempo, fase e frequência.

Finalmente, é preciso ter em mente que a qualidade de serviço (QoS) de qualquer rede está diretamente relacionada com a qualidade do sincronismo. Simplesmente investir em bons equipamentos de distribuição de sincronismo não resolve o problema. A maioria dos problemas tem a ver com falhas no planejamento e problemas nos elementos de rede de tráfego. Sem um planejamento cuidadoso e uma operação minuciosamente monitorada, perde-se facilmente o investimento em sincronismo e a qualidade da rede.

Um ponto a ter em conta é que o conceito de *Smart Grid* envolve uma infraestrutura automatizada de medição e afeta diretamente as empresas de geração e transmissão de energia, devido às subestações serem os pontos de convergência das redes dos clientes aos quais estão diretamente ligadas, além de possuírem redes de automação e controle cada vez mais sofisticadas e necessitadas de referências exatas e precisas de tempo.

## 2.0 - PLANEJAMENTO

O transporte de sincronismo em redes de pacotes requer considerações especiais. A ideia básica continua sendo manter uma estrutura hierárquica de relógios, com a distribuição das referências pelas próprias redes de transporte.

O uso de GPS para criar referencia primárias distribuídas é facilitado hoje pelo custo mais baixo dos relógios locais baseados em GPS. Contudo, continua havendo necessidade de manter uma estrutura de distribuição de sincronismo para suprir eventuais falhas nos GPS locais. Portanto, continua sendo necessário planejar uma rede de distribuição de sincronismo em uma árvore de distribuição sem a possibilidade de ocorrência de *loops*.

As redes de pacotes oferecem duas possibilidades para o transporte de sincronismo. Uma é a introdução de interfaces Ethernet síncrona que replicam a funcionalidade completa dos cartões de linha de elementos de rede SDH. Como estes, os novos cartões Sync Ethernet, disponíveis em muitos elementos de PTNs (*Packet Transport Networks*) possuem relógios síncronos, com características de relógios escravos aderentes à Recomendação G.813 do ITU-T, com entradas e saídas externas de sincronismo, e que permitem replicar a arquitetura de redes de distribuição de sincronismo baseadas em SDH. A implantação de mensagens de estado de sincronismo (ESSM, *Ethernet Synchronization Status Messaging*), idêntica à mesma funcionalidade análoga das redes SDH, permite gerenciar e controlar a distribuição de relógio, efetuar a reconfiguração dos relógios encadeados em caso de falha e evitar a formação de *loops* de relógio.

Não obstante suas vantagens, a aplicação da técnica de Sync Ethernet é limitada por dois fatores:

- a. As interfaces não estão amplamente disponíveis; como é preciso que a cadeia de transmissão de sincronismo seja ininterrupta, todas as interfaces intermediárias devem suportar o padrão; a técnica, portanto, geralmente está restrita a redes novas de *core*.
- b. Sync Ethernet ainda não suporta a geração de estampas de tempo; embora haja propostas para a inclusão de estampas de tempo, por exemplo, no canal ESSM, ainda não há forma padronizada para sincronismo de tempo e fase utilizando interfaces Sync Ethernet.

A segunda possibilidade é o uso de estampas de tempo precisas segundo o padrão IEEE 1588v2. Para esta possibilidade, foi criado pelo ITU-T um padrão que especifica um perfil especialmente adequado ao transporte de informações em redes de longa distância que permite a recuperação de frequência, além de fase e tempo. Segundo esse perfil, são geradas estampas de tempo com uma taxa de repetição alta, para que os relógios escravos, de alta qualidade, possam rapidamente tirar uma média dos retardos observados em relação a seus relógios internos e, através dessas médias, eliminar o efeito das variações do retardo individual de cada pacote e obter um sincronismo de frequência exato e muito preciso, o que, por sua vez, permite a obtenção de fase e tempo exatos.

O planejamento de redes de sincronismo de nova geração deve contemplar a utilização das duas técnicas, além de contemplar o fornecimento dos sinais de sincronismo a serem distribuídos localmente e para baixo na cadeia de distribuição com os formatos demandados pelos elementos de rede e clientes tanto tradicionais quanto de nova geração. Neste último caso, estão os IEDs de nova geração, que são sincronizados pela própria interface Ethernet mediante estampas de tempo precisas IEEE 1588v2 aderentes ao padrão IEEE C37-238 (*Power Profile*).

### 2.1 Etapas do planejamento

O planejamento se inicia com um levantamento completo e minucioso da rede de telecomunicações atual. Marcas, modelos, funcionalidades e interconexões do sistema de telecomunicações atuais devem ser sistematizados para que a rede atual possa ser modelada e permitir, assim, seu uso no projeto. Este trabalho é muito facilitado caso haja um sistema de gerência de inventário físico e lógico da rede. Caso não haja, o planejamento poderá prever a aquisição e implantação de tal sistema.

