

**Dr. Paulo Marin, Eng<sup>o</sup>. | Electrical Engineer**  
 Doctor of EMI/EMC applied to ICT infrastructure  
 IEEE Senior Member | BICSI TI&M Committee Member  
[www.paulomarin.com](http://www.paulomarin.com)

## ***Entenda os parâmetros TCL (perda de conversão transversal) e TCTL (perda de transferência de conversão transversal)***

**Por Dr. Paulo Marin, Eng<sup>o</sup>.**

Há vários parâmetros elétricos de transmissão para cabo metálico que têm relação com seu grau de balanceamento, entre eles a TCL (perda de conversão transversal, *transverse conversion loss*) e a TCTL (perda de transferência de conversão transversal, *transverse conversion transfer loss*). Além deles, podemos citar, também, a perda de transferência de conversão transversal normalizada (ELTCTL, *equal-level transverse conversion transfer loss*), resistência de laço em corrente contínua e o desequilíbrio resistivo em corrente contínua.

Embora um bom balanceamento seja fundamental para o desempenho ótimo de sistemas de transmissão baseados em cabos balanceados, com o aumento da complexidade de algumas tecnologias de comunicação, parâmetros elétricos de transmissão que não precisavam ser verificados antes, passam a ser relevantes em determinados cenários.

Para a garantia de desempenho de aplicações PoE (*Power over Ethernet*), atenção especial vem sendo dispensada aos parâmetros de transmissão associados ao grau de balanceamento de pares de cabos balanceados devido ao limite de capacidade de condução de corrente elétrica de cada condutor do par, basicamente.

Antes de discutirmos esses parâmetros, suas relações com o grau de balanceamento do cabo e suas especificações de testes, vejamos o significado de balanceamento. Em uma transmissão balanceada, uma tensão de mesma amplitude e fase oposta é aplicada a ambos os condutores de um par conforme ilustrado na Figura 1.

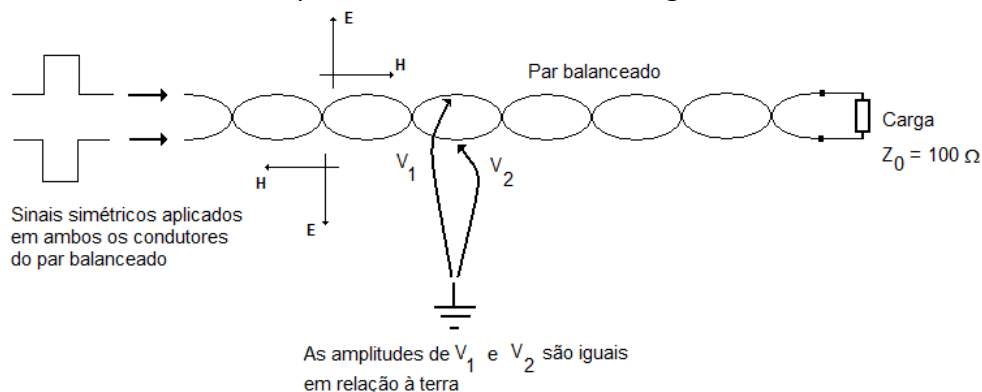


Figura 1 - Conceito de balanceamento elétrico para um cabo de pares trançados

Os campos elétrico e magnético, representados pelos vetores  $E$  e  $H$  na figura, criados por um dos condutores cancelam os mesmos campos criados pelo outro condutor do par, levando o sistema balanceado a um nível de irradiação muito baixo. Um ruído gerado por uma fonte externa, como aquele proveniente de uma antena de um transmissor de rádio, gera uma tensão de mesmas amplitude e fase, ou uma tensão de ruído de modo comum, em cada condutor do par. A diferença entre as tensões nos dois condutores de um par proveniente deste ruído acoplado, denomina-se tensão diferencial, que será, neste caso, efetivamente nula. Uma vez que o sinal desejado no par é um sinal diferencial, a interferência resultante (que será praticamente nula em circuitos com balanceamento eficiente) não afetará a transmissão. Esse mecanismo é denominado rejeição de ruído de modo comum e é esquematizado na Figura 2.

