3 Resultados

3.1. Testes com o OTDR convencional

A principio quando foi pensado em fazer tais experimentos foi verificado que algumas pessoas já tinham se utilizado desta técnica para a medição do ganho Raman [17] – [18]. Para um estudo inicial do método, utilizamos uma montagem bem mais simplificada do que as utilizadas nas referências citadas.

Um OTDR comercial foi acoplado a uma fibra através de um WDM onde se junta a luz de bombeio, no final da fibra é colocado um outro WDM não só para acoplar ainda um outro bombeio no sentido contrário, mas também para filtrar a luz de bombeio, pois a luz que queremos observar e analisar no OSA será apenas o sinal amplificado.

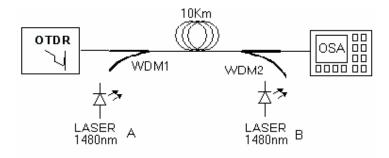
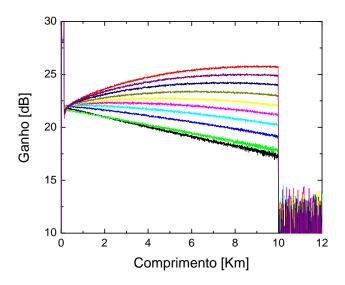


Figura 11 – Montagem simplificada do sistema para analise de amplificação Raman distribuída.

Assim foram obtidas as curvas para o bombeio copropagante e contrapropagante apresentadas nas figuras 12 e 13. No início das curvas podese observar um estranho efeito onde as curvas do OTDR se cruzam, isto se dá devido ao efeito de um processamento errôneo (perturbado) no OTDR.



Figuras 12 – Curvas pelo OTDR comercial para diversas potências de bombeio copropagantes.

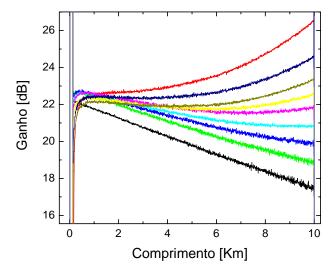


Figura 13 - Curvas pelo OTDR comercial para diversas potências de bombeio contrapropagantes.

Porém para cada medida feita para o caso do bombeio copropagante, o OSA foi colocado em regime de *MaxHold* para fazer uma analise espectral do pulso e verificar o ganho on-off na saída da fibra conforme podemos observar na figura 14, note que as cores representando as potências de bombeio são as mesmas para as curvas do OTDR e do OSA para facilitar a analise.

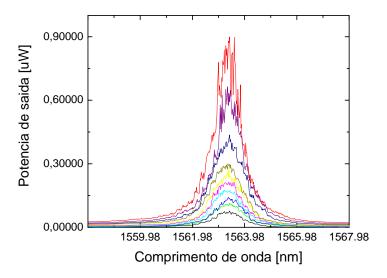


Figura 14 – Espectro do pulso visto no final da fibra pelo OSA no caso copropagante para as mesmas potências de bombeio.

Para uma comparação melhor dos dados foi feito o gráfico dos ganhos obtidos no OTDR e no OSA, evidentemente foi observado uma grande semelhança entre o ganho esperado e o obtido. É valido observar que neste ponto nosso interesse era ainda muito mais qualitativo para sabermos a viabilidade de um melhor resultado e investirmos mais no desenvolvimento da técnica e novas medidas, essa diferença se deve a relação sinal/ruído dos equipamentos utilizados.

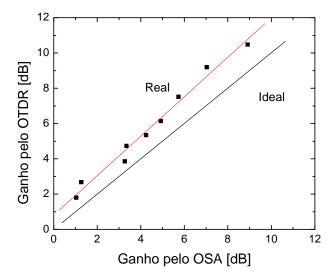


Figura 15 - Comparação entre os ganhos obtidos pelo OTDR e pelo OSA.

Maiores detalhes sobre este estudo podem ser vistos em [4].

3.2. Primeiras medidas sintonizáveis

Para facilitar nossa compreensão e as demais ilustrações vamos entender que quando falamos em T-OTDR estamos nos referindo a idéia básica desta dissertação no qual é ilustrada na figura 16 e teve seu funcionamento explicado no capítulo anterior.

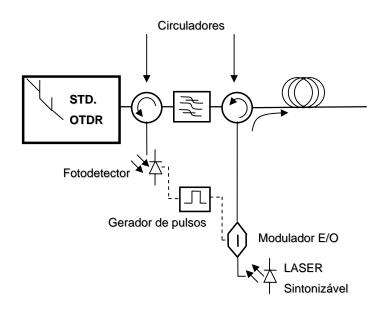


Figura 16 - Esquema básico do T-OTDR.