Além do levantamento da rede atual, é preciso fazer uma projeção da evolução da rede ao futuro. Não apenas é necessário incluir os sistemas já contratados e em contratação, mas também as expansões planejadas e aquelas em planejamento ou, de outra forma, previstas.

Com base nesse levantamento, deve ser feito um planejamento da nova rede de sincronismo, tanto para utilizar os recursos da rede para o transporte de sincronismo (por Sync Ethernet e por estampas de tempo precisas IEEE 1588v2) quanto para servir às aplicações da própria rede de telecomunicações.

A etapa de planejamento inclui a decisão sobre os pontos onde devem estar os relógios principais do sistema de sincronismo. Devem ser previstos pelo menos dois relógios principais por anel óptico. Para usar de maneira eficiente os recursos, os relógios devem estar localizados, preferivelmente, em pontos por onde passe a maior quantidade possível de anéis de transmissão óptica.

A partir desse ponto, devem ser decididos os caminhos e as técnicas que levarão o sincronismo a todos os demais pontos da rede. Esses caminhos devem ser duplicados, para que as referências continuem chegando ao destino mesmo em caso de falha ou reconfiguração da rede de transporte.

Um cuidado extremo deve ser tomado, principalmente por tratar-se de redes em anel e com reconfiguração automática, para evitar *loops* de relógio, que poderiam ter como consequência uma profunda e imediata dessincronização de parte da rede. A configuração dos elementos de rede que recebem mais de uma referência de relógio deve ser coerente com o plano de encaminhamento para evitar *loops*.

Observa-se que mesmo nas redes atuais a distribuição de sincronismo entre localidades deve obedecer a uma árvore de cobertura, hierárquica. Trata-se de uma situação semelhante à maneira de criar rotas em redes de *broadcast* ou *multicast*, como redes Ethernet. Entretanto, enquanto em redes Ethernet, por exemplo, protocolos de roteamento como STP (*Spanning Tree Protocol*) ou RSTP (*Rapid STP*) criam automaticamente as árvores de cobertura bloqueando as interfaces que provocariam *loops* e montando árvores que imediatamente entram em operação caso a árvore original sofra interrupções, a criação de rotas para distribuição de sincronismo é totalmente manual, exigindo a programação individual de cada elemento da cadeia e cada cliente final. Nota-se que em redes complexas o planejamento de rotas é extremamente complicado e árduo.

Por essa razão, é aconselhável utilizar um sistema de planejamento de sincronismo que permita testar as configurações e oferecer resumos da solução adotada para controle do planejamento, e também para gerar gráficos que permitam visualizar o encaminhamento correto do sincronismo em caso de falhas individuais ou múltiplas das redes. O sistema também ajuda a criar tabelas de configuração que podem ser utilizadas para nortear as atividades de programação dos elementos de rede envolvidos na distribuição de sincronismo e naqueles que são apenas usuários do sincronismo, mas cujas tabelas de prioridades de sincronismo devem ser configuradas.

## 2.2 Considerações sobre o planejamento de sincronismo

As considerações apresentadas a seguir são aplicáveis ao planejamento do sincronismo.

### 2.2.1 Conteúdo e teor de um Plano de Sincronização.

Um plano de sincronização é geralmente um documento ou uma representação da rede que deve descrever:

- a. As técnicas utilizadas para a rede de distribuição de sincronização;
- b. As limitações impostas pelo comportamento dos elementos da rede;
- c. Quaisquer suposições feitas pelo autor;
- d. Uma descrição da configuração do sincronismo de cada elemento que transporte sincronização;
- e. Previsão de pontos únicos de falha.

### 2.2.2 Razão para elaborar um planejamento de sincronismo

A sincronização é uma rede de caminhos de distribuição oculta, normalmente sobrepondo-se à rede de transporte. Ela é, efetivamente, invisível. O plano de sincronização terá três finalidades distintas:

- a. Deve ser usado na implementação (ou re-implementação) como as instruções de configuração para o plano sincronização de cada elemento da rede de sincronização;
- b. Deve ser usado durante toda a operação da rede para permitir as operações de rede tomarem decisões informadas quando se muda a configuração da rede;
- c. Deve fornecer informações suficientes para permitir a análise da causa raiz para ser executada em caso de uma falha de sincronismo;

### 2.2.3. Formato de um planejamento de sincronismo

Não existe uma forma única, um caminho correto para sincronizar a rede. Muitos detalhes ficam a critério do planejador. Não há uma ferramenta de software que crie automaticamente o plano de sincronização.