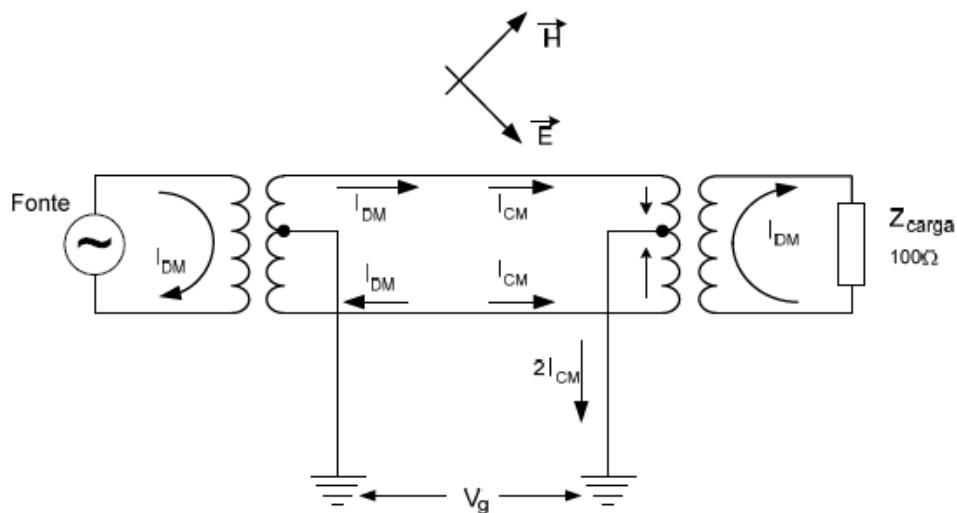


Figura 2 – Esquema de rejeição de ruído de modo comum

O grau de balanceamento elétrico pode ser determinado pela relação entre a tensão diferencial e a tensão de ruído de modo comum, expressa em dB. De fato, os parâmetros de balanceamento de um cabo são sempre especificados com base em relações entre tensões elétricas (em dB).

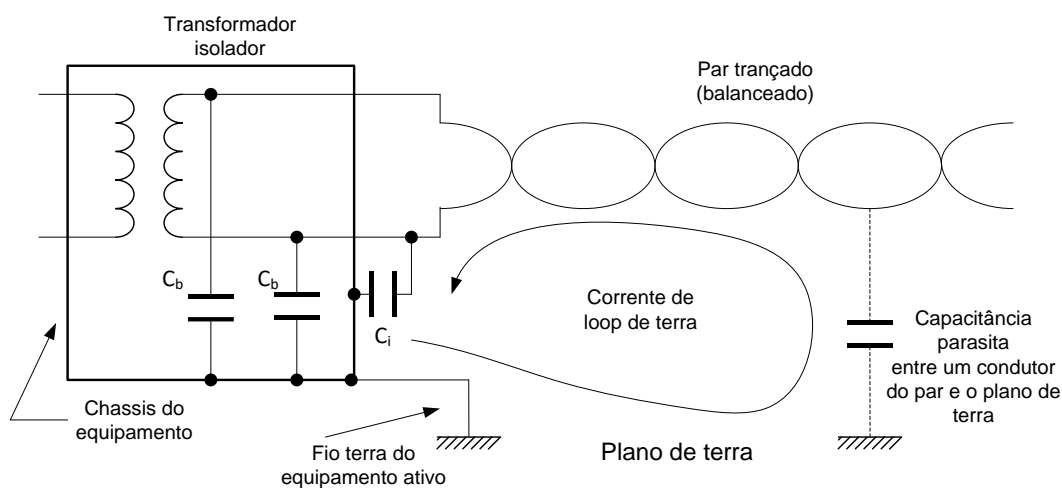
O balanceamento de modo comum aplica-se a sistemas de transmissão diferencial (que não utilizam o plano de terra como condutor). O balanceamento de modo comum é a relação entre as amplitudes do sinal de modo comum e do sinal de modo diferencial dentro de um sistema. Um sistema puramente diferencial sem um componente de modo comum é considerado perfeitamente balanceado (os sinais em cada um dos condutores estão em fase oposta, conforme mostrado na Figura 1).

