



Universidade Federal
de Campina Grande

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Centro de Engenharia Elétrica e Informática - CEEI
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE

RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO
IDEA! SISTEMAS ELETRÔNICOS

Wender Gonçalves Daniel

Campina Grande - PB
22 de setembro de 2020

Wender Gonçalves Daniel

RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO
IDEA! SISTEMAS ELETRÔNICOS

Relatório de estágio integrado submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

Orientador: Prof. Adolfo Fernandes Herbster, D.Sc.

Supervisor: Flávio Borin

Campina Grande - PB

22 de setembro de 2020

Wender Gonçalves Daniel

RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO
IDEA! SISTEMAS ELETRÔNICOS

Relatório de estágio integrado submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Prof. Adolfo Fernandes Herbster, D.Sc.

Campina Grande - PB

22 de setembro de 2020

Sumário

Lista de Figuras	i
Resumo	iv
Abstract	v
1 Introdução	1
2 Fundamentação Teórica	4
2.1 <i>Packaging</i> Fotônico	4
2.2 Alinhamento Passivo e Ativo	5
2.2.1 Alinhamento Passivo	5
2.2.2 <i>Flip Chip</i>	5
2.2.3 Alinhamento Ativo	7
2.3 Colagens e Soldas	8
2.3.1 <i>Wire Bonding</i>	9
2.4 Colimação de Feixe Óptico	11
2.5 Lasers	12
2.5.1 Lasers de Cavidade Externa	14
2.6 Sistemas de Comunicações Ópticas	15
2.6.1 Transmissores, Canal e Receptores	16
2.6.2 Sistemas de Comunicações Ópticas Coerentes	17

3	Atividades Desenvolvidas	19
3.1	Desenvolvimento de Processos de <i>Pick and Place</i>	19
3.2	Automatização de Processos de Colagem com Epoxies	21
3.3	Testes de Lasers	24
3.3.1	Teste dos Componentes	24
3.3.2	Testes Ópticos e Calibração	25
3.3.3	Algoritmo de Alinhamento dos Étalons	26
3.3.4	Testes dos Limites de Operação	28
3.4	Análise de Problemas e Falhas	29
4	Conclusões	31
	Referências Bibliográficas	32

Lista de Figuras

1.1	Logomarca da <i>Idea! Electronic Systems</i>	2
1.2	Parceiros da <i>Idea! Electronic Systems</i>	2
2.1	<i>Pick and Place</i> de um Componente Fotônico.	6
2.2	<i>Flip-Chip</i> de um Componente Fotônico.	7
2.3	Colagem com <i>Epoxy</i>	9
2.4	Exemplo de Solda de Dispositivo Optoeletrônico.	10
2.5	Solda de Fio dos Tipos <i>Ball Bonding</i> e <i>Wedge Bonding</i>	11
2.6	Colimação de Feixe na Fibra Óptica.	12
2.7	Perfis de Feixe Colimado Monomodo (Esquerda) e Multimodo (Direita).	13
2.8	Componentes Montados em uma Cavidade Externa.	14
2.9	Espectro de Transmissão de Étalons com diferentes FSR.	15
2.10	Transmissor e Receptor Óptico.	17
2.11	Sistema Óptico Coerente.	18
3.1	Máquina de <i>Pick and Place</i> Manual e Solda.	20
3.2	Peça Mecânica com Vários TECs.	21
3.3	Robô <i>Dispenser</i>	22
3.4	<i>Dispenser</i> de Fluido.	23
3.5	Testes dos Componentes do Laser.	25
3.6	Curva PI e Mudança na Temperatura do <i>Phase Shifter</i>	26
3.7	Temperatura dos Étalons Durante o Alinhamento do Espectro.	27
3.8	Evolução da Potência de Saída no PSO.	28
3.9	Temperatura do Laser e Potência Interna em Função do Tempo.	29

”O correr da vida embrulha
tudo. A vida é assim: esquenta
e esfria, aperta e daí afrouxa,
sossega e depois desinquieta. O
que ela quer da gente é
coragem”

Guimarães Rosa

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a meu pai Marinaldo Alves Daniel, minha mãe Marcia Maria Gonçalves Daniel e meu irmão Wesley Gonçalves Daniel. Agradeço também a todos da minha família que em diferentes momentos me ajudaram durante os quase 5 anos da graduação. Em especial, agradeço a minha tia Maria Aparecida, sem a qual o estágio não teria acontecido.

Agradeço aos professores e colegas da UFCG, com os quais mantive relações de respeito e que fizeram a graduação ser menos exaustiva. Dentre eles destaco o professor Adolfo Fernandes Herbster com quem cursei 4 disciplinas e que me orientou neste trabalho e no projeto de engenharia.

Agradeço a todo o pessoal da *Idea! Electronic Systems* que me recebeu de braços abertos e que nunca hesitou em me ajudar, principalmente o pessoal de desenvolvimento e *packaging* do grupo de fotônica e o grupo de engenharia de produtos, com os quais tenho mais proximidade.

Resumo

O projeto, a fabricação e a execução de testes em lasers são etapas indispensáveis para que se desenvolva um produto confiável e para que este seja competitivo no mercado de dispositivos optoeletrônicos. Neste relatório, são apresentadas os conhecimentos adquiridos e as atividades desenvolvidas no estágio integrado na *Idea! Electronic Systems*. Atividades compostas pela execução e desenvolvimento de processos de *packaging* aplicado à lasers de cavidade externa, assim como a execução de testes de diferentes tipos nos lasers produzidos pela *Idea!*

Palavras-chave: Lasers, dispositivos optoeletrônicos, *packaging*, testes, *Idea! Electronic Systems*.

Abstract

The design, fabrication, and tests are indispensable steps in the development of reliable lasers and for the introduction of this product in the optoelectronic devices market. In this report, the acquired knowledge and the developed activities in the integrated internship in Idea! Electronic Systems, are presented. The activities consist of the execution and development of the packaging process of external cavity lasers, and also the execution of different types of tests in lasers developed by Idea!.

Keywords: lasers, optoelectronic devices, packaging, tests, Idea! Electronic Systems.

Capítulo 1

Introdução

Em todos os processos envolvidos no desenvolvimento e na fabricação de um produto optoeletrônico, uma grande quantidade de conhecimento em várias áreas deve ser aplicado, dadas as complexidades dos produtos dessa natureza. Em particular, os lasers sintonizáveis de cavidade externa são dispositivos dos sistemas ópticos de comunicações que impõem grandes desafios às empresas que objetivam produzi-los.

Fazer parte de um grupo de profissionais que atuam no desenvolvimento de dispositivos e sistemas fotônicos, é uma grande oportunidade para aplicar os conhecimentos adquiridos durante um curso de engenharia e ao mesmo tempo aprender diversas outras coisas, as quais são características de um ambiente profissional e que complementam a formação acadêmica.

Este trabalho no formato de um relatório se destina a descrever parte do conhecimento e das atividades realizadas no estágio integrado na área de fotônica da empresa *Idea! Electronic Systems*. A *Idea!* é uma empresa de serviços nas áreas de fotônica e microeletrônica, que desenvolve produtos e IPs (*Intellectual Properties*) direcionados à sistemas de comunicações ópticos de alta velocidade. A *Idea!* tem sede na cidade de Campinas-SP e conta com um time altamente capacitado em fotônica, microeletrônica e engenharia de produtos.

Figura 1.1: Logomarca da *Idea! Electronic Systems*.

Fonte: <https://www.idea-ip.com>

A *Idea!* possui muitas parcerias com outras empresas, institutos e universidades que agregam conhecimento e estrutura, aumentando capacidade de desenvolvimento da *Idea!*. A Fig. 1.2 mostra os parceiros da *Idea!*.

Figura 1.2: Parceiros da *Idea! Electronic Systems*.

