



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
Curso de Engenharia Mecânica

ANDREW PEREIRA VILANOVA

Aplicação do Método de Taguchi na Otimização das Propriedades Mecânicas em Protótipos 3D – Manufatura Aditiva

SÃO LUIS/MA
2017

ANDREW PEREIRA VILANOVA

Aplicação do Método de Taguchi na Otimização das Propriedades Mecânicas em Protótipos 3D – Manufatura Aditiva

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Adilto Pereira Cunha

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA MONOGRAFIA DEFENDIDA PELO ALUNO ANDREW PEREIRA VILANOVA E ORIENTADA PELO PROF. DR. ADILTO PEREIRA CUNHA.

.....
ASSINATURA DO ORIENTADOR

SÃO LUIS/MA
2017

Vilanova, Andrew Pereira.

Aplicação do método de Taguchi na otimização das propriedades mecânicas em protótipos 3D – manufatura aditiva / Andrew Pereira Vilanova. – São Luís, 2017.

39.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Adilto Pereira Cunha.

1. Manufatura aditiva. 2. Método de Taguchi. 3. PLA. I. Título.

CDU 681.62:005.6

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Aplicação do Método de Taguchi na
Otimização das Propriedades Mecânicas em
Protótipos 3D – Manufatura Aditiva**

Autor: Andrew Pereira Vilanova

Orientador: Adilto Pereira Cunha

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Monografia:

Prof. Dr. Adilto Pereira Cunha
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Me. Abraão Ramos da Silva
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Bel. Carlos Ronyhelton Santana de Oliveira
Universidade Estadual do Maranhão

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

São Luís/MA, 05 de dezembro de 2017.

Dedicatória

Dedico esse presente trabalho a todas as pessoas que me acompanharam e contribuíram ao longo dessa etapa.

Agradecimentos

Este trabalho não seria finalizado sem a apoio de diversas pessoas às quais presto a minha sincera homenagem:

A Deus por toda sua benevolência em me abençoar ricamente com saúde e sabedoria e por amparar-me nos momentos mais delicados durante o estudo.

Aos meus pais, Marluce Pereira e Clovis Vilanova pela educação e valores oferecidos, e todo suporte durante a graduação.

Ao meu irmão Brayan pela companhia e amor e a minha namorada Ingrid Naiany por ser a maior incentivadora deste estudo e aos meus amigos pessoais e da UEMA.

À instituição UEMA por ceder seu material e laboratório para realização dos ensaios.

Ao professor orientador Adilton Pereira Cunha, por seu auxílio e conhecimento e ao Rodrigo na assistência dos ensaios realizados.

Aos professores da banca examinadora, Me. Abraão Ramos e Bel. Carlos Ronyhelton pela disponibilidade em aceitar participar da minha defesa e agregar ainda mais valor a esse trabalho.

A instituição Mercer University, professor Dr. Radhamaran Ramachandran, João Malverde e Wayne Lima que se fizeram presente no trabalho que se tornou base para esse estudo.

Epígrafe

*“Para cada esforço disciplinado há uma
retribuição múltipla”*

Jim Rohn

Resumo

Este estudo propõe processos simples e eficazes na melhoria da qualidade das propriedades mecânicas dos materiais. Os procedimentos são divididos em sete etapas: definição de material, definição do equipamento, definição das variáveis, criação de modelos, realização dos ensaios, levantamento de cálculos e determinação dos parâmetros ótimos. Fatores estruturais na fabricação e modelagem dos corpos de prova foram escolhidos e classificados em três parâmetros e três níveis. A utilização do Método de Taguchi nesta fase irá permitir a sistematização dos ensaios, a redução do tempo de ensaio e otimização das propriedades mecânicas. A importância da manufatura aditiva e do polímero PLA na fabricação de materiais também é discutida. O presente trabalho visa definir a tensão máxima e alongamento dos corpos de provas, com base nos parâmetros de tipo de malha, altura das camadas e ângulo das malhas, definindo assim, como a melhor configuração para valores de maiores respostas. O estudo verificou que para cada fator analisado foi determinado uma configuração distinta.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva; Método de Taguchi; PLA.

