



**XX SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO V

**GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO
EM SISTEMAS DE POTÊNCIA - GPC**

**MODERNAS TÉCNICAS DE PROTEÇÃO E MONITORAÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO ATRAVÉS DE
SISTEMAS DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE CORRENTE - EXPERIÊNCIA DA ELETRONORTE.**

**DENYS LELLYS (*)
AREVA T&D Brasil**

**DIVINO RAMOS GARCIA
ELETRONORTE**

RESUMO

Este trabalho técnico tem como finalidade apresentar as modernas técnicas de proteção e monitoração de linhas de transmissão através de sistemas de proteção diferenciais de corrente (ANSI 87L) do tipo longitudinal e cruzado, bem como relatar a experiência da ELETRONORTE com aplicação deste método de proteção no sistema de transmissão do Acre.

PALAVRAS-CHAVE

Comunicação, Diferencial, Fibra óptica, Longitudinal, Proteção.

1.0 - INTRODUÇÃO

O sistema de proteção diferencial de corrente (ANSI 87L) atualmente é um dos métodos mais recomendados para proteção de linhas com ou sem compensação série, principalmente por não apresentar problema de funcionamento com a eventual inversão de tensão devido ao efeito capacitivo do banco de capacitor série durante a ocorrência da falta, como também imunidade à oscilação de potência ("power swing") e ainda altíssima sensibilidade para detecção de curto circuito entre fase e terra com alta impedância de defeito.

Diversos casos foram relatos nos últimos anos de atuações indevidas em linhas compensadas quando submetidas aos fenômenos citados acima com a tradicional proteção de distância (ANSI 21), sendo a proteção diferencial de corrente, no atual estado da arte, uma alternativa técnica adequada para mitigar estes problemas, em especial com o advento das novas regras relativa aplicação da parcela variável (PV) por indisponibilidade da linha.

Serão apresentadas ainda as vantagens e desvantagens técnicas na aplicação do sistema de proteção diferencial de corrente conectado na forma longitudinal comparado com a proteção diferencial cruzado em linhas paralelas e a proteção de distância, bem como prover recomendações da aplicação desta técnica de proteção tomando como base o cálculo da relação entre a impedância da fonte e a impedância da linha (SIR) em linhas curtas, médias e longas.

Um dos aspectos importantes na aplicação da proteção para uma determinada linha de transmissão, é a determinação da característica da linha a partir do valor do SIR ("Source Impedance Relation"), conforme preconizado na norma IEEE C37.113 e nos procedimentos de rede do Operador Nacional do Sistema - O.N.S (Brasil), sub-módulo 2.6 - Revisão 3 (2008), onde o SIR deve ser calculado através da divisão da impedância da fonte atrás do relé (Z_s) e a impedância da linha (Z_l), acarretando $SIR = Z_s/Z_l$. Em resumo, se o valor do SIR for maior que 4 significa uma linha curta cuja fonte atrás do relé é fraca ($ZS \gg \gg$) e conseqüente fraca contribuição de corrente de falta e neste caso a aplicação recomendada é a proteção diferencial de linha (87L). Caso contrário, onde o SIR for inferior ou igual a 0,5 caracterizando uma linha longa, cuja fonte atrás do relé é forte ($ZS \ll \ll$) e alta contribuição de corrente de falta, podendo ser aplicado à proteção de distância (21), embora tecnicamente a

proteção diferencial de linha não esteja descartada, os aspectos econômicos dão larga vantagem à proteção de distância.

2.0 - PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE LINHA (ANSI 87L)

2.1 Proteção diferencial - modo longitudinal

A proteção diferencial longitudinal (Fig. 1) é atualmente um dos métodos mais recomendados e preferidos para a proteção das linhas de transmissão de alta e extra-alta tensão, em especial devido à imunidade deste método de proteção ao fenômeno de "power swing", efeito da compensação série, sensibilidade para faltas de alta impedância e seletividade entre outros fatores, embora também em linhas urbanas de 69 kV tem sido instaladas com sucesso.