Fonte: <https://www.idea-ip.com/partners/>

O trabalho é dividido em 4 Capítulos. No Capítulo 2, é apresentada a teoria relacionada às atividades executadas no estágio. Na sequência, o Capítulo 3 descreve as atividades. Encerrando, o Capítulo 4 trás algumas conclusões a respeito do estágio.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 *Packaging* Fotônico

O *packaging* de dispositivos fotônicos é um processo composto por várias etapas. No início do projeto de um dispositivo, a definição dos componentes e como são arranjados dentro de uma cápsula depende das especificações do produto ou protótipo de modo a satisfazer às demandas de desempenho e integração dos clientes. Para se encontrar o *design* mais adequado para o dispositivo, testes e simulações devem ser feitas, de modo que a operação seja assegurada e a montagem não seja dispendiosa. Portanto, o projeto deve prever formas de se realizar as montagens e também as interfaces óptica e elétrica para a realização de testes.

Em termos de montagem (*assembly*), os dispositivos fotônicos são fabricados seguindo uma sequência rigorosa de passos e métodos, definidos de acordo com a natureza do componente, dos equipamentos de montagem disponíveis e da quantidades de amostras a serem montadas. Alguns dos processos mais importantes são os cortes de *wafers*, alinhamento passivo e ativo de componentes, colagem com *epoxy*, processos de solda, *wire-bond* e selagem. Cada processo com suas especificidades e desafios, dadas as condições adversas que o dispositivo deve suportar em operação e que deve permanecer em funcio-

namento por décadas (FISCHER-HIRCHERT, 2015).

2.2 Alinhamento Passivo e Ativo

A montagem de componentes fotônicos é uma tarefa desafiadora pois requer muita precisão no posicionamento das partes de dimensões pequenas. Em dispositivos como lasers que trabalham com feixe óptico colimado, erros de apenas alguns microns ocasionam perdas consideráveis de potência óptica. Assim, para o posicionamento de componentes fotônicos existem basicamente duas técnicas principais, o alinhamento passivo e o ativo.

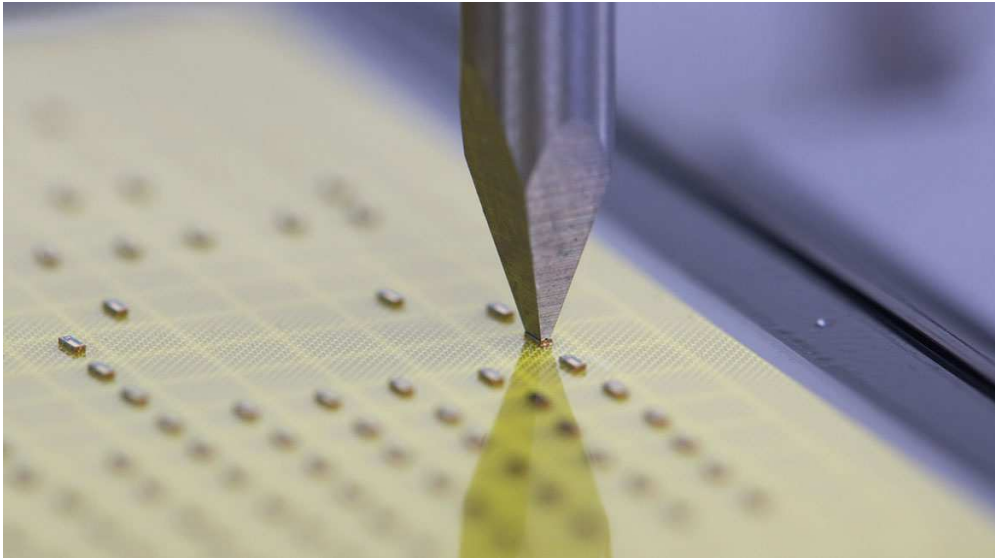
2.2.1 Alinhamento Passivo

O alinhamento passivo consiste em ajustar a posição de uma parte do dispositivo às marcas pré determinadas no conjunto. É o tipo de alinhamento mais rápido e aplicado a casos em que não é necessária uma grande precisão, como na fixação de *spacers* da cavidade de lasers, na qual erros de até $50 \mu m$ são tolerados. Para a execução desse tipo de tarefa são usadas máquinas de *pick and place*, automáticas ou manuais, que possibilitam o ajuste em 3 ou mais eixos e geralmente são dotadas de pontas de vácuo ou pinças para pegar os componentes, como é ilustrado na Fig. 2.1, na qual se tem a ideia da dimensão dos componentes fotônicos.

No *pick and place* manual o operador faz o alinhamento de acordo com sua visão no microscópio ou em câmeras associadas à máquina. Já o processo automático pode ser feito se utilizando de técnicas como reconhecimento de imagens.

2.2.2 *Flip Chip*

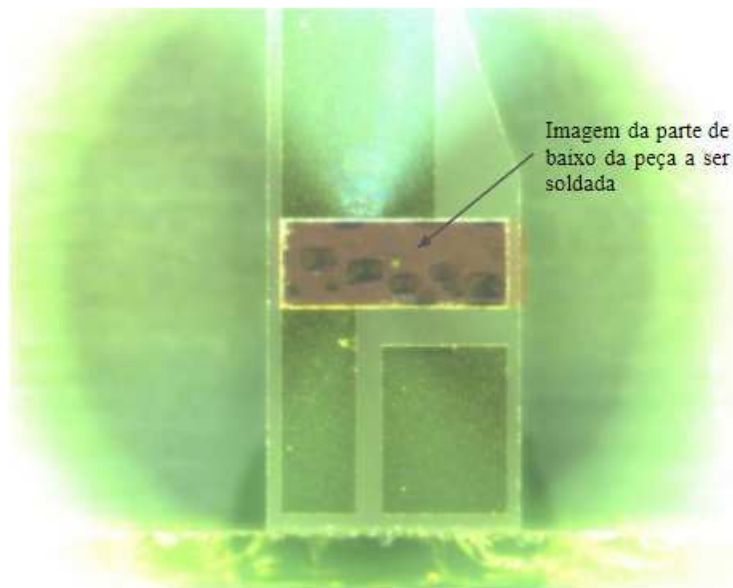
O *flip chip* é um processo de alinhamento e solda de chips em dispositivos eletrônicos e ópticos, no qual chips com solda depositada em seus terminais

Figura 2.1: *Pick and Place* de um Componente Fotônico.

Fonte: <https://www.ficontec.com/photonic-device-assembly/>

da superfície superior, muitas vezes na forma de *bumps*, são rotacionados e alinhados aos *pads* das trilhas do dispositivo ao qual o chip está sendo soldado.

Em dispositivos fotônicos o *flip chip* pode ser usado tanto para solda de chips como para o alinhamento passivo de componentes colados. Nos processos de solda para os dispositivos fotônicos, como será explicado na seção 2.3, a redução dos contaminantes é preferencialmente feita com hidrogênio ao invés de fluxo (FISCHER-HIRCHERT, 2015). No alinhamento usando *flip chip*, duas câmeras permitem a visão sobreposta dos *pads* ou das marcações e da superfície do chip ou componente a ser fixado, de forma que o alinhamento é feito de forma extremamente precisa. A Fig. 2.2 ilustra o processo de alinhamento.

Figura 2.2: *Flip-Chip* de um Componente Fotônico.

Fonte: *Idea! Electronic Systems*

2.2.3 Alinhamento Ativo

Os alinhamentos ativos são alinhamentos que utilizam sinais de *feedback* (FRID, 2018), geralmente potência óptica, para encontrar a posição do componente a ser fixado, de forma a maximizar o sinal monitorado. Esse tipo de procedimento é mais demorado que o alinhamento passivo e é usado quando se necessita de alta precisão e quando não se tem uma posição definida para o componente alinhado. Os alinhamentos ativos são realizados em máquinas automáticas, geralmente dotadas movimento em 6 eixos (x , y , z , θ_x , θ_y e θ_z), nas quais são implementados algoritmos de otimização. Os alinhamentos ativos são usados em processos de colimação de feixe óptico e de fechamento de cavidade de lasers, por exemplo.

2.3 Colagens e Soldas

Colagens e soldas são processos recorrentes de fixação de componentes ópticos na indústria, cada um com suas características e aplicações.