Abstract

The study proposes a simple and effective processes in the quality improving of mechanical materials properties. The procedures are divided into seven steps: material setting, equipamento setting, variables setting, modeling, material testing. calculations survey and optimal parameters setting. Manufacturing structural factors were chosen and classified into three parameters and levels. The Taguchi method in this stage will allow a test systematization, test time reduction and mechanical properties optimization. The importance of additive manufacturing and PLA polymer will be as well discussed. The presente study aims to define specimen's maximum tensile and elongation, based on types of mesh, layer height and mesh angle, thus, defining it as a better configuration for higher response values. The study verified that for each factor analyzed a different configuration was determined.

Key Words: Additive manufacturing; Taguchi method; PLA.

Lista de Ilustrações

Figura 2.1 Estrutura molecular dos polímeros: (a) linear; (b) ramificado; (c) ligações cruzadas	3
Figura 2.2 Estrutura molecular do Poliacido láctico (PLA)	5
Figura 2.3 Foto escultura de Willème	6
Figura 2.4 Representação de camadas	7
Figura 2.5 Os oito processos da Manufatura Aditiva	8
Figura 2.6 Técnicas da Manufatura Aditiva	10
Figura 2.7 Representação do processo FDM.....	11
Figura 2.8 Representação do ensaio de tração.....	14
Figura 2.9 Matriz de Taguchi L9 no Minitab	16
Figura 3.1 - Esquematização do estudo.....	17
Figura 3.2 Filamento Cliever PLA.....	18
Figura 3.3 Impressora 3D CreatorPro	19
Figura 3.4 Máquina de tração EMIC DL10000.....	19
Figura 3.5 Parâmetro tipo de preenchimento das malhas.....	20
Figura 3.6 Parâmetro altura das camadas.....	21
Figura 3.7 Parâmetro ângulo das malhas.....	21
Figura 3.8 - Corpo de prova 1a (ASTM D638)	22
Figura 3.9 Representação CAD do corpo de prova	23
Figura 3.10 Ensaio de tração no Modelo D.....	24
Figura 3.11 Relatório de tração Tesc	25
Figura 3.12 Gráfico do ensaio de tração Tesc	25
Figura 4.1 Carta de controle modelo A.....	28
Figura 4.2 Carta de controle modelo B	28

Figura 4.3 Carta de controle modelo C	28
Figura 4.4 Carta de controle modelo D	29
Figura 4.5 Carta de controle modelo E	29
Figura 4.6 Carta de controle modelo F	29
Figura 4.7 Carta de controle modelo G	30
Figura 4.8 Carta de controle modelo H	30
Figura 4.9 Carta de controle modelo I	30
Figura 4.10 Gráfico de sinal ruído das respostas de tensão máxima	32
Figura 4.11 Gráfico de sinal ruído das respostas de alongamento	34
Figura 4.12 Modos de fraturas dos corpos de prova	35
Figura 4.13 Média de tensão máxima para tipo de malha	36
Figura 4.14 Média de alongamento para tipo de malha	36
Figura 4.15 Média de tensão máxima para altura da camada	37
Figura 4.16 Média de alongamento para altura da camada	37
Figura 4.17 Média de tensão máxima para ângulo de malha	37
Figura 4.18 Média de alongamento para ângulo de malha	38
Figura 4.19 Relação das respostas médias de tensão máxima e alongamento	38

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 Sete passos da tecnologia FDM.....	11
Tabela 3.1 Parâmetros do estudo	20
Tabela 3.2 Parâmetros base	22
Tabela 3.3 Divisões dos modelos	24
Tabela 4.1 Respostas de tensão máxima	31
Tabela 4.2 Sinal ruído de tensão máxima.....	31
Tabela 4.3 Parâmetros ótimos para tensão máxima	32
Tabela 4.4 Respostas de alongamento	33
Tabela 4.5 Sinal ruído de alongamento.....	33
Tabela 4.6 Parâmetros ótimos para alongamento	34