Este método de proteção só foi possível avançar devido ao rápido desenvolvimento e melhoria da tecnologia das fibras ópticas, permitindo proteger linhas de transmissão curta, média ou longa. Quando conectados diretamente, através de fibra óptica no modo longitudinal, ou seja, com a conexão direta entre os relés, podem proteger linhas com comprimento de até 100 km. Para comprimentos superiores a 100 km, utiliza-se interface conversora apropriadas de sinais óptico/elétrico de comunicação (padrão G.703, V.35 ou X.21), conectando-se os relés diferenciais a sistemas de comunicação óptico multiplexado (ex. SDH/SONET) ou diretamente ao sistema óptico, sem necessidade de interface de comunicação, em conformidade com a nova norma IEEE C37.94.

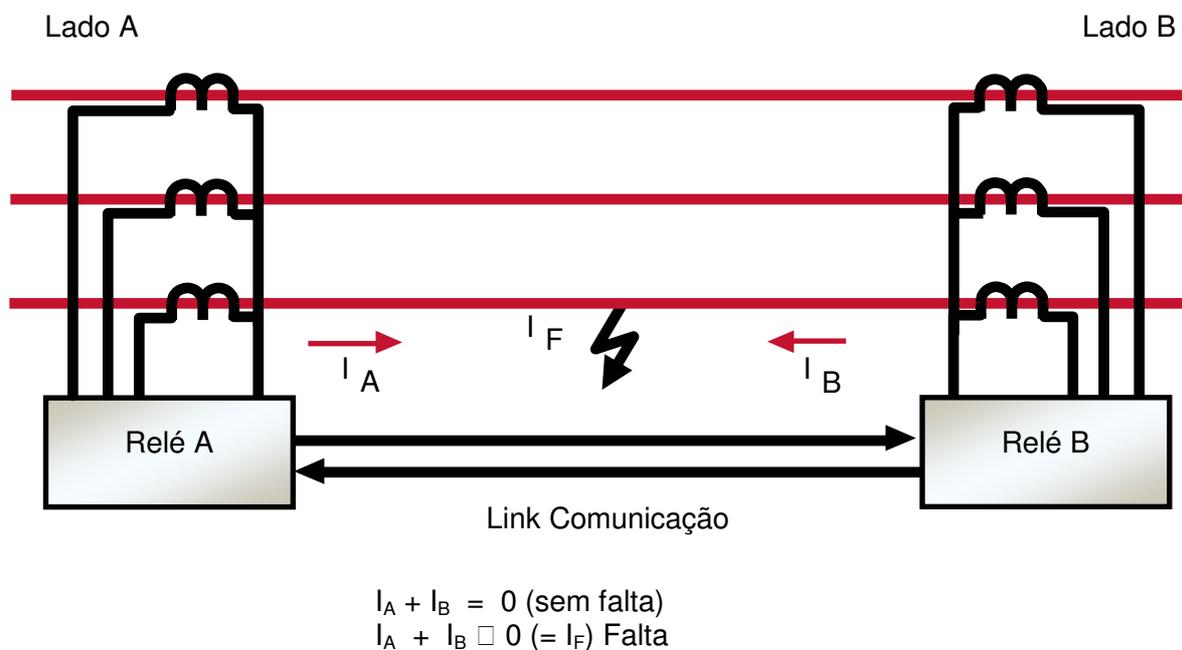


Figura 1 – Diferencial de Linha Longitudinal

O princípio de funcionamento deste método de proteção se baseia na aplicação da lei de Kirchoff ou lei das correntes cuja soma das correntes que entram e saem do nó é igual à zero para linha sem falta e diferente de zero para falta interna de acordo com a figura 1, sendo necessário canal de comunicação óptico para realizar a troca constante de mensagens entre os relés (08 mensagens por ciclo), contendo principalmente nestas mensagens os fasores de correntes medidos em ambos os terminais.

Para execução da sincronização e o somatório das amostras de correntes é necessário medir com precisão e compensar o tempo de atraso ocasionado pelo canal de comunicação, sendo atualmente utilizado a técnica de medição contínua do tempo atraso de propagação ("ping-pong") ou através de GPS ("Global Position System") para sincronizar as amostras de correntes na mesma base de tempo.