As colagens no *packaging* fotônico são feitas usando-se resinas especiais conhecidas como epoxies. As epoxies caracterizam-se por suportarem elevadas temperaturas após curadas e principalmente por apresentarem pouca dilatação térmica, permitindo a operação dos dispositivos em condições adversas, sem perda de potência ou eficiência. As características das colas usadas na fotônica dependem do componente ao qual serão aplicadas, e parâmetros importantes a serem considerados são a viscosidade, o ponto Tg (*Glass Transition*), o coeficiente de expansão térmica e a condutividade térmica (KASAP; CAPPER, 2017).

As epoxies podem ser usadas em componentes metálicos e em vidros, assim como em selagens e para se fazer condução elétrica entre componentes e trilhas. O processo de cura varia de *epoxy* para *epoxy*, sendo mais comuns a cura por luz ultravioleta e a cura térmica, sendo os perfis de cura definidos de acordo com a montagem. Um fator muito importante da colagem com *epoxy* é a limpeza das superfícies a serem coladas. A limpeza deve ser a maior possível, de modo que os componentes não venham a se soltar durante a operação. A Fig. 2.3 mostra o exemplo de uma cura de um componente dentro da cápsula do dispositivo fotônico.

As partes ativas de um dispositivo fotônico, como os TECs (*Thermo-Electric Cooler*) e os *gain chips* de lasers, assim como componentes que necessitam bom contato térmico, a exemplo dos termistores, devem ser fixados por meio de solda. As soldas garantem boa dissipação térmica dos componentes para a cápsula, a qual perde calor para o *heat sink*. As soldas também conferem estabilidade mecânica às montagens, minimizando problemas como o desalinhamento óptico proveniente de stress mecânico.

Os materiais mais utilizados nas soldas de componentes optoeletrônicos são *In*, *Sn* e as ligas *Sn/Pb* e *Au/Sn*, na forma de pasta ou pre-formas.

Figura 2.3: Colagem com *Epoxy*.

Fonte: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=19245>

Cuidados devem ser tomados para que não se contamine sua montagem com os resíduos oriundos das soldas, de mesma forma, deve-se evitar a oxidação e garantir o molhamento da solda utilizando-se gases ou fluxos e um perfil de aquecimento adequado.

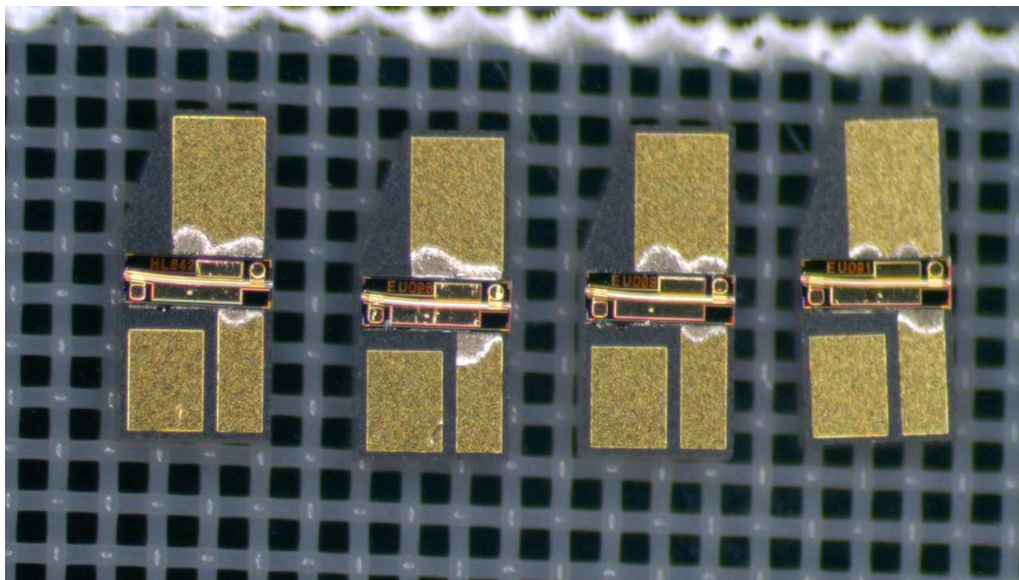
Outros fatores importantes nas soldas é a diferença do coeficiente de expansão térmica das superfícies usadas na soldas e a rugosidade das superfícies. A Fig. 2.4 mostra exemplos de soldas de *gain chip* de lasers em *carriers*.

2.3.1 *Wire Bonding*

Wire bonding (solda de fio) é um das técnicas mais antigas para conectar *pads* de dispositivos fotônicos e consiste, como o nome sugere, em unir os *pads* por meio de fios de diâmetros pequenos, geralmente de 25 μm ou 50 μm , feitos de alumínio ou ouro por serem bons condutores e não se corrompem facilmente.

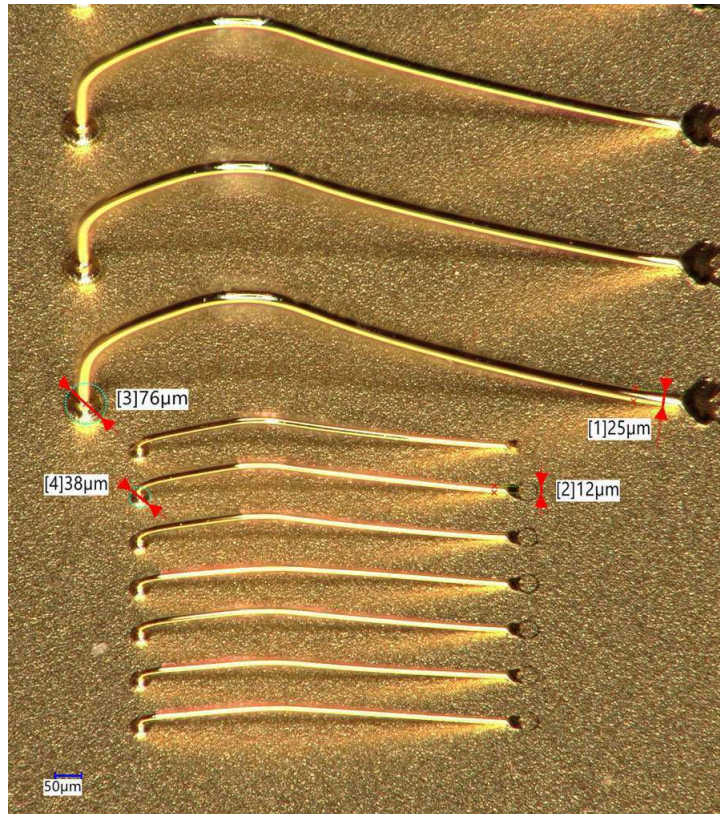
As soldas de fio são classificadas de acordo com a técnica utilizada na

Figura 2.4: Exemplo de Solda de Dispositivo Optoeletrônico.



Fonte: *Idea! Electronic Systems*.

conexão do fio e pelo tipo de energia utilizada para realizar a solda. Quanto à conexão, a solda de fio é classificada como *ball bonding* ou *wedge bonding* (FISCHER-HIRCHERT, 2015). No *ball bonding*, uma pequena bola de solda formada na ponta da ferramenta de solda é usada para fazer o contato com a metalização. Já na *wedge bonding*, o fio é pressionado na metalização até acontecer a fusão. A energia para fundir o fio com a metalização pode ser na forma de calor, energia ultrassônica ou ainda uma combinação das duas. Em aplicações nas quais os *pads* são pequenos ou a separação entre os fios é pequena, assim como em aplicações em rádio frequência, o *wedge bonding* é mais indicado. A Fig. 2.5 mostra uma solda de fio com a combinação dos dois processos.

Figura 2.5: Solda de Fio dos Tipos *Ball Bonding* e *Wire Bonding*.

