

**ESTUDO DE CONEXÕES ÓPTICAS COM POLIMENTOS PC E APC**Felipe Kenzo Araki<sup>1</sup> (IC), Ramon Maia Borges (PQ)<sup>1</sup><sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá.**Palavras-chave:** adaptadores ópticos, conectores ópticos, fibra óptica, polimento de conectores.**Introdução**

A fibra óptica tem se consolidado como uma das principais tecnologias para transmissão de dados em sistemas de telecomunicações. Devido às suas vantagens em relação a outras tecnologias, como imunidade a interferências eletromagnéticas, dimensões reduzidas, grande capacidade e sigilo de transmissão, ela se mostra como uma das melhores escolhas para inúmeras aplicações. A crescente demanda por largura de banda, tanto no uso cotidiano, quanto em aplicações específicas, em sua maioria, impulsionada por computação em nuvem, streaming e serviços em tempo real, estimula o uso dessa tecnologia em larga escala [1].

O princípio de funcionamento da fibra baseia-se no confinamento da luz em um núcleo dielétrico que direciona os sinais ópticos [2]. Esse confinamento ocorre pela reflexão interna total, que se dá quando o ângulo de incidência for igual ou maior que um ângulo crítico na interface do núcleo-casca. Variações no material e nas dimensões do núcleo podem influenciar não apenas no modo de propagação, mas na resposta da fibra a fatores ambientais, como estresse mecânico, curvatura e variações de temperatura [2]. Entre os principais tipos, as fibras *single-mode* (SM) apresentam núcleo entre 8 e 10,5  $\mu\text{m}$  e permitem apenas um modo de propagação, eliminando efeitos de dispersão modal. Já as fibras *multi-mode* (MM), com núcleos entre 50  $\mu\text{m}$  e 62,5  $\mu\text{m}$ , suportam múltiplos modos de propagação, sendo indicadas para curtas distâncias devido à dispersão modal e maior atenuação [3].

As perdas ópticas podem ser intrínsecas e extrínsecas. As primeiras incluem a absorção do próprio material da fibra; as segundas, impurezas como poeira e gordura. Outro fator relevante é o espalhamento Rayleigh, causado por flutuações microscópicas na densidade do vidro durante a fabricação [4].

Na integração de fibras em sistemas reais, utilizam-se conectores e emendas. As emendas realizam uniões permanentes com perdas típicas abaixo de 0,1 dB, enquanto os conectores permitem conexões/adaptações

removíveis, com perdas abaixo de 0,5 dB [4-5]. O desempenho de um conector depende também do polimento em sua extremidade, que afeta a perda por inserção e a *back reflection* - efeito em que parte da luz retorna à fonte, podendo reduzir a eficiência da transmissão e danificar transceptores ópticos [6]. Polimentos como *Physical Contact* (PC), *Ultra Physical Contact* (UPC) e *Angled Physical Contact* (APC) apresentam diferentes capacidades de lidar com o *back reflection*, sendo o conector APC mais eficiente para minimizar o efeito [7]. Além dos tipos de polimento, existem variados tipos de conectores, sendo alguns exemplos: *subscriber connector* (SC), *straight tip connector* (ST) e *ferrule connector* (FC). Para que a conexão entre fibras ou entre fibra e dispositivos seja efetuada de maneira adequada, ou seja, buscando a menor perda óptica, deve-se utilizar conectores de mesmo polimento. Dessa maneira, uma conexão entre dois conectores de polimento PC (conexão PC/PC) através de um adaptador óptico é adequada, assim como conexões APC/APC ou UPC/UPC. Por outro lado, conexões PC/APC, ou seja, conexões onde há divergência de polimento dos conectores envolvidos, são consideradas indevidas ou inadequadas por implicarem em elevada atenuação.

Em [8], os autores apresentaram uma análise da atenuação em conexões ópticas, investigando o impacto de diferentes versões de adaptadores SC em conexões PC/PC, APC/APC e PC/APC. Constatou-se que a versão do adaptador SC não impacta significativamente na atenuação de uma conexão, e que uma conexão inadequada (PC/APC) resulta em atenuação superior a 3 dB, enquanto uma conexão adequada (PC/PC ou APC/APC) resulta em atenuação próxima de 0,25 dB.

O atual trabalho é uma continuação de [8] e possui os seguintes objetivos: (i) investigar se, em uma conexão óptica considerada indevida, a atenuação resultante muda em função do sentido de propagação do sinal óptico; (ii) investigar se a posição de uma dada conexão indevida, sendo esta realizada próxima ou mais distante da fonte de luz, afeta a atenuação imposta pela conexão.