As vantagens apontadas para uso desta técnica são: possuir internamente a função de distância (ANSI 21) e direcional de sobrecorrente (ANSI 67/67N), permitindo proteção de retaguarda ("back-up") no caso de falha do link de comunicação devido a vandalismo, defeito acidental, etc.; aplicável a linhas com 2 ou 3 terminais; tempo de

atuação uniforme inferior a 02 ciclos independente do ponto da falta/resistência da falta e possibilidade de configurar e transmitir comandos relé-relé através do link óptico (figura 2), tais como “trip” direto, bloqueio, sinal permissivo, etc.

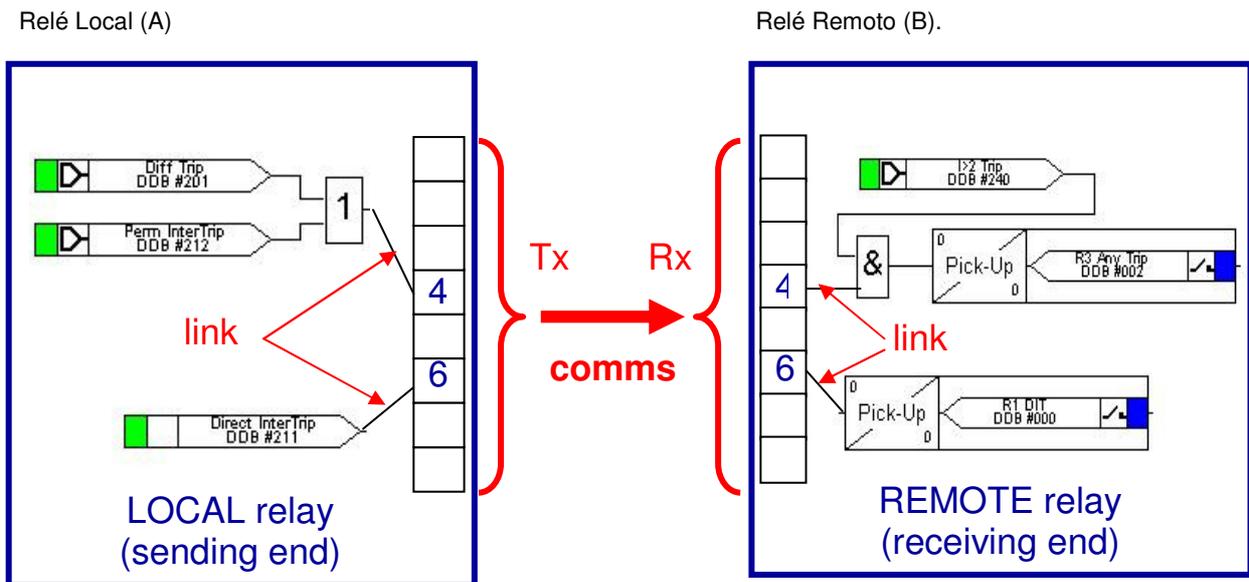


Figura 2 – Transmissão e recepção de comando via link de comunicação.

2.2 Proteção diferencial - modo cruzado

A proteção diferencial cruzada ou transversal é uma alternativa técnica moderna e baixo custo para a proteção de linhas de transmissão paralelas ou em circuito duplo simples ou em grandes “corredores” de transmissão, porque não necessita de canal de comunicação entre os terminais. Se comparado com a proteção de distância, possui a vantagem de operar sem retardo de tempo independente da resistência de defeito e do ponto da falta interna da linha protegida, sendo uma opção técnica adequada para aplicação em grandes corredores de transmissão de extra-alta tensão (440 a 800 kV) onde o tempo de eliminação para eliminar qualquer falta seja igual ou inferior a 80 ms.

Como mostrado na Figura 3, este método de proteção é aplicado apenas em circuitos duplos ou paralelos cujas linhas apresentem os mesmos parâmetros e estejam em ambos os terminais conectados ao mesmo barramento.