Qualquer elemento de um circuito não balanceado dentro de um canal de transmissão balanceado gera uma região de acoplamento parcial entre os modos comum e

diferencial de transmissão. Este acoplamento pode converter parte de um sinal diferencial em um sinal de modo comum ou vice-versa.

Problemas de conversão de modo diferencial em modo comum normalmente ocorrem nas placas de rede e adaptadores para conexões de equipamentos ativos em redes locais (LAN). Os cabos de pares trançados sem blindagem não têm qualquer conexão à terra e portanto, em teoria, não acoplam ruídos de modo comum ao sistema.

No entanto, devido a capacitâncias entre os polos do transformador isolador utilizado na placa de rede (ou porta do switch) e o chassis do equipamento, e também a uma capacitância parasita entre um condutor do par e o plano de terra (ao qual o chassis do equipamento está conectado), uma corrente de *loop* de terra fechará o circuito e algum ruído de modo comum (tensão de ruído) será acoplado no sistema de comunicação. A Figura 3 apresenta este mecanismo.



$C_b$  são elementos balanceados do sistema (modo diferencial)  
 $C_i$  é o elemento não balanceado do sistema (modo comum)

Figura 3 - Corrente de *loop* de terra em função de elementos não balanceados em um sistema transmissão balanceado

### **Perda de conversão transversal (TCL)**

Pode ser definida como a relação (expressa em dB) entre a tensão do sinal diferencial ( $V_{T1}$ ) e a tensão longitudinal de modo comum ( $V_{L1}$ ), proveniente do desequilíbrio do canal, medida na extremidade local do canal de transmissão (considerada aquela na qual o gerador é colocado). A extremidade oposta (remota) deve ser terminada para a realização do teste. Assim, esta medição mostra quanto de ruído de modo comum foi acoplado no sistema a partir de uma dada localidade. O grau de balanceamento do

o sistema será melhor quanto menor a conversão da tensão diferencial em tensão longitudinal e vice-versa. Em outras palavras, quanto maior o valor de TCL em dB, melhor o grau de balanceamento do canal. A Figura 4 mostra um modelo simplificado da relação entre as tensões diferencial e longitudinal para a medição do grau de balanceamento de um canal.

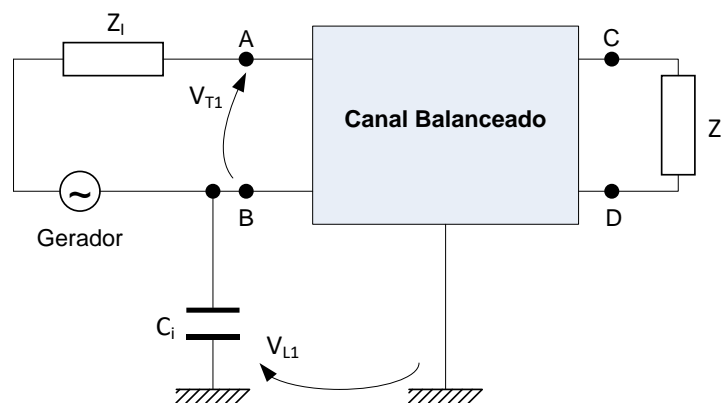


Figura 4 - Modelo simplificado para a avaliação de TCL

Matematicamente, a TCL pode ser representada conforme a expressão abaixo:

$$TCL = 20 \log \left| \frac{V_{T1}}{V_{L1}} \right| (dB) \quad (1)$$

É importante entender que a medição da TCL serve para verificar o grau de balanceamento do canal passivo, sem qualquer relação com os equipamentos ativos que utilizarão o canal.

Conforme a normalização vigente, a aferição da TCL se aplica às classes de cabeamento A, B, C, D, E, EA, I e II, e é sujeita à classificação ambiental, conforme definido na tabela MICE, especificada na ABNT NBR 16521:2016 (Cabeamento estruturado industrial), que estabelece critérios mecânico (M), de ingresso de contaminantes (I), climático e químico (C) e eletromagnético (E), associados ao ambiente de instalação.