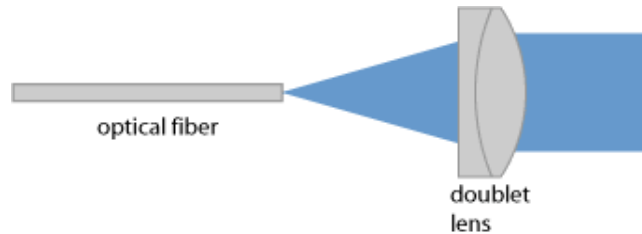
Fonte: <https://www.fsbondtec.at/12-5-gold-ball-wedge/?lang=en>

2.4 Colimação de Feixe Óptico

A divergência de um feixe de luz que sai da face de um *gain chip* de um laser é definida como o aumento do diâmetro do feixe por unidade de distância percorrida pelo feixe. Assim, para se formar uma cavidade externa em um laser, de forma a não se ter grandes perdas de potência, ou para que a luz seja acoplada em uma fibra óptica, o feixe de divergência não nula deve ser colimado (PASCHOTTA, 2020). Colimar um feixe é tornar o diâmetro constante à medida que o feixe se propaga, o que é feito, nos casos mais

simples, com o uso de lentes colimadoras. A Fig. 2.6 mostra a colimação de um feixe em uma fibra.

Figura 2.6: Colimação de Feixe na Fibra Óptica.



Fonte: https://www.rp-photonics.com/collimated_beams.html

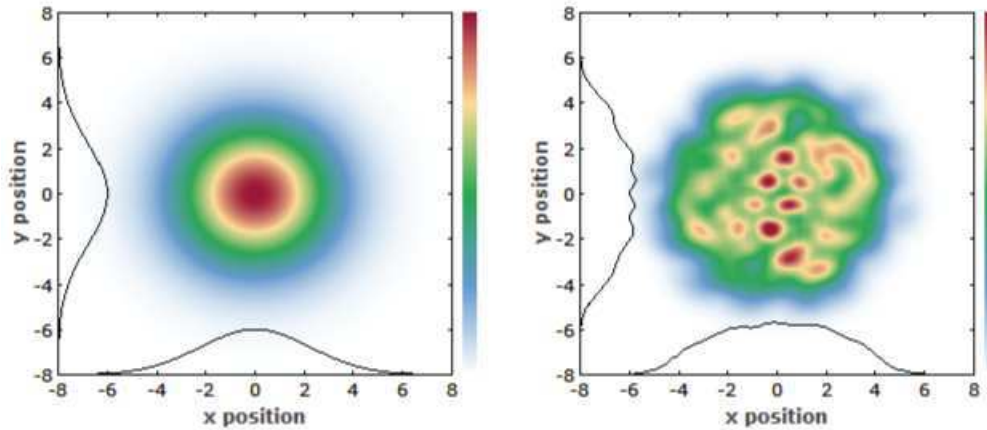
Nos lasers que utilizam feixe colimado propagante no ar, as superfícies pelas quais o feixe passa não podem gerar reflexões, pois estas podem causar perda de potência, mudança no espectro de emissão, instabilidade no controle, entre outros problemas. Portanto, a face dos *gain chips*, a superfície da fibra óptica, as lentes e os outros componentes devem ser dotados de camadas de material antirreflexivo ou *AR coating* (YE, 2004).

Parâmetros como o diâmetro do feixe colimado e a simetria do feixe são importantes indicadores da qualidade da colimação. O perfil transversal de potência dos feixes pode ser obtido utilizando-se um *beam profiler*, de forma a obter resultados semelhantes aos da Fig. 2.7, na qual o perfil de um feixe gaussiano monomodo e de um multimodo são mostrados.

2.5 Lasers

Os lasers são dispositivos capazes de gerar sinais ópticos de forma direcional, por meio de mecanismos de emissão de fótons em comprimentos de onda desejados, tendo como fonte de energia corrente elétrica. A forma com a qual são construídos os lasers, no que diz respeito a materiais e disposição dos componentes, determinam a potência do sinal óptico de saída bem como

Figura 2.7: Perfis de Feixe Colimado Monomodo (Esquerda) e Multimodo (Direita).



Fonte: https://www.rp-photonics.com/beam_profilers.html

a aplicação de cada tipo de laser.

Em uma visão generalista, os lasers são caracterizados por possuírem uma cavidade formada por superfícies parcialmente refletoras, dentro da qual encontra-se um material fotoluminescente responsável pela amplificação das ondas eletromagnéticas que ressoam na cavidade. Nas comunicações ópticas, são utilizados os lasers semicondutores, dadas as dimensões reduzidas e os comprimentos de onda de emissão, que ocasionam as menores perdas na transmissão. A facilidade de fornecer energia ao laser por meio de uma eletrônica simples, assim como a facilidade de modulação e integração em um chip, são outros fatores que justificam o uso dos lasers semicondutores (*Diode Lasers*) em sistemas de comunicação ópticas (MORTHER; VANKWIKELBERGE, 2013).

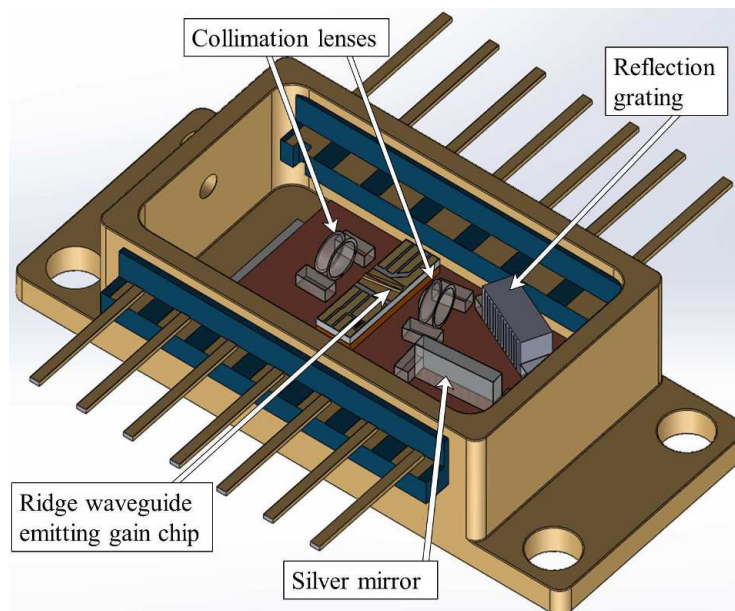
O preço, a pureza espectral, tunabilidade, a potência de saída, a estabilidade em relação à temperatura, entre outras características, determinam a forma como são montados os lasers, ou seja, como são dispostas as partes do laser: *gain chip*, filtros espectrais, isoladores, fibra óptica, seção passiva e

também os processos e materiais usados no *packaging*.

2.5.1 Lasers de Cavidade Externa

O lasers de cavidade externa (LCE) possuem grande comprimento de cavidade, com comprimentos efetivos típicos de 30 mm, para que seja possível incluir componentes ópticos. Duas das vantagens desse tipo de laser são a tunabilidade, de forma que a operação em diferentes comprimento de onda de uma banda é possível, e a pequena largura de linha (*linewidth*) de emissão (PASCHOTTA, 2008). A Fig. 2.8 ilustra a montagem dos componentes de uma cavidade externa em uma cápsula tipo *butterfly*.

Figura 2.8: Componentes Montados em uma Cavidade Externa.



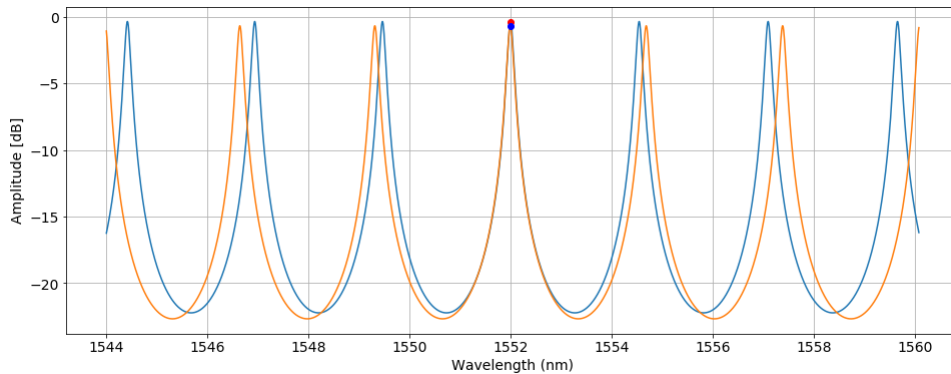
Fonte: (JIMÉNEZ, 2017)

A sintonia de frequência nos LCEs leva vantagem em relação aos lasers monolíticos por permitirem sintonia em uma banda maior, bem como por resultarem em uma pureza espectral maior, de acordo com a comparação

feita por (YE, 2004). A pureza espectral é caracterizada pela largura de linha e pela supressão dos modos laterais no espectro, mais conhecida como SMSR (*Side-Mode Suppression Ratio*). A baixa largura de linha reduz os efeitos da dispersão cromática da propagação em fibras ópticas.