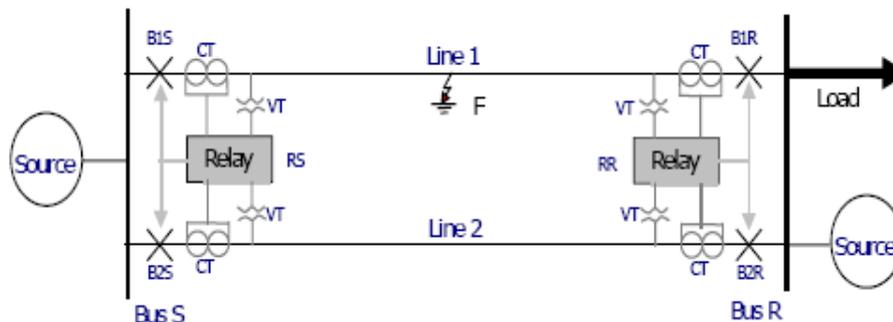


Figura 3

Basicamente, o relé diferencial cruzado baseia-se na comparação entre as amplitudes das correntes dos circuitos paralelos em cada terminal. A conexão entre o relé diferencial e os transformadores de corrente é efetuada convenientemente de modo a produzir corrente diferencial nula ou próxima de zero na condição normal de operação. Para melhorar a sensibilidade do relé diferencial, utilizou-se inicialmente elemento diferencial percentual com os seguintes critérios de operação [1]:

$$||I_1| - |I_2|| > k \cdot (|I_1| + |I_2|)$$

$$|I_2| - |I_1| > k \cdot (|I_1| + |I_2|),$$

Onde, I_1 e I_2 são as correntes dos circuitos 1 e 2, respectivamente, e k é o coeficiente de restrição, normalmente ajustado acima do desequilíbrio do sistema previsto. Esse tipo de proteção pode sofrer influência das correntes de carga e eventualmente não operar adequadamente nos terminais de fonte fraca, uma vez que as amplitudes das correntes dos circuitos duplos são idênticas nestes terminais.

Para resolver esta limitação, um novo método foi desenvolvido de acordo com a referência [4]. Tal critério se baseia na utilização das correntes superpostas, que são produzidas durante ocorrência da falta, e não são influenciadas pela carga, permitindo que o relé opere corretamente mesmo nos terminais de fonte fraca.

Por definição, a corrente superposta é a diferença entre a corrente total de falta (I_F) e a corrente de carga (I_L). Portanto, o princípio de operação é conforme abaixo:

$$|\Delta I_1| - |\Delta I_2| > k \cdot (|\Delta I_1| + |\Delta I_2|)$$

$$|\Delta I_2| - |\Delta I_1| > k \cdot (|\Delta I_1| + |\Delta I_2|),$$

Onde, ΔI_1 e ΔI_2 são as correntes superpostas, $\Delta I = I_F - I_L$.

O artigo [4] apresenta ainda resultados comparativos, obtidos através de testes de RTDS, entre a proteção diferencial cruzada convencional que utiliza correntes de fase e a proteção diferencial cruzada utilizando correntes superpostas. Esta última mostrou além de rapidez, maior sensibilidade e operação correta em todas as situações testadas, inclusive nos terminais de fonte fraca, onde a proteção convencional não operou.

2.3 Esquema típico de comunicação óptica longitudinal e sincronização via GPS

2.3.1 Comunicação óptica direta – Linhas até 100 km:

Para proteger linhas de transmissão com comprimento até 100 km, a comunicação entre os relés diferenciais no modo longitudinal pode ser efetuada via conexão direta através de cabo óptico, com mínimo 01 (um) par (Tx/Rx) ou 02 pares, no caso de exigência de redundância de canais.

2.3.2 Comunicação óptica via Interface de Comunicação – Linhas acima de 100 km:

Para proteger as linhas de transmissão acima de 100 km, é utilizada interface elétrica/óptica de comunicação com padrão G.703, V.35 ou X.21 (Figura 4) instalado entre os relés diferenciais e o sistema de comunicação óptico multiplexado (SDH/SONET). A figura 4 apresenta esquema típico de conexão dos relés diferenciais no modo longitudinal, equipamento óptico multiplexado (MUX), interface de comunicação elétrica/óptica e sistema GPS (antena/receptor) com a finalidade de sincronizar as amostras de correntes medidas nos relés de modo que estas medições sejam comparadas na mesma base de tempo.