Embora pouco comum, e impreciso sob meu ponto de vista, a TCL é também referida na literatura “técnico-normativa” como *desequilíbrio de atenuação na extremidade local do canal (unbalance attenuation near-end)*.

### **Perda de transferência de conversão transversal (TCTL)**

Pode ser definida como a relação (expressa em dB) entre uma tensão longitudinal ( $V_{L2}$ ) presente na saída (ou extremidade remota) do canal e a tensão de modo diferencial em sua entrada ( $V_{T1}$ ), na extremidade local. Em outras palavras, a TCTL pode ser entendida como a tensão longitudinal resultante na extremidade remota do canal a partir de uma

fonte colocada em sua entrada. A Figura 5 mostra um modelo simplificado da relação entre as tensões diferencial e de modo comum para a medição do grau de balanceamento de um canal.

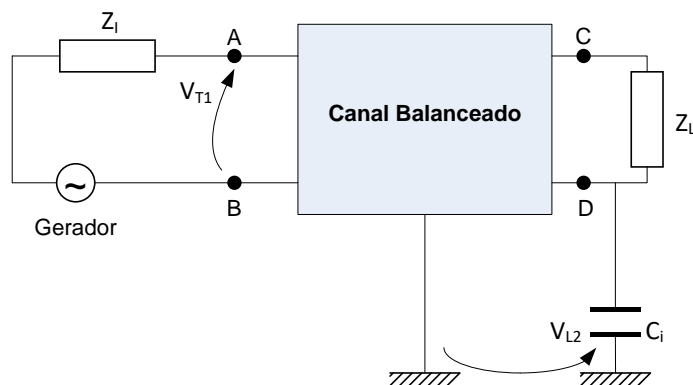


Figura 5 – Representação do modelo para a medição da TCTL

Matematicamente, a TCTL pode ser representada conforme a expressão abaixo:

$$TCL = 20 \log \left| \frac{V_{T1}}{V_{L2}} \right| \text{ (dB)} \quad (2)$$

Assim como para a TCL, a medição da TCTL serve para verificar o grau de balanceamento do canal passivo, sem qualquer relação com os equipamentos ativos a serem utilizados. Conforme a normalização vigente, a TCTL, embora medida, não precisa ser reportada nos relatórios de testes. No entanto, sua resposta deve ser reportada em termos de ELTCTL.

### **Perda de transferência de conversão transversal normalizada (ELTCTL)**

Pode ser definida como a relação, em dB, entre a TCTL e a atenuação do canal ( $A_{\text{canal}}$ ). Matematicamente, podemos representá-la, de forma simplificada, como:

$$ELTCTL = |TCTL - (A_{\text{canal}})| \text{ (dB)} \quad (3)$$

Do ponto de vista prático, a ELTCTL tem como objetivo retirar a dependência da variável 'comprimento do canal' do valor desse parâmetro, tornando sua representação em função da frequência mais simples e eficaz, o que permite uma análise mais direta do desempenho do canal sob teste para esse parâmetro, ou relação entre parâmetros, para ser mais preciso.

Conforme a normalização vigente, a aferição da ELTCTL se aplica às classes de cabeamento D, E, EA, I e II e é sujeita à classificação ambiental, conforme definido na tabela MICE, conforme especificada na ABNT NBR 16521:2016 (Cabeamento

**Dr. Paulo Marin, Eng°. | Electrical Engineer**  
Doctor of EMI/EMC applied to ICT infrastructure  
IEEE Senior Member | BICSI TI&M Committee Member  
[www.paulomarin.com](http://www.paulomarin.com)

estruturado industrial), que estabelece critérios mecânico (M), de ingresso de contaminantes (I), climático e químico (C) e eletromagnético (E), associados ao ambiente de instalação.

Da mesma forma que para a TCL, embora pouco comum e impreciso sob meu ponto de vista, a ELTCTL é também referida na literatura “técnico-normativa” como desequilíbrio de atenuação na extremidade remota do canal (*unbalance attenuation far-end*).