Nosso segundo passo então foi montar o experimento composto pelo T-OTDR (esquema previamente apresentado) seguindo-se de um WDM onde este tem conectado em sua outra entrada o LASER Raman de bombeio no comprimento de onda de 1427nm. Na saída do dispositivo temos ainda um outro WDM com a outra entrada conectada a um LASER de bombeio em 1480nm e finalmente na saída deste temos a fibra que queremos observar a amplificação distribuída conforme apresentado na figura 10. Com isto foram obtidas as medidas para diferentes comprimentos de onda e potências de bombeio constante. Estas medidas foram realizadas em uma fibra com dispersão deslocada (DS) onde o seu núcleo é bem menor do que as fibras convencionais,

aumentando assim ainda mais a densidade de campo eletromagnético e com isso temos mais efeito Raman estimulado, resultando assim em um maior ganho óptico comparativamente as fibras DS convencionais e Standard utilizando-se de um menor comprimento de fibra. Estes resultados demonstram como a aplicação deste método pode ser útil no estudo de amplificadores também do tipo *Bulk*.

No gráfico apresentado cortamos parte da fibra de lançamento para melhor observação.

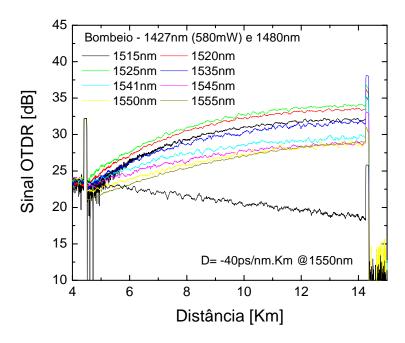


Figura 17 – Medidas de ganho Raman distribuído para comprimentos de onda na banda S+ e C.

Para uma análise comparativa fizemos a montagem do esquema apresentado na figura 18, com o LASER sintonizável fazendo a varredura do comprimento de onda do sinal a ser amplificado na entrada do sistema e o analisador de espectro óptico (OSA) ao fim do enlace, obtivemos os gráficos do ganho *on-off* em função de λ [nm] com as seguintes situações de bombeio: apenas 1427nm ligado, apenas o 1480nm ligado, e ambos ligados com a mesma potência das situações anteriores (as curvas de OTDR para esta situação se encontram na figura 17), como foi feita a medida distribuída como T-OTDR. Subtraindo a potência no final da fibra de cada medida pela potência da medida de referência sem bombeio temos a condição *on-off* conforme vemos pelo OSA.

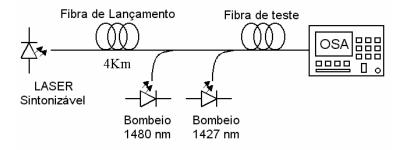


Figura 18 – Montagem para analise do ganho on-off com utilizando o OSA

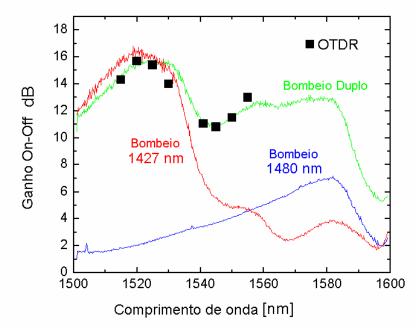


Figura 19 – Curvas obtidas pelo OSA para o ganho nos casos de bombeios isolados e juntos.

Comparando os gráficos vemos que a medida feita com a montagem do T-OTDR é bastante razoável além de mostrar-nos muito mais do que somente o ganho final.

Um fato muito interessante que não poderíamos deixar de ressaltar é a observação da transferência de bombeio de 1427nm para 1480nm, como podemos ver na figura 19, o ganho para os dois bombeios ligados ao mesmo tempo para alguns comprimentos de onda (por exemplo 1580nm) não são iguais à soma dos ganhos para cada bombeio ligado separadamente, este fenômeno é conhecido como trasferência de bombeio, porém este não é o assunto principal

da dissertação e maiores detalhes sobre isto podem ser encontrados na literatura.

Como podemos perceber principalmente nos ganhos dos comprimentos de onda entre 1550 e 1590nm, estes são muito maiores quando temos a configuração com dois bombeios ligados, do que somente com o bombeio para a amplificação nesta faixa. Mesmo sendo esta faixa muito acima da faixa de amplificação do bombeio de 1427nm observamos o que se chama de transferência de bombeio, isto é parte da energia que iria ser utilizada para amplificar apenas um comprimento de onda agora de divide (não igualmente) entre os comprimentos de onda desejados e os demais.