**“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”**

As análises investigativas e os resultados experimentais obtidos são as contribuições deste artigo, representando um avanço em relação a [8]. Os ensaios foram conduzidos em uma bancada óptica, com controle de variáveis como estabilidade do laser, limpeza e inspeção das faces dos conectores e manutenção do alinhamento óptico, para assegurar maior reprodutibilidade e a confiabilidade dos resultados obtidos.

### Metodologia

O experimento foi dividido em três etapas principais. Na primeira etapa, foi realizada a reprodução dos experimentos de [8], a fim de validar o *setup* e avançar em direção aos objetivos do presente estudo. Para tal, explorou-se montagens conforme os diagramas em blocos apresentados nas Figs. 1(a), 1(b) e 1(c).

A Fig. 1(a) expõe o diagrama utilizado para a análise de atenuação em conexões ópticas entre conectores do tipo SC com polimento PC, ou seja, conexões entre terminações SC/PC. O sistema foi montado em uma bancada óptica utilizando o laser ML925B45F, que opera em regime de luz contínua no comprimento de onda de 1550 nm. O laser é controlado pelos dispositivos LDC205C (controlador de corrente) e TED200C e TCLDM9 (controladores de temperatura). Fez-se necessário o uso de óptica no espaço livre (FSO) para confinar a luz gerada pelo laser no Cordão 1, uma vez que o laser disponível é não conectorizado. Para o alinhamento do esquema de FSO, fez-se uso de microposicionador óptico. O Cordão 1 é composto por fibra SM e possui os conectores FC/PC e SC/PC nas extremidades. Tal cordão é acoplado a um adaptador SC, e este é conectado a outro cordão óptico SM (Cordão 2), de extremidades terminadas em conectores SC/PC. Por fim, a leitura da potência óptica recebida é feita pelo medidor de potência (S122C e PM400). Diferentes versões de adaptadores SC foram consideradas na análise.

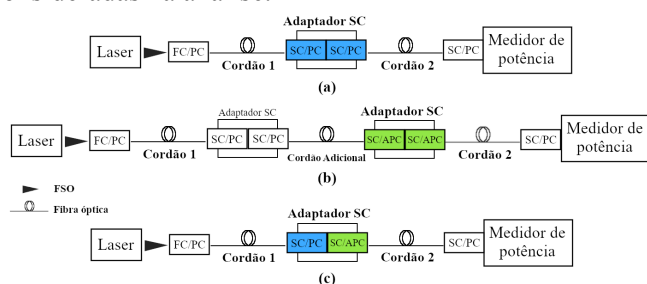


Figura 1 – Diagrama em blocos da Etapa 1: (a) cenário PC/PC; (b) cenário APC/APC; (c) cenário PC/APC.

A Fig. 1(b) apresenta o diagrama utilizado para a análise de atenuação em conexões ópticas entre conectores do tipo SC com polimento APC, ou seja, conexões entre terminações SC/APC. Neste caso, para fazer a transição do Cordão 1, terminado em PC, para APC, fez-se necessário a introdução de um novo cordão SM (Cordão Adicional) de extremidades SC/PC e SC/APC, assim como de um novo adaptador para conectar estes cordões. Também, o Cordão 2 foi substituído por um cordão SM de extremidades SC/APC e SC/PC.

A Fig. 1(c) mostra o diagrama utilizado para a análise de atenuação em conexões ópticas entre conectores SC/PC e SC/APC, consideradas inadequadas pela divergência de polimento. Neste cenário, o Cordão 1 (SC/PC) se conecta ao Cordão 2 (SC/APC) pelo adaptador SC.

Na segunda etapa, foram feitas novas medidas de atenuação em uma conexão óptica indevida, considerando a luz propagando-se no sentido do conector SC/APC para o conector SC/PC e vice-versa. Para analisar a luz no sentido PC para APC, aproveitou-se o *setup* da Fig. 1(c). Para analisar a luz no sentido do conector APC para o conector PC, utilizou-se o *setup* representado pelo diagrama em blocos da Fig. 2. Nota-se a presença do Cordão Adicional (extremidades SC/PC e SC/APC) e o uso do Cordão 2 com extremidades SC/PC.