### **Resistência de laço em corrente contínua**

Pode ser definida como a resistência equivalente ( $\Omega$ ) dos condutores de um par, medida na extremidade local (onde se encontra o equipamento de teste), quando fechados em curto-circuito na extremidade remota do canal. Devido às torções nos condutores que formam o par trançado, a resistência de laço em corrente contínua pode ser entre 1% e 5% superior à resistência em corrente contínua de um condutor individual do par.

### **Desequilíbrio resistivo em corrente contínua**

Pode ser definido como a diferença entre as resistências em corrente contínua individuais de cada condutor do par balanceado. Essa diferença, embora medida em ohms ( $\Omega$ ), é normalmente expressa como uma porcentagem. A ISO/IEC 11801-1:2017 (*Information technology – Generic cabling for customer premises – Part 1: General requirements*), utilizada como referência para a ABNT NBR 14565:2019 (Cabeamento estruturado para edifícios comerciais), estabelece um desequilíbrio máximo de 7% ou 100 m $\Omega$ , entre os valores de resistência em corrente contínua de cada condutor do par.

### **Conclusões**

Conforme discutido aqui, um bom grau de balanceamento do canal é fundamental para a garantia de desempenho ótimo de aplicações que têm cabos balanceados como requisitos de meio físico. Além disso, aplicações mais complexas, em geral aquelas que operam a taxas de transmissão mais elevadas (10 GbE, 25 GbE, 40 GbE, etc.) e empregam diversos níveis em seus códigos de linha, são mais sensíveis ao grau de balanceamento do canal.

Os parâmetros apresentados e discutidos brevemente aqui são aqueles diretamente envolvidos na avaliação do grau de desempenho do canal balanceado. No que diz respeito à medição desses parâmetros, a ISO/IEC 11801-1:2017 define dois regimes de testes: de conformidade de referência (em laboratório) e de conformidade de instalação (em campo). A Tabela 1 mostra as especificações de testes em laboratório e campo dos parâmetros críticos de balanceamento.

[www.paulomarin.com](http://www.paulomarin.com)

**Dr. Paulo Marin, Eng°. | Electrical Engineer**  
 Doctor of EMI/EMC applied to ICT infrastructure  
 IEEE Senior Member | BICSI TI&M Committee Member  
[www.paulomarin.com](http://www.paulomarin.com)

Tabela 1 – Parâmetros de balanceamento e requisitos de testes  
 (Fonte: ISO/IEC 11801-1:2017)

Parâmetro de transmissão	Testes em laboratório	Testes em campo
TCL	Normativo	Opcional
ELTCTL	Normativo	Opcional
Resistência CC	Normativo	Normativo
Laço de resistência CC	Normativo	Opcional
Desequilíbrio resistivo CC	Normativo	Opcional

Os parâmetros identificados como normativos devem ser medidos e seus resultados comparados com os limites estabelecidos pela ISO/IEC 11801-1:2017 para as classes de cabeamento correspondentes.

A norma especifica também o limite de capacidade de corrente de cada condutor individual de um par balanceado em 750 mA a uma temperatura máxima de 60 °C do ambiente de operação. Essa especificação se aplica às classes de cabeamento C, D, E, E<sub>A</sub>, F, F<sub>A</sub>, I e II. Isso explica o motivo pelo qual o grau de balanceamento é importante para a implementação da tecnologia PoE em cabos balanceados, pois a capacidade de corrente do par pode sofrer variações importantes e afetar o desempenho de uma aplicação PoE. De qualquer forma, a norma remete à ISO/IEC TS 29125 (*Information technology – Telecommunications cabling requirements for remote powering of terminal equipment*) para especificações sobre PoE em cabeamento estruturado.

No ambiente de normalização ANSI (*American National Standards Institute*) e TIA (*Telecommunications Industry Association*), o TSB 184 (*Guidelines for supporting power delivery over balanced twisted-pair cabling*) traz critérios associados à implementação de PoE em cabeamento estruturado.

Para finalizar, os parâmetros de avaliação do grau de balanceamento do canal são parâmetros elétricos de transmissão “corriqueiros” e não têm relação particular alguma com qualquer tecnologia de comunicação a ser implementada em cabeamento estruturado e/ou com categorias de desempenho ou classes de cabeamento superiores, como a Categoria 6A (Classe E<sub>A</sub>), por exemplo.