3.3. Medidas nas bandas S e C com bombeio co-propagante.

Depois das medidas apresentadas anteriormente, resolvemos partir para experimentos com enlaces maiores e com fibras mais convencionais como as de dispersão deslocada, que devido à área da seção reta do seu núcleo ser menor nos proporciona um maior efeito de amplificação como já foi mencionado. A montagem para a análise da amplificação no enlace continua sendo a mesma apresentada, porém com comprimentos de fibra bem maiores. Medidas para tais comprimentos de fibras utilizando concomitantemente um sistema de OTDR sintonizável (T-OTDR) e bombeio Raman não foram encontradas nas referências. K. Toge utilizando de uma montagem aparentenmente mais complexa atingiu a distância de 30Km [24]. E a maior distância observada até então foi por D. M. Spirit e L. C. Blank [25] para um único comprimento de onda.

Primeiramente vamos apresentar as medidas para um comprimento de onda fixo na banda S, 1517nm, e variação da potência de bombeio de 1427nm em um enlace de 60Km de fibra DS mais a fibra de lançamento. A montagem deste esquema é a mesma apresentada na figura 10.

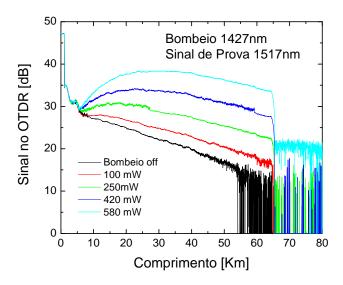


Figura 19 – Curvas obtidas pelo T-OTDR para λ = 1517nm e variação da potência de bombeio

Agora no mesmo enlace, para um valor de potência de bombeio (ainda em 1427nm) fixa na entrada da fibra, variamos o comprimento de onda do sinal de prova do T-OTDR. O que mostra a variação do ganho com o λ de sinal. Um aspecto interessante de observarmos é que com o sistema sintonizável é possível medir por exemplo, a perda no WDM de acoplamento de bombeio para o sinal transmitido, porém veremos isso com maiores detalhes mais adiante.

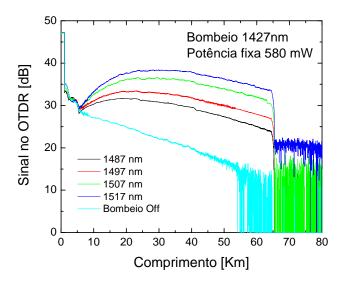


Figura 20 – Curvas obtidas pelo T-OTDR para vários λs e potência de bombeio fixa

3.4. Medidas para enlaces com bombeio remoto

Atualmente estão sendo estudadas е talvez até configurações de amplificador Raman com bombeio remoto. Esta configuração é aplicada em enlaces de fibra onde não se deseja ou não é possível à construção de um "site" para abrigar um amplificador óptico como, por exemplo, em um enlace submarino. Dado que esta é uma solução para o problema descrito acima, resolvemos então estudar melhor a distribuição do ganho Raman nesta configuração com nosso sistema. Para tal observação emulamos um enlace com um bombeio local e um bombeio remoto, conforme figura 21, e variamos o comprimento de onda do sinal de prova sempre para uma mesma fonte de bombeio em 1427nm.

O bombeio remoto consiste basicamente em levar juntamente com a fibra de sinal uma outra fibra com um bombeio e em um determinado ponto do enlace, por exemplo dentro de uma caixa de emenda, acopla-se em uma só fibra o sinal e o bombeio através de um WDM, como se faz normalmente.

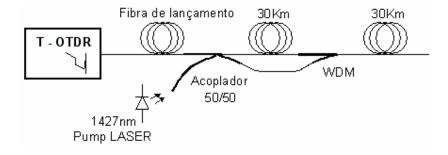


Fig. 21 – Esquema montado para emulação de enlace de 60Km com aplicação de bombeio local e remoto.

A análise no T-OTDR foi feita para a configuração de bombeio local e local mais remota, em ambas as situações observamos diversas potências de bombeio. Antes das figuras com as curvas de interesse escolhemos uma ilustração com duas curvas, uma sem bombeio e outra com bombeio de potência intermediária para apresentar os eventos do enlace como as emendas, as perdas nos acopladores WDM e a queda do sinal no final da fibra. Nas demais figuras, estão especificados apenas o λ de sinal de prova e as potências de bombeio para cada par (bombeio local e local mais remoto).

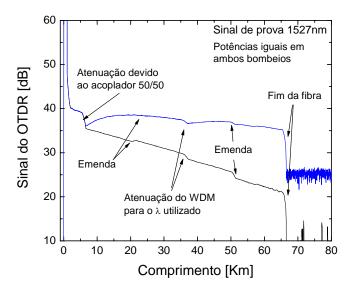


Figura 22 – Curvas com e sem bombeio, do enlace a ser estudado, com indicações dos eventos.

Abaixo temos as curvas para o sinal de prova de 1527nm variando a potência de bombeio apenas com o bombeio local.