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1	Polímeros	3
2.1.1	PLA.....	4
2.2	Impressão 3D	6
2.3	Manufatura aditiva.....	7
2.3.1	Fused Deposition Modeling (FDM).....	10
2.4	Ensaio dos materiais	12
2.4.1	<i>Ensaio de tração</i>	13
2.5	Método de Taguchi.....	14
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1	Definição de material.....	17
3.2	Definição do equipamento	18
3.3	Definição das variáveis	20
3.4	Criação de modelos	22
3.5	Realização dos ensaios.....	23
3.6	Levantamento de cálculos	25
3.7	Determinação dos parâmetros ótimos	26
4	RESULTADO E DISCUSSÕES.....	27
4.1	Tensão máxima.....	31
4.2	Alongamento	33
4.3	Correlação de tensão máxima e alongamento	35
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	39
	REFERENCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A fabricação de materiais é uma ampla área que dar suporte aos avanços da humanidade. Com base nisso, a manufatura aditiva apresenta-se como uma nova perspectiva de se fazer engenharia com sua rapidez, flexibilidade e exatidão nas geometrias complexas, o mais importante, sem produzir resíduos descartáveis ao final de seu processo. Assim, reduzindo seu custo de produção e contaminação do meio ambiente.

Dessa forma, a manufatura aditiva ganhou força nos processos industriais, especialmente no desenvolvimento de materiais e da eletrônica, ao fim da década de 1980. Embora o ramo mais promissor, a prototipagem rápida (RP) tenha surgido recentemente, mais precisamente no início do século XXI, com o desenvolvimento das impressoras 3D.

Juntamente com o avanço e a idealização de uma tecnologia recente surge a necessidade do controle de seu processo. A prototipagem rápida de deposição oferece uma vasta gama de escolhas para o utilizador com a finalidade atender suas exigências. No entanto, é fundamental quantificar e estabelecer um domínio para essas variáveis.

Presentemente, a manufatura aditiva atua de maneira atrelada ao sistema de modelagem de auxílio computacional, Computer-Aided Design (CAD), simplificando assim, todo plano de fabricação de maneira pré-estabelecida, se distinguindo das maneiras tradicionais de fabricação. Segundo Gibson (2010), a manufatura aditiva quando utilizada em conjunto com outras tecnologias para formar um processo em cadeia, será útil nas reduções de custos e tempos de produção

Na história da qualidade os modelos estatísticos apontam como ferramentas chaves para o avanço nas empresas, o conceito de projeto robusto proposto por Taguchi pode ser definido como uma dessas abordagens estatísticas. Segundo Taguchi (1986), obter um projeto robusto exige reduzir a variabilidade entre unidades produzidas, diminuir os problemas com produto e processo e sustentar seu desempenho frente ao ambiente que está sendo empregado. Ou seja, quaisquer alterações nas características funcionais ou físicas perturbam a qualidade

do produto, quanto as menores perdas da qualidade, mais desejável será o produto para a sociedade.

A busca pela praticidade, velocidade e otimização é a marca registrada de toda forma de avanço executado pela humanidade. Seja ela no primórdio da humanidade, quando se desejava descrever atividades exercidas através de pinturas rupestres, como no acerto de mínimos detalhes na fabricação mecânica. Dessa forma, o trabalho pretende casar uma série de fundamentações teóricas, tais como, método de Taguchi, gráficos de controles e conceitos da manufatura aditiva, a fim de determinar um denominador comum.

O presente trabalho será delimitado pelo material e fatores externos não controláveis. Dessa forma, o único material utilizado em questão será o plástico poliácido láctico (PLA), o material biodegradável mais utilizado na construção de prototipagem rápida. O plástico acrilonitrila butadieno estireno (ABS) não será pautado de maneira comparativa, pois já é comprovado em literaturas anteriores seu diferencial em relação ao PLA.

Embora o presente estudo seja restrito ao material PLA os fatores em questão atuam em quaisquer tipos de materiais. Portanto capazes de influenciar em diversas áreas, inclusive na medicina, visto que a manufatura aditiva tem sido um grande interveniente para o desenvolvimento da área.

O estudo se faz necessário no sentido de abordar uma temática pouco conhecida e estudada, conseqüentemente, ser capaz de contribuir de maneira extremamente significativa em estudos futuros sobre manufatura aditiva, controle de variáveis, otimização de materiais e previsibilidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Polímeros

Ainda que o nome polímero esteja relativamente ligado ao plástico, o termo apresenta outros significados. Os polímeros são moléculas com grande número de átomos ligados a um padrão repetitivo, suas propriedades específicas vão variar de acordo com suas estruturas molecular. Os polímeros podem apresentar diversos tipos de estrutura molecular, como: polímeros lineares (figura 2.1a), polímeros ramificados (figura 2.1b) e polímeros com ligações cruzadas (figura 2.1c). Os lineares e ramificados possuem característica de sofrer fusão e solidificação com certa facilidade, propagando assim, sua utilização nas indústrias e importância nos processos de impressão 3D.