A seleção dos canais de frequência nos ECLs é feita por componentes ópticos ressonantes, que se comportam como filtros, sendo os mais utilizados os étalons, as grades de Bragg e os espelhos sintonizáveis. Também podem ser utilizadas combinações destes elementos na cavidade externa, por exemplo, dois étalons com FSR (*Free Spectral Range*) diferentes, de forma a se ter o efeito Vernier para seleção de frequência. A Fig. 2.9 mostra o espectro da transmissão de dois étalons, em escala logarítmica, sobrepostos.

Figura 2.9: Espectro de Transmissão de Étalons com diferentes FSR.



Fonte: Próprio Autor

2.6 Sistemas de Comunicações Ópticas

Os sistemas de comunicações ópticas são todo o conjunto de dispositivos devidamente arranjados que possibilitam a transmissão de informação por meio da luz. Os enlaces baseados em fibra óptica são os sistemas com maior capacidade de transmissão de informação atualmente, sendo compostos por

vários dispositivos específicos que geram, transmitem e recebem o sinal óptico (SALEH; TEICH, 2007). As subseções a seguir apresentam algumas características das partes de um sistema óptico e comenta em especial o sistema ópticos coerentes.

2.6.1 Transmissores, Canal e Receptores

Um transmissor é a parte do sistema que gera a portadora óptica na frequência desejada e com potência suficiente para a transmissão. O transmissor também passa a informação binária para a portadora por meio de um tipo de modulação.

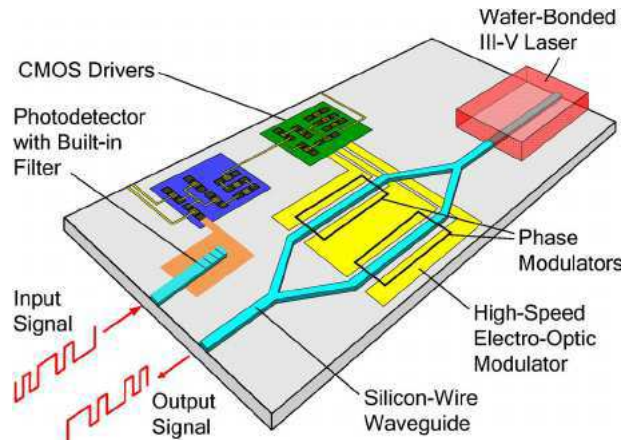
As fontes de luz são os lasers tratados na seção 2.5, a partir dos quais a luz é acoplada nos moduladores, que modulam a informação a taxas elevadas. Para se obter eficiência espectral, ou seja, para que seja utilizada a maior parte da capacidade de transmissão do sistemas, vários canais de informação são transmitidos no mesmo guia de onda, canais estes que são multiplexados no tempo, frequência ou espaço.

O canal, meio físico no qual as ondas eletromagnéticas do sinal óptico se propagam, é a fibra óptica composta de sílica (SiO_2). A fibra é um guia óptico dielétrico de seção transversal circular, na qual podem se propagar um ou mais modos de propagação dependendo de seu diâmetro. A principais vantagem da fibra óptica para a transmissão são as poucas perdas, da ordem de 0.2 dB/Km, para propagação de ondas de comprimento de onda de aproximadamente $1.55 \mu\text{m}$, o que caracteriza a fibra como um meio com enorme banda de transmissão e capaz de transmitir dados para longas distâncias.

Os receptores são os dispositivos que demultiplexam e detectam o sinal óptico, em todos os seus modos e polarizações, e o converte em sinal elétrico por meio de fotodetectores, na grande maioria das vezes compostos por um junção de semicondutores dopados. Uma vez no domínio elétrico, o sinal é processado para que a informação seja recuperada. Tanto a recepção como a transmissão são geralmente feitas por meio de módulos transdutores, os quais

podem ser ilustrados pela Fig. 2.10, que mostra guias ópticos de silício acoplados à fonte de luz e aos elementos eletrônicos responsáveis pela modulação e demodulação.

Figura 2.10: Transmissor e Receptor Óptico.



Fonte: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5075753>

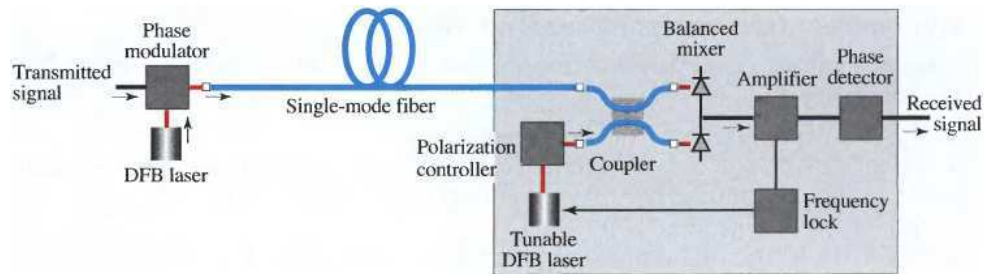
2.6.2 Sistemas de Comunicações Ópticas Coerentes

Nos sistemas ópticos coerentes, o sinal óptico é transmitido em esquemas de modulação em fase ou amplitude usando as componentes em fase e em quadratura do sinal complexo. As diferentes polarizações das ondas eletromagnéticas também são usadas como formas de aumentar a taxa de transmissão na mesma fibra no mesmo canal de frequência. Formatos comuns de modulação em sistemas coerentes são QPSK (*Quadrature Phase-Shift Keying*), QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*), PDM (*Polarization Division Modulation*) QAM e PDM QPSK.

A diversidade de componentes de sinal usadas torna o sistema óptico coerente complexo, no entanto, confere uma grande capacidade de transmissão de dados. Essa complexidade está associada a presença de muitos dispositivos ópticos como os moduladores de quadratura, *splitters*, controladores

de polarização, entre outros, e também ao surgimento de efeitos indesejados como as não linearidades. O uso de circuitos integrados específicos para o uso em redes ópticas, conhecidos como ASICs (*Application-Specific Integrated Circuits*), impulsionou o uso dos sistemas coerentes na medida em que problemas como dispersão, não linearidades e perdas dependentes da polarização puderam ser amenizados ou eliminados por processamento digital dos sinais (ANTINIADES et al, 2012). A Fig. 2.11 ilustra na forma de um diagrama simplificado as partes de um sistema óptico coerente.

Figura 2.11: Sistema Óptico Coerente.



Fonte: (SALEH; TEICH, 2007)

As comunicações ópticas são coerentes quando na detecção outra fonte óptica é usada para se detectar a informação na forma de bits. Quando a portadora do oscilador local tem frequência igual à frequência da fonte do transmissor, o sistema é dito coerente homódino, caso contrário, tem-se o sistema coerente heteródino. Em aplicações de longo alcance, sejam elas terrestres ou submarinas, os lasers de cavidade externa, explicados na seção 2.5.1, são utilizados, tanto nos transmissores como em receptores ópticos, dadas suas vantagens já citadas.

Capítulo 3

Atividades Desenvolvidas

As próximas seções destinam-se a apresentar as atividades realizadas nos meses de estágio na empresa, de forma a esclarecer os conceitos teóricos envolvidos nas atividades, a relevância do trabalho realizado e os resultados obtidos.