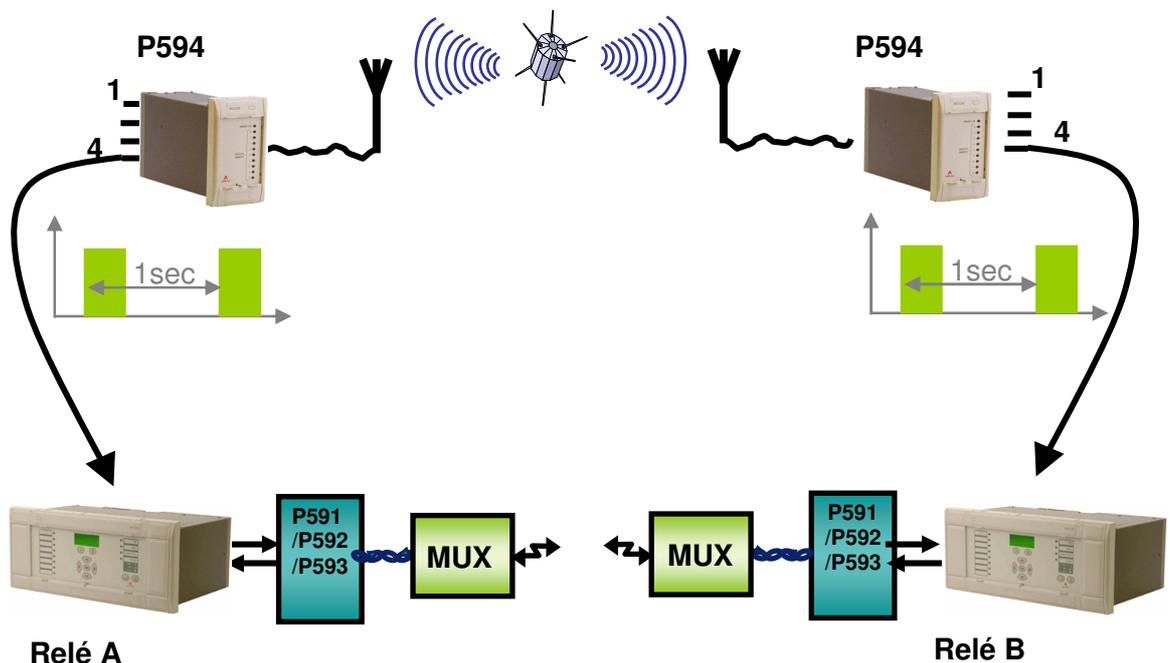


Figura 4

2.3.3 Tecnologia das Fibras Ópticas:

Atualmente no mercado existem os seguintes tipos de fibras ópticas para uso em link de comunicação óptico: 850nm multimodo; 1300nm multimodo; 1300nm mono-modo e 1500 mono-modo, cuja distância máxima de transmissão é respectivamente: 1 km, 30 km, 60 km e 100 km.

Diversas formas podem ser escolhidas para instalação da fibra óptica na linha de transmissão, em geral são usadas às próprias estruturas das torres de transmissão, via cabo guarda ou, no caso de distribuidoras, suspenso nos próprios postes (“varal”) da rede, embora caminho alternativo através de duto subterrâneo seja usado em sistemas que exigem redundância de canais e rotas (ex. usina-subestação) para aumentar a segurança do sistema de proteção.

3.0 - EXPERIÊNCIA DA ELETRONORTE

A instalação da proteção diferencial na ELETRONORTE ocorreu no sistema do Acre na linha de transmissão de 138KV que interliga as subestações de Rio Branco e a de Epitaciolândia, com a extensão de 245 km, sendo que a proteção principal foi através da proteção diferencial de linha longitudinal (87L) efetuando a proteção principal e a proteção de “back-up” ou alternada, através das funções de distância (21), sobretensão (59) e sobrecorrente (51).

O sistema de comunicação de voz /dados e teleproteção instalado nos terminais de Rio Branco e Epitaciolândia é do fabricante ALCATEL, tipo MUX PDH, sendo necessário, neste caso, instalar interface elétrica-óptica padrão G.703 entre os relés diferenciais de linha do fabricante AREVA e o sistema PDH, conforme mostrado na figura 5 abaixo.