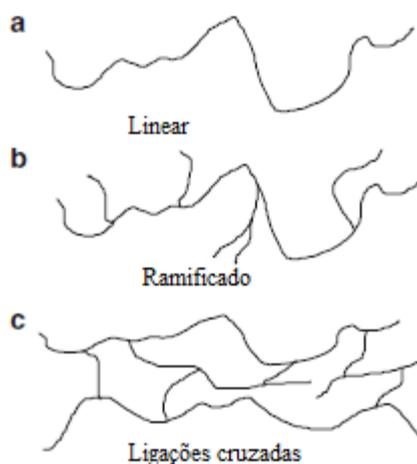


Figura 2.1 Estrutura molecular dos polímeros: (a) linear; (b) ramificado; (c) ligações cruzadas
Fonte: Gibson (2010)

A cada dia se comprova mais a presença e a necessidade do plástico, se tornando a base de quase tudo que utilizamos diariamente, desde do setor ortopédico passando ao automobilístico à utilitários domiciliários. Suas propriedades mecânicas como: impermeabilidade, maleabilidade, durabilidade entre outros facilitaram a propagação de sua aplicação, contribuindo para o desenvolvimento social, econômico e científico.

Não é sem razão que já se convencionou chamar o nosso tempo de Era do Plástico. O plástico evoluiu da posição de sucedâneo à de matéria prima essencial para numerosas especificações, e a cada nova necessidade da vida moderna logo emerge das provetas um material sintético mais racional, mais abundante, mais uniforme, mais econômico (RAMALHO, 2009, p.13).

Se a durabilidade dos plásticos é uma vantagem, por outro lado, representa um sério problema ecológico, pois são muito usados na fabricação de embalagens usualmente descartadas após utilização e que vão se acumulando ao longo do tempo na natureza, provocando uma forte poluição visual. Piatti e Rodrigues (2005, p. 36) afirmam que “o plástico se tornou um símbolo da sociedade de consumo descartável e é atualmente o segundo constituinte mais comum do lixo, após o papel.”

Os plásticos podem ser definidos como “um grupo arbitrário” de materiais artificiais, geralmente de origem orgânica sintética, que em algum estágio de sua fabricação adquiriram a condição plástica durante a qual foram moldados, com aplicação de pressão e calor. O carbono é o elemento fundamental de todos os plásticos (CHIAVERINI, 1986, p. 324).

De modo que se tenha uma redução do impacto dos plásticos no meio ambiente, emerge uma nova classe de polímeros, os biopolímeros, tornando-se a principal alternativa para esses impactos.

Segundo Pinho (2012), essa classe é geralmente produzida a partir matérias-primas renováveis como cana-de-açúcar, milho, mandioca e batata, e óleos de girassol, soja e mamona. Mais comumente conhecida como “materiais biodegradáveis ou ecologicamente corretos”.

2.1.1 PLA

Dentre os biopolímeros mais conhecidos tem-se o poliácido láctico (PLA), se tornando o principal material ecologicamente correto na formação de objetos na manufatura aditiva. A sua aceitação é tão grande que os principais fabricantes de materiais para impressão 3D

fabricam e recomendam sua utilização juntamente com o acrilonitrila butadieno estireno (ABS), este último não é caracterizado como biopolímero.

O PLA geralmente é obtido por fontes 100% renováveis, como: milho, açúcar de beterraba e arroz. Vink (2002) descreve que, o ciclo de vida do PLA começa com o milho, onde toda energia é consumida biologicamente através da energia solar pelo processo de fotossíntese. Dessa forma as bactérias por meio dessa fermentação produzem um ácido láctico, base do PLA, transformado em plástico por meio de processos químicos.

Inicialmente, o poliácido láctico foi obtido em 1932 por pesquisadores Carothers, Dorough e Natta e suas propriedades mecânicas não eram nada vantajosas, visto que o material reagia com a água. Então, apenas em 1966 o PLA teve uma melhora de suas propriedades com adição de glicerol, sorbitol, fibras naturais e blendas (complexo de outros polímeros). A figura 2.2 mostra a estrutura molecular do PLA.