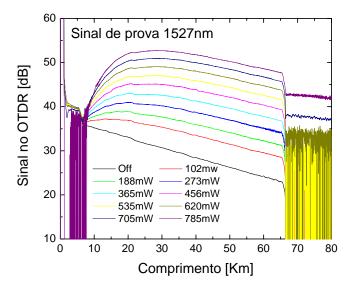


Figura 23 – Curvas feitas pelo T-OTDR para diversas potências de bombeio local e sinal de prova em 1527nm.

Com a configuração de bombeio local juntamente com o bombeio remoto também para o sinal de prova de 1527nm, variando a potência de bombeio as

obtivemos as curvas abaixo. É importante observar que as potências são as mesmas para o bombeio local e para o remoto.

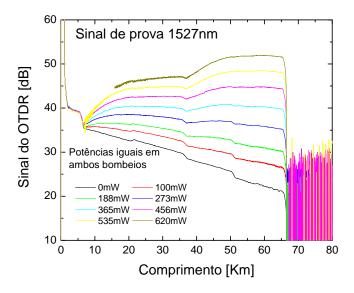


Figura 24 – Curvas feitas pelo T-OTDR para diversas potências de bombeio local + remoto e sinal de prova em 1527nm.

Na figura 25 são apresentadas as curvas de ganho para sinal de prova em 1537nm e variações de bombeio. Na seqüência, figura 26, temos o ganho distribuído para o sinal de prova de 1537nm na configuração de bombeio local mais remoto.

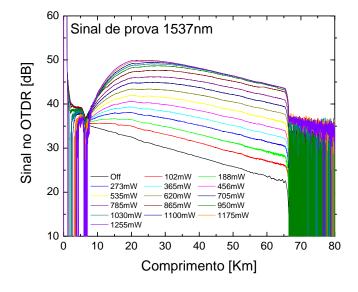


Figura 25 – Curvas feitas pelo T-OTDR para diversas potências de bombeio local e sinal de prova em 1537nm.

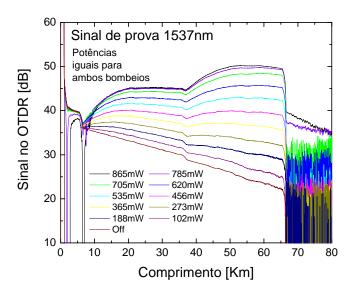


Figura 26 – Curvas feitas pelo T-OTDR para diversas potências de bombeio local + remoto e sinal de prova em 1537nm.

Em seguida a mesma seqüência apresentada anteriormente para o sinal de prova de 1547nm.

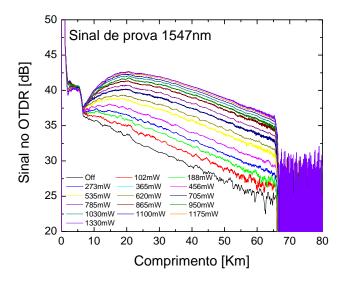


Figura 27 – Curvas feitas pelo T-OTDR para diversas potências de bombeio local e sinal de prova em 1547nm.

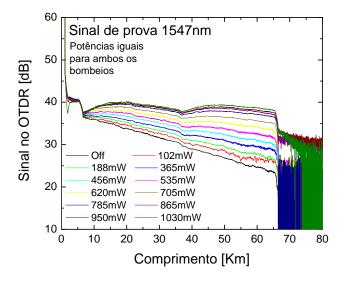


Figura 28 – Curvas feitas pelo T-OTDR para diversas potências de bombeio local + remoto e sinal de prova em 1547nm.

Com essas curvas podemos observar mais uma vez a eficiência do bombeio de 1427nm para os três sinais de prova em questão (1527nm, 1537nm e 1547nm) e como esperávamos a eficiência é maior em 1527nm. É interessante observar que temos uma diferença no ganho para os dois casos com as mesmas potências de bombeio totais até um certo limite, obviamente foi levada em consideração a perda de sinal de prova no WDM do bombeio remoto (~3dBm), isso se dá devido à característica da amplificação Raman surgir de um efeito não linear.

Porém o fato mais importante desta observação é verificar que podemos distribuir o bombeio para termos um mesmo ganho ao fim do enlace sem a ocorrência de potências de sinal muito altas no inicio do enlace. Tais elevações de potência, sem dúvida dão margem a outros efeitos não lineares indesejados, como o SPM, que podem tirar o canal de funcionamento. Já a vantagem do bombeio remoto, é que como observamos, ele distribui mais a potência ao longo da fibra, não se concentrando apenas no inicio, permitindo possivelmente a transmissão do sinal com maior relação sinal ruído.

3.5. Medidas para bombeio duplo "co e contrapropagante"

Além do bombeio remoto, uma outra solução muito estudada que também é utilizada, é a configuração do bombeio copropagante juntamente com um bombeio contrapropagante. Em relação ao método do bombeio remoto existem algumas vantagens e desvantagens, vamos a elas.