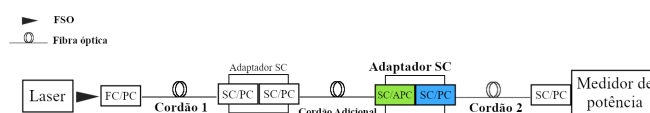


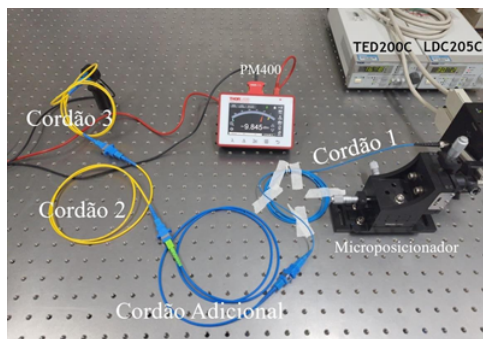
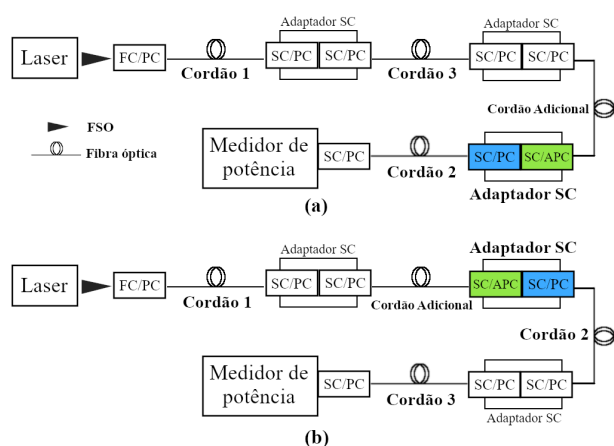
Figura 2 – Diagrama em blocos do cenário APC/PC da Etapa 2.

Na Etapa 3, são estudadas as medidas de atenuação em uma conexão óptica indevida (escolhida APC/PC) considerando a proximidade e afastamento desta conexão da fonte de luz. Ou seja, é inserido um cordão SM (Cordão 3) de extremidades SC/PC em locais estratégicos do *setup*. No cenário (a), o Cordão 3 é inserido após o Cordão 1, assim, tem-se o afastamento da conexão indevida da fonte de luz. Por outro lado, no cenário (b), o Cordão 3 é inserido após o Cordão 2, assim, temos a aproximação da conexão indevida da fonte de luz em comparação com o cenário (a). As Figuras 3(a), 3(b) e 3(c) apresentam o diagrama em blocos do cenário (a), o diagrama em blocos do cenário (b) e uma fotografia do *setup* experimental nesta etapa, respectivamente. Cabe ressaltar que o *setup* dos cenários

**“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”**

(a) e (b) possui os mesmos elementos, com modificações apenas na posição do Cordão 3, o que permite uma análise comparativa da atenuação óptica em função da posição da conexão indevida.

Como referência para as análises, foi adotado o cenário *back-to-back* (B2B), em que o Cordão 1 é conectado diretamente ao medidor de potência (S122C).



(c)

Figura 3 - Etapa 3: (a) Diagrama em blocos do cenário (a); (b) diagrama em blocos do cenário (b); (c) fotografia do *setup*.

### Resultados e discussão

Os resultados obtidos foram organizados conforme as etapas descritas na metodologia, possibilitando a análise separada dos efeitos da variação de adaptadores ópticos, e da combinação/inversão de polimentos nas conexões.

Durante cada medição de potência óptica recebida, foi mantido um intervalo de 15 minutos para registro de dados. Observou-se que havia variação da potência óptica em razão de instabilidades do laser, motivo pelo qual optou-se por utilizar a média dos valores medidos

nesse período como referência para cálculo de atenuação. Em sessões de teste específicas, a variação chegou a ultrapassar 2 dB; nesses casos, os dados foram descartados, sendo considerados para análise apenas os conjuntos cujas flutuações não excederam 0,5 dB.

Foi também constatada influência da temperatura ambiente na estabilidade das medições. Quando a sala estava a aproximadamente 25 °C, a variação de potência era significativamente maior. Ao ligar o sistema de ar-condicionado e manter a temperatura em 19 °C, as medições tornaram-se mais estáveis, com variações dentro do limite aceitável escolhido.

Na Etapa 1, verificou-se que a substituição do adaptador SC entre suas diferentes versões não resultou em variação significativa na potência óptica recebida. Comparando com o cenário de referência B2B (potência medida igual a  $-5,388$  dBm), a inserção de uma conexão óptica adequada introduziu uma atenuação média de  $0,3 \pm 0,025$  dB. Esses valores estão em conformidade com os resultados obtidos em [8], o que valida o *setup* para as próximas etapas.

Na Etapa 2, ao analisar o cenário em que a luz se propaga no sentido do conector PC para o conector APC, verificou-se uma potência óptica recebida de  $-8,98$  dBm. No cenário de propagação da luz em sentido contrário (do conector APC para PC), foi recebida uma potência de  $-9,74$  dBm, que, a princípio, leva ao entendimento de que há uma atenuação adicional de 0,76 dB em relação ao primeiro cenário. Considerando que parte dessa atenuação é atribuída ao adaptador extra inserido com o Cordão Adicional necessário para esta etapa (implica em atenuação de 0,3 dB), estima-se que a diferença real entre as conexões desses cenários seja de  $0,76$  dB  $- 0,3$  dB, que resulta em 0,46 dB. Os resultados indicam que em uma conexão óptica considerada indevida, o sentido de propagação do sinal óptico influencia ligeiramente a atenuação da conexão. Os valores de atenuação em comparação ao B2B são mostrados na Tabela 1 a seguir.