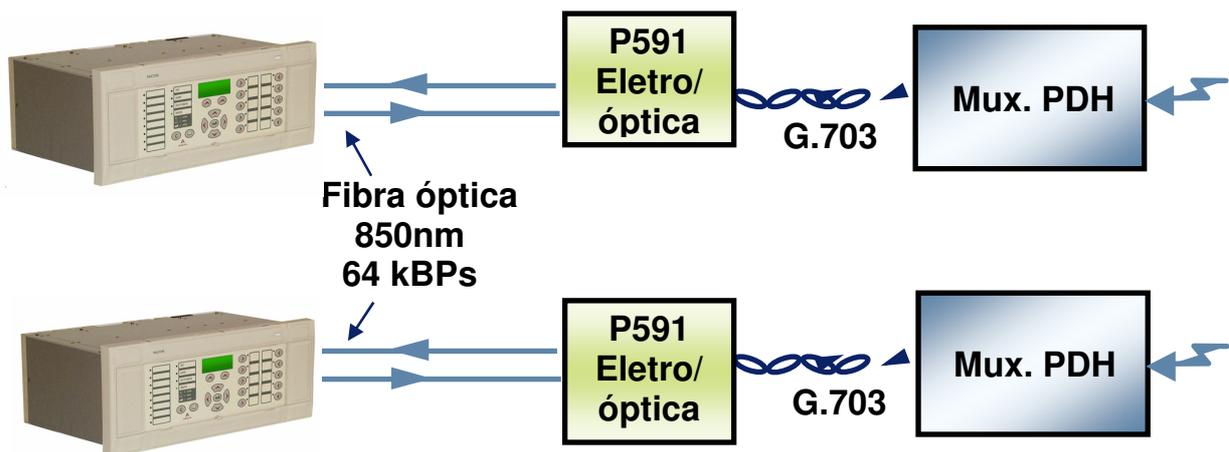


Figura 5

Destacamos aqui a necessidade de compatibilizar a velocidade de transmissão dos relés diferencial modelo P545 da AREVA, com taxa de velocidade de saída de 56/64 kbs e a taxa de transmissão do multiplexador de 2 Mbp/s (link E1=2.048 kbp/s) da ALCATEL, sendo necessário instalar no MUX cartão adicional de 56/64 Kbps de modo a compatibilizar a velocidade de transmissão entre os equipamentos. Após esta adequação em campo, os testes de comunicação foram realizados com sucesso.

Uma alternativa técnica moderna para evitar uso de conversores e instalação de cartão adicional na interface de comunicação entre o relé e o sistema multiplexado tipo SDH é especificar e adquirir tanto o relé quanto o sistema de comunicação em conformidade com a nova norma IEEE C37.94 publicada em 2002.

A finalidade principal da norma IEEE C37.94TM é permitir a conexão direta via fibra óptica entre o IED com taxa 64 Kbp/s e o sistema de comunicação óptico multiplexado, eliminando a necessidade de conversor eletro/óptico (Figura 6).

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEEE C37.113.1999 – Guide for Protective Relays Applications to Transmission Lines;
- [2] XIX SNPTEE – 2007 – Desmistificando o Limite de Comprimento da Linha para a Proteção Diferencial – Rio de Janeiro – Autores: R. A. Dutra, E. M. Brandi, L. F. G. Viana, A. Strucker, R. M. Bau, S. Antezana;
- [3] M. M. Eissa, O. P. Malik, 1996, “A new digital directional transverse differential protection technique”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No. 3, pp 1285-1291.
- [4] Q. Wang, X. Dong, Z. Bo, B. Cauce, A. Apostolov e D. Tholomier, 18th International Conference on Electricity Distribution – CIRED, Turim, Italy, 6-9 June 2005.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Divino Ramos Garcia

Nascido em 16 de Abril de 1959.

Graduação (1985) em Engenharia Elétrica: pela Faculdade de Engenharia de Ituiutaba-MG

Empresa: ELETRONORTE, desde 1989

Engenheiro de Projeto e Construção.

Denys Lellys

Nascido em Campina Grande, PB, em 26 de Junho de 1958.

Graduação (1981) na UFPB-PB e Pós-Graduação (1983) em Engenharia Elétrica: UFPB-PB

Empresa: AREVA T&D desde 2000

Engenheiro de Aplicação e Vendas.