Vantagens: não necessita da disponibilizarão de fibra para o bombeio óptico, os acoplamentos de sinal e bombeio são feitos geralmente nos "sites" o que possibilita um controle e manutenção mais viável, o bombeio contrapropagante adiciona menor ruído no sinal a ser transmitido, e por fim o bombeio contrapropagante na chegada do sinal funciona como um pré-amplificador de recepção.

Desvantagens: As potências de sinal no inicio da fibra podem ficar excessivamente altas, custo maior devido ao fato de ter que se utilizar dois LASERs de bombeio, ao passo que no bombeio remoto pode-se utilizar apenas um LASER de maior potência conforme esquema mostrado anteriormente, e finalmente as distâncias atingidas são menores do que as com o bombeio remoto, pois o sinal pode cair a um nível próximo ao ruído ficando sem recuperação, ao contrário do bombeio remoto que podemos amplificar o sinal no ponto que desejarmos.

Para o estudo de tal configuração com o nosso sistema de T-OTDR montamos o esquema apresentado na figura 29.

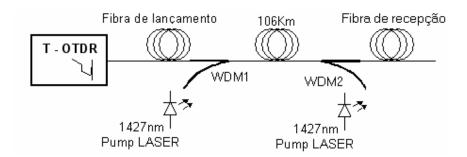


Figura 29 – Montagem do enlace com bombeios copropagante e contrapropagante.

O T-OTDR é montado em uma ponta do enlace onde o sinal passa por uma fibra de lançamento de 20Km e se acopla ao bombeio através do primeiro WDM onde é entram no enlace propriamente dito que é uma fibra de 106Km. Um segundo WDM é colocado ao fim do enlace para acoplar o bombeio contrapropagante e

finalmente o sinal passa através de uma fibra de recepção de 9Km. Esta fibra de recepção foi colocada para observarmos a perda inserida pelo WDM do bombeio contrapropagante. Como o WDM foi projetado para ter o ponto de operação ótima em 1527nm, podemos ver as perdas aumentando ao passo que nos afastamos deste comprimento de onda 30 e 31. Esta informação é muito importante para o estudo e projeto de sistemas multicanal, e com uso da técnica de T-OTDR podemos aferir um sistema deste tipo após sua instalação.

Um aspecto muito importante de se ressaltar neste trabalho é que para esta configuração temos uma fibra de lançamento de 20Km, mais o enlace de 106Km e uma fibra de recepção de 9Km totalizando um comprimento de 135Km, este comprimento é sem dúvida o maior comprimento já observado com a técnica de T-OTDR até a publicação do nosso trabalho em 2004 [5] onde este tópico foi apresentado como recorde mundial de observação em fibras com T-OTDR. Até então os maiores comprimentos de amplificação Raman distribuída observados foram feitos por D. M. Spirit e L. C. Blank no ano de 1989, e com apenas um comprimento de onda de prova. Outros autores também já tiveram sucesso na observação com o T-OTDR, porém com distâncias muito menores das obtidas por D. M. Spirit e L. C. Blank e as que aqui foram reportadas.

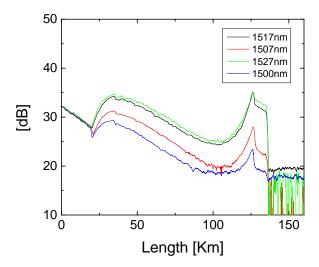


Figura 30 – Curvas obtidas pelo T-OTDR para sistema com bombeios copropagante e contrapropagante. Recorde mundial de distância observada com a técnica.

Utilizando os dados fornecidos pelo fabricante (adicionado a uma estimativa de perda em emendas) e confrontando com as perdas observadas pelo T-OTDR para as três curvas de maior potência, obtivemos o gráfico abaixo.

A reta representa a igualdade ideal entre as medidas. Note que a perda no WDM para o comprimento de onda de 1500nm não foi considerada porque a fibra de lançamento já se confunde com o ruído de fundo do sistema. No entanto os demais pontos mostrados apresentam uma precisão com no máximo 10% de erro.

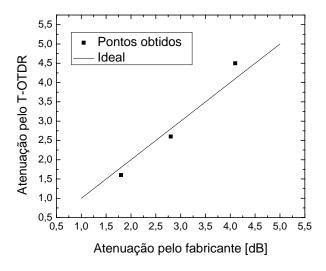


Figura 31 – Comparação da atenuação do WDM vista pelo T-OTDR a do fabricante.