3.1 Desenvolvimento de Processos de *Pick and Place*

A *Idea! Electronic Systems* juntamente com a empresa parceira *BrPhotonics*, produz em grande volume lasers de cavidade externa para aplicações em *datacom* e em *telecommunication*. Durante a fabricação dos lasers, o processo de pegar e posicionar os componentes mecânicos e ópticos, mais conhecido como *pick and place*, é o processo que constitui a maior parte do trabalho de montagem. Dessa forma, por se tratar de um processo repetitivo e sendo a produção feita em grandes quantidades, procedimentos devem ser estabelecidos para que se tenha repetibilidade nos montagens e principalmente para se reduzir ao máximo o tempo de cada montagem.

As máquinas de *pick and place* nas quais são feitos os processos são seme-

lhantes a mostrada na Fig. 3.1, que é operada de forma manual e possuem uma base quente controlável para realização de soldas, assim como mecanismo de *dispenser* de *epoxy* e ainda, de forma opcional, a ferramenta de *flip chip*. O posicionamento é feito movimentando-se o dispositivo horizontalmente e descendo os componentes ópticos com a ferramenta que os segura por meio de vácuo. O alinhamento dos componentes é feito de forma passiva olhando-se pelo microscópio.

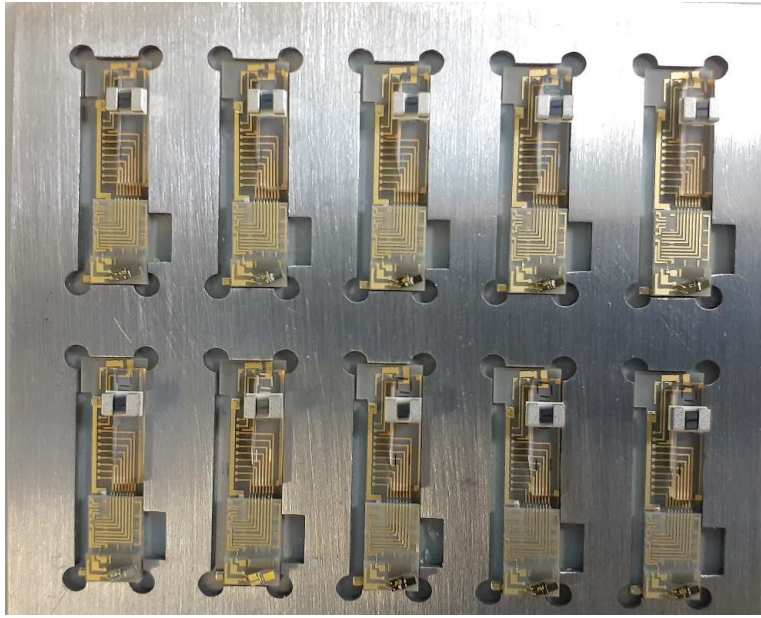
Figura 3.1: Máquina de Pick and Place Manual e Solda.



Fonte: <https://www.tresky.com/manual-die-bonder>

De forma a organizar e serializar a produção dos lasers, as montagens são feitas em lotes, nos quais peças mecânicas (*jigs*) são usadas como base sustentadoras que garantem repetibilidade nos processos. A utilização de *jigs* também reduz a manipulação de componentes de dimensões microscópicas, que pode causar danos. A Fig. 3.2 ilustra vários *Termo-Electric Coolers* (TECs) montados em uma *jig*.

Figura 3.2: Peça Mecânica com Vários TECs.



Fonte: *Idea! Electronic Systems*

Além de desenvolver os procedimentos e executar várias montagens, operadores foram instruídos sobre os processos, de forma a realizar as montagens corretamente, garantindo qualidade e reduzindo custos com componentes danificados ou montagens inadequadas.

3.2 Automatização de Processos de Colagem com Epoxies

Grande parte das sub-montagens dos lasers consiste em fixar componentes com *epoxy*, principalmente *spacers* de vidro que formam a base para os componentes no caminho óptico. Para a colagem com *epoxy*, é importante que a interface entre as superfícies que são fixadas sejam completamente preenchidas com *epoxy*, de forma a garantir rigidez mecânica e boa condução

de calor. Esses processos exigem grande precisão, de modo que o processo manual de depositar *epoxy* se torna inviável, pois não garante repetibilidade e é um processo lento.

Utilizando-se de um robô *dispenser* semelhante ao apresentado na Fig. 3.3, foi desenvolvido o processo automático de deposição de *epoxy* (*dispensing*) para a colagem dos *spacers* do TEC. O robô é dotado de movimento nos três eixos lineares (X, Y, Z), com precisão de $0,5 \mu\text{m}$, de modo que rotinas muito precisas podem ser realizadas. O robô permite a criação de vários e diferentes pontos no plano em que são posicionadas as *jigs*, logo são possíveis as execuções de movimentos pontuais ou lineares de *dispensing*.

Figura 3.3: Robô *Dispenser*.



Fonte: <https://www.adhesivedispensers.co.uk/J2200.htm>

No braço do robô, parte superior da máquina, tem-se fixado um êmbolo, o qual aceita vários tipos de pontas. As pontas variam para cada aplicação, sendo o diâmetro escolhido proporcional à quantidade de *epoxy* necessária. A pressão é imposta no êmbolo por um *dispenser* de *epoxy*, como o mostrado

na Fig. 3.4, de forma que se pode controlar a intensidade da pressão no êmbolo.

Figura 3.4: *Dispenser* de Fluido.



Fonte: <https://www.nordson.com/en/divisions/efd/products/fluid-dispensing-systems>

A comunicação com o robô é feita de forma serial no padrão RS-232, sendo os comandos codificados por caracteres ASCII produzidos pelo módulo `pyserial` da linguagem de programação python (Welcome to pySerial's documentation — pySerial 3.0 documentation, 2020). A API (*Application Programming Interface*) desenvolvida para a máquina é dotada de diversas funções para definir posições, velocidade dos eixos, tempo de *dispensing*, novas rotinas e etc.

Após serem calibradas as coordenadas dos pontos de *dispensing*, assim como a pressão no êmbolo e o tempo de *dispensing*, obteve-se resultados satisfatórios, na medida em que o robô reduziu consideravelmente o tempo do processo. A deposição passou a ser feita para lotes de componentes, como os da Fig. 3.2, no qual cada peça recebe a mesma quantidade de *epoxy*, tornando o processo repetitivo.

3.3 Testes de Lasers

Os lasers de cavidade externa são dispositivos compostos por alguns componentes ativos de naturezas diferentes. Entre os quais tem-se os *gain chips* que geram a luz, os componentes que realizam a filtragem do sinal óptico (étalons, grades de difração e etc.), um componente de ajuste de fase e também os componentes encarregados de manter a temperatura constante nos outros elementos, os TECs.

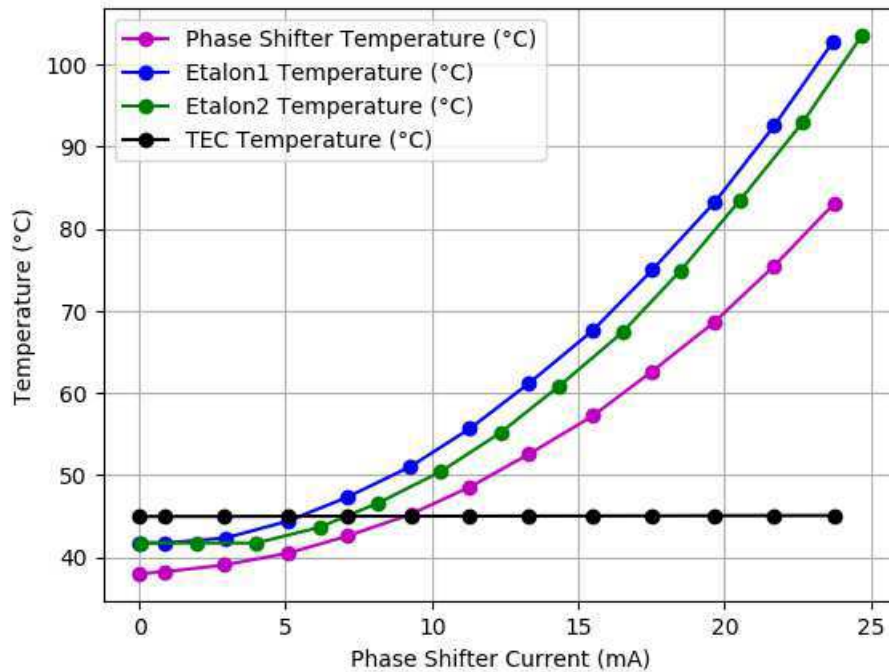
Estes componente ativos devem operar em conjunto de forma controlada com intuito de se ter potência óptica constante na fibra em comprimentos de onda pré definidos. Para se comprovar o perfeito funcionamento de cada componente ou sistema do laser, testes de natureza elétrica e óptica devem ser realizados.