	PC para APC	APC para PC
Atenuação (dB)	3,592	4,052

Tabela 1 – Atenuação da potência dos casos da Etapa 2 em relação ao cenário B2B.

Na Etapa 3, para o cenário (a), onde a conexão indevida ocorre mais distante da fonte de luz, a potência óptica

**“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”**

medida no PM400 foi de  $-10,235$  dBm. Já no cenário (b), quando a conexão se encontra mais próxima do laser, a potência foi de  $-9,834$  dBm. A partir destes valores, observa-se que o cenário (a) apresenta uma atenuação de  $0,401$  dB em relação ao cenário (b). A Tabela 2 mostra a atenuação dos cenários desta etapa em relação ao B2B. Os resultados indicam que, quando a conexão APC/PC está mais próxima da fonte (laser), a atenuação tende a ser menor do que quando essa conexão está posicionada mais distante no enlace.

	Cenário A	Cenário B
Atenuação (dB)	4,847	4,446

Tabela 2 – Atenuação da potência dos cenários da Etapa 3 em relação ao cenário B2B.

### Conclusões

Este trabalho apresentou uma análise experimental de conexões ópticas em ambiente de laboratório. Foram investigadas conexões de mesmo polimento e conexões de polimentos distintos (consideradas indevidas). Os resultados da primeira etapa do estudo, que reproduz análises de [8], reforçam que a variação do tipo de adaptador SC não produz diferenças significativas na atenuação da potência em conexões ópticas, assim como as perdas em conexões adequadas assumem valores próximos a  $0,3$  dB e as perdas em conexões consideradas indevidas ultrapassam os  $3$  dB.

Na segunda etapa, o estudo experimental analisou as diferenças na potência quando a propagação da luz ocorre no sentido PC para APC e vice-versa, mostrando evidências de que quando a luz se propaga no sentido do conector APC para PC, ocorre uma atenuação ligeiramente maior ( $0,46$  dB) da potência, em comparação com o sentido inverso.

Na última etapa, verificou-se os impactos da localização da conexão indevida em relação à fonte de luz. Dessa maneira, foi observado que quando a conexão indevida ocorre mais próxima do laser, a atenuação é ligeiramente menor (diferença de  $\approx 0,401$  dB).

As análises e resultados reforçam a importância da adequação de polimento nas conexões ópticas, uma vez que conexões envolvendo polimentos distintos implicam em, além de alta atenuação ( $>3$ dB), variações desta em função do sentido de propagação e da posição da

conexão em relação à fonte de luz, o que pode acentuar ainda mais a perda de potência.

Sugestões para trabalhos futuros visam expandir a investigação para outros tipos de conectores, assim como diferentes comprimentos de onda, a fim de verificar se os comportamentos observados se mantêm.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro por meio da concessão da bolsa de Iniciação Científica. Agradecem também à Universidade Federal de Itajubá pelo suporte institucional e pela infraestrutura disponibilizada.

### Referências

- [1] FS. The Advantages and Disadvantages of Optical Fiber. Disponível em: <https://www.fs.com/blog/the-advantages-and-disadvantages-of-optical-fiber-2721.htm>.
- [2] KEISER, Gerd. Optical Fiber Communications. 5. Ed. New York: McGraw-Hill, 2021. 624 p.
- [3] Single-mode vs. Multimode Fiber. Disponível em: <https://learn.aflglobal.com/enterprise/single-mode-vs-multimode/>.
- [4] AGRAWAL, G. P. Fiber-optic communication systems. New York: Wiley, 2002.
- [5] Intelbrás, “Adaptador óptico,” Ficha técnica - XFA1 e XFA2. [Online]
- [6] What is Laser Back Reflection & How Does It Impact Your Laser? Disponível em: <https://adapt-laser.com/laser-back-reflection/>.
- [7] Three Main Types of Fiber Polishes in Data Center | C2G. Disponível em: <https://www.cablestogo.com/learning/library/data-center/fiber-polishes>.
- [8] de SANTANA, R. R.; BORGES, R. M. Análise experimental de conexões ópticas com adaptadores do tipo SC. In: ANAIS DA CONFERÊNCIA NACIONAL EM COMUNICAÇÕES, REDES E SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO, 14., 2024, Natal. Anais [...] Natal, 2024. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/encom2024/881593-analise-experimental-de-conexoes-opticas-com-adaptadores-do-tipo-sc>.