Outra questão importante a se observar é a diferença metodológica de observação entre este trabalho e a maioria dos outros, pois neste a observação experimental mostra-se mais similar a realidade acontecida nos enlaces de transmissão óptica pois como já foi descrito o bombeio é mantido constante e o sinal de *probe* é pulsado, enquanto na maioria dos trabalhos até então publicados o sinal de observação era mantido constante e pulsava-se o bombeio.

3.6. Depleção do ganho Raman

A evolução das potências da luz de sinal e de bombeio são regidas pelo par de equações diferenciais (1.6.2) ligadas pelo termo de ganho Raman. Desprezando a depleção de ganho (γs<<αp) podemos aproximar a intensidade de bombeio por uma equação de decaimento exponencial simples (em dB) e a intensidade do sinal por uma equação de crescimento exponencial simples. A potência do bombeio de entrada define o ganho máximo, e sua constante de atenuação, o crescimento exponencial. O ganho é o mesmo para o sinal

propagante e o sinal retroespalhado. O OTDR então fornece as constantes de decaimento do bombeio e do sinal, e o ajuste do traço do ganho on-off no OTDR, a eficiência Raman $\gamma = g/A_{eff}$ como na figura 32.

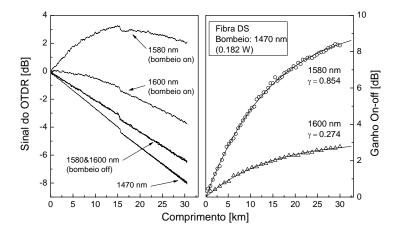


Figura 32 – Ganho on-off e ajustes teóricos (linhas) obtidos dos traços do OTDR na banda L.

Nota-se que apesar das duas fibras fundidas terem diferentes aberturas numéricas, nenhuma diferença foi observada nas suas eficiências de ganho Raman. Os traços dos ganhos on-off não mostram uma descontinuidade na inclinação da curva.

As eficiências de ganho Raman obtidas para diferentes bombeios e comprimentos de onda de sinal são apresentados na tabela 1.

∆f (THz)	12.47	13.77	14.21	15.05	16.08
Pump (nm)	1427	1427	1470	1427	1470
Probe (nm)	1517	1527	1580	1537	1600
γ (W km) ⁻¹	0.81	0.79	0.85	0.81	0.27

À medida que os níveis de sinal e bombeio aumentam, a depleção não pode mais ser ignorada. O sinal de bombeio será exaurido mais rapidamente do que em baixas potências, gerando uma constante efetiva de decaimento menor do que na realidade. Isto encontra-se na figura 33, que claramente mostra do coeficiente efetivo de atenuação do bombeio, obtido pelo ajuste do ganho on-off por um simples crescimento exponencial.

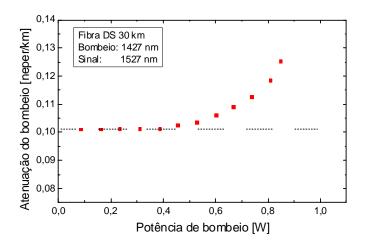


Figura 33 – Atenuação da potência de bombeio dada pelo ajuste do crescimento exponencial do ganho on-off mostra o efeito da depleção.

Para potências de bombeio até 0.5 W, a constante de atenuação se mantém inalterada, aumentando à medida que a depleção do ganho aumenta. Não podemos mais considerar que o traço de OTDR observado representa corretamente o sinal co-propagante, porque o bombeio é depletado para o sinal mas não para a luz retroespalhada. Então o traço será a média entre os ganhos do sinal depletado e do retroespalhado.

A figura 34 ilustra essa característica. Aqui o ganho do traço foi ajustado ao crescimento exponencial a uma potência que corresponde a uma depleção não mensurável como relatado na figura 33. Então o traço do ganho de alta potência não depletado é obtido com os mesmos parâmetros e a nova potência de bombeio, aqui mostrado pela curva pontilhada mais acima no traço superior. O ganho real é 2 dB abaixo da medida de OTDR.

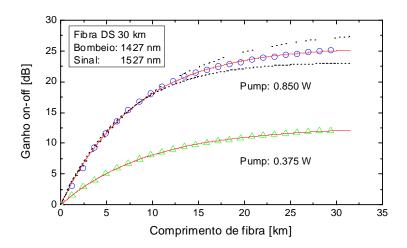


Figura 34 – Depleção do ganho visto pelo OTDR e ajuste do traço inferior pontilhado mostra o ganho real.

Fazendo a simulação utilizando o par de equações 1.6.2 obtivemos as curvas mostradas na figura 35a e 35b.

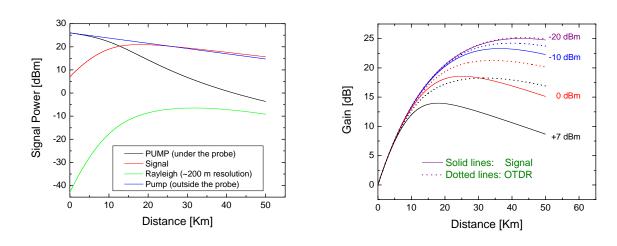


Figura 35a e 35b – Curvas obtidas a partir da resolução numérica das equações 1.6.2.