3.3.1 Teste dos Componentes

Os lasers da *Idea! Electronic Systems* possuem como componentes ativos dois étalons, um *phase shifter*, o *gain chip* e um TEC. A corrente imposta nesses elementos é controlada por controladores PID, nos quais os sinais de *feedback* são gerados por termistores.

Os testes elétricos objetivam detectar problemas nas conexões elétricas tanto no interior da cápsula (trilhas e *wire bonding*) bem como na integração com a placa eletrônica. Inicialmente é feita a checagem dos níveis de resistência dos *heaters* e dos termistores em cada elemento. Em seguida, são verificados os aquecimentos dos componentes quando submetidos a diferentes níveis de corrente. Um resultado típico desse teste é mostrado na Fig. 3.5. Estes testes possibilitam também detectar problemas no *packaging*, como por exemplo, o elevado *crosstalk* térmico entre os elementos.

Figura 3.5: Testes dos Componentes do Laser.



Fonte: *Idea! Electronic Systems*

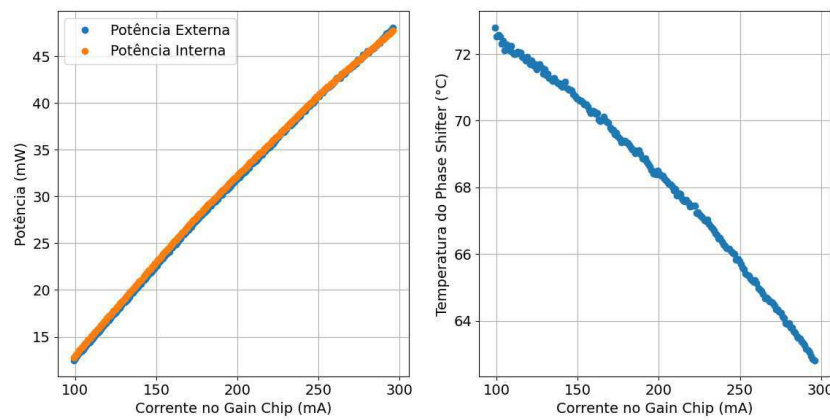
3.3.2 Testes Ópticos e Calibração

Com a certificação do funcionamento elétrico dos componentes, o laser passa a ser testado quanto a suas características ópticas. Inicialmente, é encontrado um canal de frequência, no qual o laser vai funcionar nestes testes iniciais. Na sequência, o fotodetector interno do laser é calibrado de acordo com a diferença de sua leitura e a leitura externa de um medidor de potência. A calibração do fotodetector é importante, pois o controle de potência do laser usa a medida do fotodetector como sinal de *feedback*.

As curvas de potência de saída em função da corrente também são obtidas nessas etapas iniciais. Na obtenção da curva de potência, o controle automático de fase da cavidade já está ativado, de modo que as mudanças

de fase impostas pelo aumento da corrente no *gain chip* são corrigidas e obtém-se a máxima potência. A Fig. 3.6 é um exemplo típico das curvas de potência em função da corrente e da temperatura do *phase shifter* em função da corrente, nos lasers da *Idea!*.

Figura 3.6: Curva PI e Mudança na Temperatura do *Phase Shifter*.



Fonte: *Idea! Electronic Systems*

3.3.3 Algoritmo de Alinhamento dos Étalons

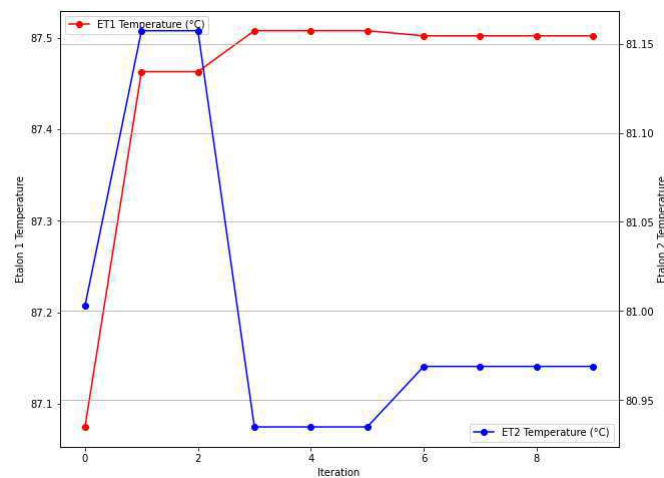
Para se conseguir o máximo de potência de saída nos lasers, a ressonância do espectro dos étalons deve coincidir, como já descrito na seção 2.5.1, e ao mesmo tempo a condição de fase da cavidade deve privilegiar o comprimento de onda da ressonância dos étalons.

Como o canal usado para os testes iniciais não precisa estar em uma frequência pre-determinada, o máximo de potência pode ser alcançado alterando-se apenas os espectros dos étalons, de modo a encontrar indiretamente uma condição de interferência construtiva na cavidade. A partir dessa idéia, foi pensado em um algoritmo eficiente para realizar esse alinhamento dos espectros dos étalons no laser.

Obteve-se um bom desempenho utilizando-se o algoritmo de otimização *Particle Swarm Optimization* (PSO) para o alinhamento dos étalons (SEIXAS GOMES DE ALMEIDA; COPPO LEITE, 2019). São tomadas aleatoriamente 5 possíveis combinações de temperaturas para os étalons, as quais são atualizadas de acordo com o nível de potência externa medido.

A Fig. 3.7 apresenta a evolução das temperaturas dos étalons para as sucessivas iterações do algoritmo. Já a Fig. 3.8 ilustra o aumento da potência à medida em que se encontra melhores combinações de temperaturas dos étalons.

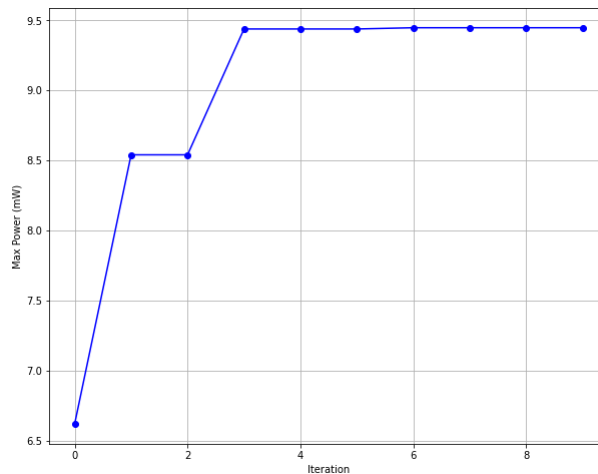
Figura 3.7: Temperatura dos Étalons Durante o Alinhamento do Espectro.



Fonte: *Idea! Electronic Systems*

Essa rotina para encontrar uma canal de frequência tem um tempo de execução que varia entre 1 e 3 minutos, obtendo-se sempre a potência máxima, o que representa um ganho de performance em relação ao algoritmo anteriormente utilizado. A corrente utilizada no *gain chip* é de 70 mA, para evitar as flutuações de potência causadas pelas mudanças de fase impostas pelo *gain chip* em correntes elevadas.

Figura 3.8: Evolução da Potência de Saída no PSO.