Com o ambiente *multi-vendor* de hoje e as redes multi-tecnologias a tarefa de elaboração de um plano é muito

complexa. Ainda é necessária a visão do especialista, detentor de grande experiência, para elaborar um plano correto.

#### 2.2.4. Metodologia de Planejamento

Deve haver uma metodologia de planejamento baseada em seis regras simples:

- a. Garantir que todos os elementos de rede tenham uma fonte de sincronização rastreável a uma referência primária durante as condições normais da rede;
- b. Assegurar a distribuição de sinais de relógio adequados para todos os equipamento de rede que requerem sincronização durante qualquer condição de falha simples na rede;
- c. Identificar o melhor investimento em equipamentos de sincronização (últimas tendências tecnológicas);
- d. Deve ser simples de entender, implementar e manter;
- e. Deve ser documentado de forma abrangente para atender os propósitos de quem precisar usar;
- f. Deve ser reavaliado constantemente;

#### 2.3 Ferramentas de suporte

As ferramentas de suporte utilizadas na atividade dos autores para planejar o sincronismo apresentam as seguintes características:

- a. Permitem a representação gráfica de todos os elementos de rede envolvidos com o sincronismo ou clientes do serviço de sincronismo;
- b. Oferecem uma metodologia de planejamento de sincronismo que garantem que todos os elementos de rede possuam uma fonte de sincronismo rastreável a um relógio primário aderente ao padrão G.811 do ITU-T quando a rede se encontra em condições normais de operação;
- c. Permitem testar em ambiente virtual o plano de sincronismo, e devem identificar as configurações mais adequadas econômica e tecnicamente para a implantação;
- d. Na medida do possível, devem comprovar que o plano de sincronismo garante a distribuição de sinais de relógio corretos a todos os elementos de rede que os necessitem durante qualquer condição de falha única;
- e. Devem documentar o plano em detalhe e devem gerar informações para facilitar à implantação do mesmo a configuração dos elementos de rede;
- f. Permitir a reavaliação do plano após modificações na rede.

### 3.0 - CONCLUSÃO

O planejamento de distribuição de sincronismo em redes de telecomunicações de empresas do setor elétrico deve contemplar não apenas as necessidades de sincronismo das próprias telecomunicações, mas também a novas necessidades dos setores de automação e controle, envolvendo o sincronismo em uma visão de sistema que trata o sincronismo como uma infraestrutura essencial à qualidade de serviço (QoS) da rede.

O planejamento deve cobrir as necessidades das novas redes, e garantir o sincronismo exato e preciso, não apenas em frequência, mas também em fase e tempo.

O planejamento se inicia com um levantamento minucioso da rede de telecomunicações atuais e de sua evolução planejada ou prevista, em planejamento ou simplesmente prevista com base nas tendências do setor. Nesta etapa, o melhor é contar com um inventário físico e lógico completo da rede de telecomunicações. Caso não haja esse inventário sistematizado e automático, aconselha-se a aquisição e implantação de um OSS de inventário.

O planejamento continua com a seleção das técnicas de sincronismo (*sync Ethernet* e IEEE 1588v2) que serão utilizadas e com a seleção das localidades onde entrarão os relógios principais.

Após essa etapa, a distribuição do sincronismo deve ser cuidadosamente planejada em uma estrutura hierárquica em árvore de cobertura isenta de *loops*. Para auxiliar no planejamento é recomendável o uso de uma ferramenta

de simulação que permita testar automaticamente a configuração do encaminhamento das referências principal e alternativas na rede em condições normais de operação e em caso de falhas simples ou duplas. A ferramenta deverá poder ser utilizada para documentar as configurações do projeto e para gerar diagramas de orientação para os implementadores do projeto.

Finalmente, o projeto deverá ser implementado e testado em campo.

#### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) C37.238-2011 - IEEE Standard Profile for Use of IEEE 1588 Precision Time Protocol in Power System Applications

(2) Telecommunications Synchronization Overview, Whitham D. Reeve, Reeve Engineers, 2002 (EUA)

(3) Synchronization of Telecommunications Networks, Stefano Bregni, Politecnico di Milano (Itália)

(4) Telecommunications Network Synchronization, Technical Bulletin 99-4, National Communications System, 1999 (EUA)

#### 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Consultor André Camargo Langrafe

Formado em Tecnologia em Redes de Computadores pela UNICID/SP, atualmente devolve na Netcon Ltda., projetos de telecomunicações para as empresas de energia elétrica e operadoras, incluindo planejamento de sincronismo em redes SDH/IP e implantações de sistema de gestão de inventário de redes de telecomunicações.