Utilizando a montagem da figura 10 com uma variação na potência de sinal podemos comprovar o que foi verificado anteriormente na simulação conforme mostrado nos traços do OTDR na figura 36.

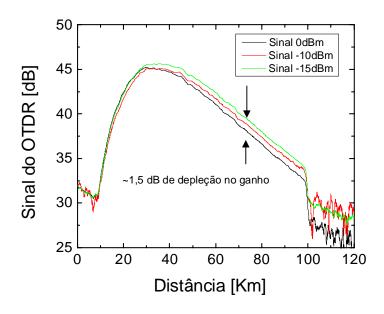


Figura 36 – Curvas obtidas pelo OTDR com variação de potência do sinal.

3.7. Observação e análise do duplo espalhamento Rayleigh

Quando estamos utilizando um OTDR comum em uma fibra sem bombeio é comum nos depararmos com ecos das reflexões de Fresnel após o fim efetivo da fibra, e até mesmo eco do próprio retroespalhamneto quando colocamos uma potência muito alta do sinal de prova (pulso muito largo no OTDR para uma fibra de pequeno comprimento). No entanto quando temos um sistema de amplificação Raman como os aqui abordados, o sinal retroespalhado também sofre um ganho, onde neste caso e deixa para traz uma parcela também retroespalhada, porém agora no sentido do sinal à ser transmitido que mais uma vez é amplificado, por sua vez este sinal deixa mais vez uma parcela retroespalhada. A estes conjuntos de sinais damos o nome de Rayleigh Backscatter para o primeiro retro espalhamento, triplo Rayleigh Backscatter para o segundo retroespalhamento na direção do OTDR e quíntuplo Rayleigh Backscatter para o terceiro retroespalhamento na direção do OTDR. Para facilitar a compreensão apresentamos a ilustração abaixo.

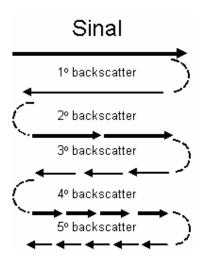


Figura 37 – Ilustração do sinal e retroespalhamentos dentro da fibra

Estes sinais retroespalhados aumentam o ruído na transmissão deteriorando a SNR. De posse do OTDR montado em um enlace de amplificação Raman com bombeio suficiente é possível observar e estudar o crescimento dos sinais retroespalhados. Diante de várias curvas obtidas, escolhemos apresentar aqui o melhor conjunto que representasse este efeito.

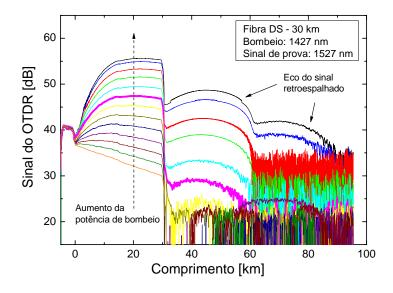


Figura 38 – Curvas do T-OTDR para diversas potências de bombeio mostrando os ecos.

Como podemos observar o segundo retroespalhamento observado pelo T-OTDR (na verdade o terceiro dentro da fibra) cresce duas vezes mais rápido

do que o primeiro isso se dá porque ele faz o dobro do caminho do primeiro, obtendo assim aproximadamente o dobro do ganho. Já o terceiro retroespalhamento observado pelo OTDR (quinto dentro da fibra) cresce três vezes mais rápido que o primeiro, agora porque este percorre três vezes mais o comprimento de fibra bombeada do que o primeiro. Podemos observar por exemplo que para a diferença de ganho entre as primeira e segunda curvas de maior sinal temos uma diferença de ganho no primeiro Rayleigh de 0.7dB, 2.1dB no segundo Rayleigh e 2.87dB no terceiro. Estando exatamente nas proporções citadas anteriormente.

Uma informação muito importante que tais gráficos nos mostram, é que para muitas das potências de bombeio utilizadas temos o sinal do terceiro Rayleigh muito maior do que o sinal logo no início da fibra, o que quer dizer que teremos um nível de ruído muitíssimo elevado no detector chegando junto com o sinal de interesse no caso de uma transmissão de dados. Então é importante observamos este aspecto juntamente com o ruído gerado pelo SPM para potências de bombeio muito elevadas utilizadas nos enlaces.