Fonte: *Idea! Electronic Systems*

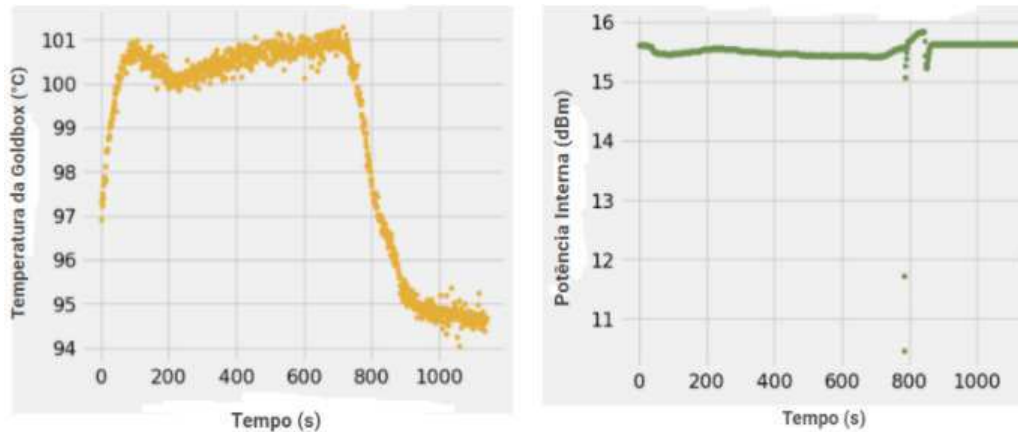
3.3.4 Testes dos Limites de Operação

O laser nITLA (*Nano Iterable Tunable Laser Assembly*) da *Idea!* é um dispositivo que possui especificações rígidas de operação, de modo que os processos de montagem desses dispositivos devem ser executados de forma precisa e usando-se as melhores técnicas. De forma semelhante, cuidados devem ser tomados quanto à montagem dos lasers em módulos ou *fixtures*, pois a dissipação térmica e a compressão mecânica nas cápsulas são fatores críticos para a operação dos lasers. Portanto, após montados, os lasers devem atender às especificações em diferentes condições de temperatura (em um intervalo de -20 a 85 °C), suportando altos níveis de vibração e além disso não podem ser vulneráveis à ciclos térmicos ou choques mecânicos.

Com o objetivo de manter todos os componentes ativos do laser, principalmente o TEC, funcionando dentro de suas capacidades operacionais, e ao mesmo tempo não causar altas quedas de potência em temperaturas elevadas, foram executados vários testes em câmaras climáticas, de forma a se determinar melhores formas de dissipação térmica para as cápsulas. A Fig.

3.9 mostra os gráficos da temperatura e da potência para um laser operando acima de sua especificação de temperatura, o que só é possível com o uso de uma dissipação de calor eficiente.

Figura 3.9: Temperatura do Laser e Potência Interna em Função do Tempo.



Fonte: *Idea! Electronic Systems*

3.4 Análise de Problemas e Falhas

Os lasers de cavidade externa da Idea! são sistemas complexos nos quais acontecem de forma conjunta uma grande quantidade de fenômenos físicos de natureza óptica e elétrica nos componentes, os quais são controlados por sistemas de controle. Integrada aos lasers têm-se circuitos eletrônicos que atuam como *drivers* para os componentes e também memórias, nas quais está armazenado o *firmware*.

Esta variedade de sistemas operando ao mesmo tempo no mesmo dispositivo, exige um alto nível de entendimento do laser para se analisar tanto seu funcionamento como problemas durante a operação ou o surgimento de falhas. A análise de problemas e falhas nos lasers são feitas mediante o estudo das grandezas que podem se lidas nos lasers. Neles podem ser obtidos

a corrente e a tensão nos componentes ativos ao longo do tempo e a partir do sinal de saída, o nível de potência e o espectro de frequências podem ser capturados.

Problemas típicos de lasers estão relacionados à desalinhamentos dos componentes pelos quais passam o eixo óptico, reflexões, imprecisões na calibração de frequência. Os desalinhamentos ópticos ocasionam quedas de potência externa, diminuindo a eficiência do laser, o que se torna evidente na operação em temperaturas elevadas ou quando submetidos a sobrecargas mecânicas. Entre os efeitos deletérios das reflexões internas no laser, o principal é instabilidade da potência que pode afetar os controladores do laser. Em se tratando de calibração, não se pode ter grandes desvios na frequência dos canais calibrados, de modo que compensações devem ser feitas no filtro óptico para que a frequência permaneça próxima à desejada nas mais variadas condições de operação.

Capítulo 4

Conclusões

As atividades, as discussões e o trabalho em grupo desenvolvido no estágio na *Idea!* possibilitaram um aprendizado muito grande na área de fotônica. A fotônica é uma área das telecomunicações que vem crescendo rapidamente e que tem grande potencial para aumentar a capacidade de transmissão dos sistemas de comunicações ópticas.

Trabalhar com fotônica é sempre um desafio, na medida em que o desenvolvimento de tecnologia nessa área é um processo longo e que exige profissionais capacitados e experientes. Entre as etapas do desenvolvimento de um dispositivo fotônico, pode-se citar o projeto, a aquisição de componentes e a discussão com fornecedores, o encapsulamento e os testes. Em todas as etapas, muito conhecimento é aplicado e a interação entre os profissionais das diferentes áreas envolvidas é fundamental.

O estágio na *Idea!* possibilitou ganhar e aplicar conhecimento na fabricação de lasers, de modo que muitos conceitos aprendidos nas disciplinas da graduação foram utilizados, principalmente das áreas de matemática, física e programação. Muito importante também foi a capacitação em fotônica desenvolvida na UFCG, que agregou um conhecimento teórico muito grande.

Referências Bibliográficas

- [1] Fischer-Hirchert, U., 2015. Photonic Packaging Sourcebook. Berlin, Heidelberg: Springer.
- [2] Pythonhosted.org. 2020. Welcome To Pyserial'S Documentation — Pyserial 3.0 Documentation. [online] Available at: <https://pythonhosted.org/pyserial/> [Accessed 6 September 2020].
- [3] Saleh, B. and Teich, M., 2007. Fundamentals Of Photonics. 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons.
- [4] Seixas Gomes de Almeida, B. and Coppo Leite, V., 2019. Particle Swarm Optimization: A Powerful Technique for Solving Engineering Problems. In: Swarm Intelligence - Recent Advances, New Perspectives and Applications. [online] IntechOpen. Available at: <https://www.intechopen.com/books/swarm-intelligence-recent-advances-new-perspectives-and-applications/particle-swarm-optimization-a-powerful-technique-for-solving-engineering-problems> [Accessed 6 September 2020].
- [5] Frid, E., 2018. Optical Assembly – Active VS Passive. [online] Becker-mus.com. Available at: <https://www.beckermus.com/single-post/2018/04/04/Optical-Assembly-%E2%80%93-Active-VS-Passive> [Accessed 14 September 2020].
- [6] Morthier, G. and Vankwikelberge, P., 2013. Handbook Of Distributed Feedback Laser Diodes. 2nd ed. Norwood: Artech House.

- [7] Ye, C., 2004. Tunable External Cavity Diode Lasers. World Scientific.
- [8] Paschotta, R., 2008. Field Guide To Lasers. Bellingham, Wash.: SPIE.
- [9] Antoniadis, N., Ellinas, G. and Roudas, I., 2012. WDM Systems And Networks. Springer Science+Business Media.
- [10] Jiménez, A., Milde, T., Staacke, N., Abmann, C., Carpintero, G. and Sacher, J., 2017. Narrow-line external cavity diode laser micro packaging in the NIR and MIR spectral range. Applied Physics B, [online] Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00340-017-6777-9> [Accessed 15 September 2020].
- [11] Kasap, S. and Capper, P., 2017. Springer Handbook Of Electronic And Photonic Materials. 2nd ed.
- [12] Paschotta, D., 2020. Beam Collimators. [online] Rp-photonics.com. Available at: https://www.rp-photonics.com/beam_collimators.html [Accessed 15 September 2020].