Contudo uma dúvida pertinente apareceu ao verificarmos tamanha intensidade do sinal do eco. Seria mesmo um sinal puro de retroespalhamento Rayleigh amplificado ou alguma reflexão nos componentes utilizados poderia mascarar nossa medida? Um sinal proveniente da perda de retorno em algum dispositivo poderia voltar e se confundir com o Rayleigh? Para isso levantamos no circuito óptico utilizado os pontos onde poderiam haver perdas de retorno influenciando a medida. Estes pontos estão no circulador óptico de saída e retorno do sinal de prova, e internamente no LASER Raman utilizado, figura 39.

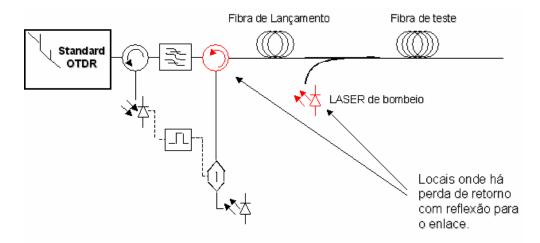


Figura 39 – Ilustração do sistema apontando a pontos com perdas de retorno com reflexões voltadas para o enlace.

Uma curva do LASER Raman por dentro com uma pequena fibra de lançamento na entrada de 2000m é obtida com o OTDR em seu comprimento de onda convencional de 1550nm. Como podemos observar na analise feita com o OTDR no LASER de bombeio uma perda de retorno elevada nos acoplamentos internos do LASER Raman de bombeio.

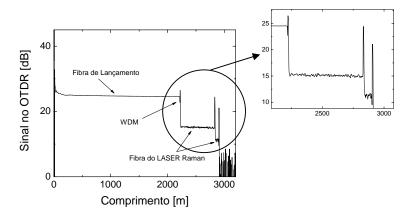


Figura 40 – Traço do OTDR mostrando pontos com perda de retorno a serem avaliados.

Para solucionar esta dúvida resolvemos fazer uma montagem que nos permitisse analisar melhor o efeito das reflexões no circuito amplificado. Entre o LASER de bombeio e o WDM foram colocados atenuadores seletivos em comprimento de onda, estes atenuadores são bobinas de fibra com pequenos diâmetros para aumentar a atenuação do sinal de prova utilizado com um mínimo de perda no sinal de bombeio conforme calibração mostrada na figura 41.

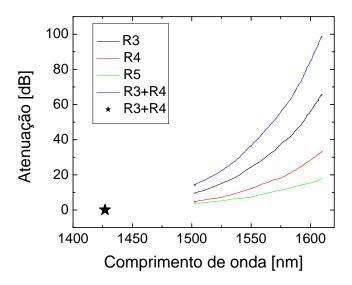


Figura 41 – Curva de atenuação dos rolinhos utilizados como atenuadores seletivos.

Contudo não foi possível obter zero de perda no comprimento de onda do bombeio, mas uma perda mais expressiva no sinal foi verificada para os pequenos rolos de fibra. Usamos então rolos com diferença de atenuação entre o comprimento de onda de bombeio e o comprimento de onda do sinal com valores de 4,73dB, 12,73dB e 19,18dB e as curvas abaixo foram obtidas.

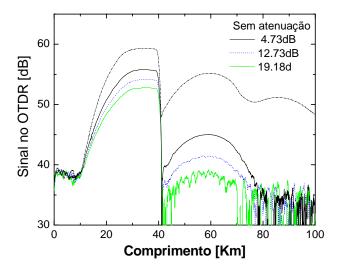
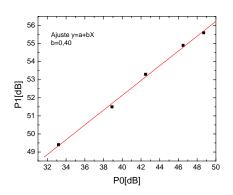


Figura 42 – Curvas da amplificação no enlace obtidas pelo T-OTDR para atenuação do sinal de retorno (e bombeio) no LASER Raman.

Fazendo uma análise entre a diferença dos ganhos, pontos mostrados na figura 43 onde o primeiro gráfico mostra a relação entre os máximos do primeiro Rayleigh P0 e do segundo Rayleigh P1 para as curvas da figura 38 onde existe apenas variação de bombeio. Já o segundo gráfico mostra a mesma relação para as curvas da figura 42 onde além do bombeio o Fresnel também pode ser atenuado. Podemos observar que o ajuste feito para ambos os gráficos tem os mesmos valores para a inclinação das retas, o que nos permite agora afirmar com maior convicção que a razão do eco visto no OTDR é sem dúvida apenas devido ao triplo Rayleigh Backscatter amplificado na fibra.



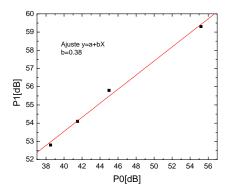


Figura 43 – Relações entre atenuação entre o ponto máximo do primeiro Rayleigh P0 e do segundo Rayleigh P1.

Uma estudo da determinação deste tipo de retroespalhamento foi discutido por J. Park et al. em [26]