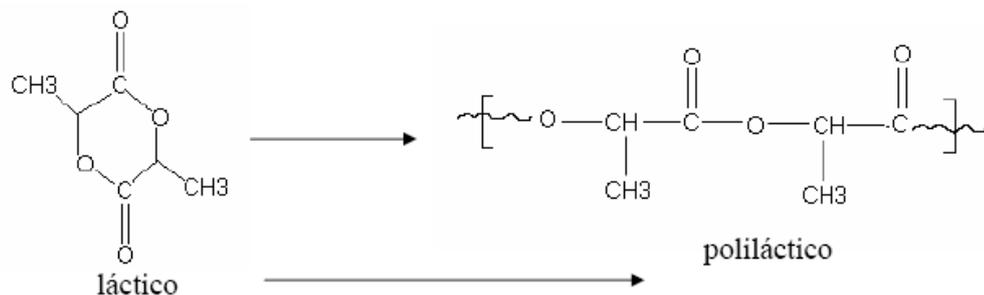


Figura 2.2 Estrutura molecular do Poliácido láctico (PLA)
Fonte: Adaptado de Sánchez (2012)

Por ser um material correto ecologicamente a aplicação PLA se restringia a atividades que exigiam pouco/nenhum tipo de contaminação, como os dispositivos médicos: parafusos, placas e pinos. Entretanto, após a crescente popularização da manufatura aditiva pelas impressoras 3D, o seu uso se difundiu para variadas áreas.

É certo falar que por ser um polímero degradável suas aplicações são limitadas por certos fatores, tais como, altas temperaturas e corrosões químicas. O comportamento mecânico de qualquer material utilizado em engenharia é função de sua estrutura interna e de sua aplicação em projeto (GARCIA, 2012).

2.2 Impressão 3D

Apesar de ser uma tecnologia recente os principais conceitos da impressão 3D, deposição seletiva de material e construções de camadas, não foram desenvolvidos recentemente e remontam a aplicações bem antigas. Por exemplo, nas técnicas desenvolvidas em 1860 por Willème (figura 2.3) na sua reprodução a partir de 24 câmeras fotográficas distribuídas igualmente e o método de topografia de Blantner (1890).

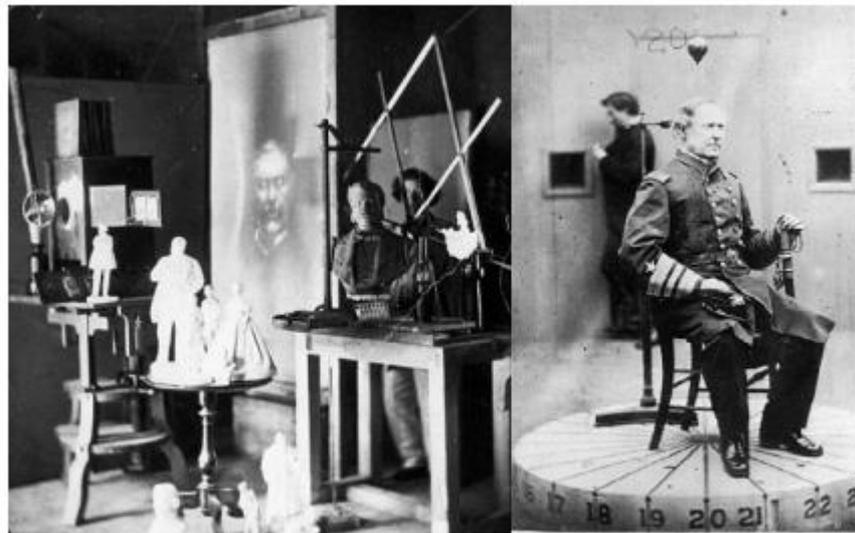


Figura 2.3 Foto escultura de Willème
Fonte: Adaptado de Monteiro (2015)

O advento das impressoras 3D pode ser notado a partir de 1984, quando um engenheiro americano chamado Charles Hull fundou a 3D Systems Corp., patenteando e comercializando a tecnologia 3D. Inicialmente a sua “tinta” era constituído de líquido acrílico que se solidificava em contato com a luz ultravioleta.

Segundo Takagaki (2012), as camadas construtivas é o princípio básico da impressão 3D, pois ela consiste na fabricação de uma peça a partir da deposição de um determinado material em camadas sobrepostas repetidas vezes até que se tenha a peça completa (figura 2.4).

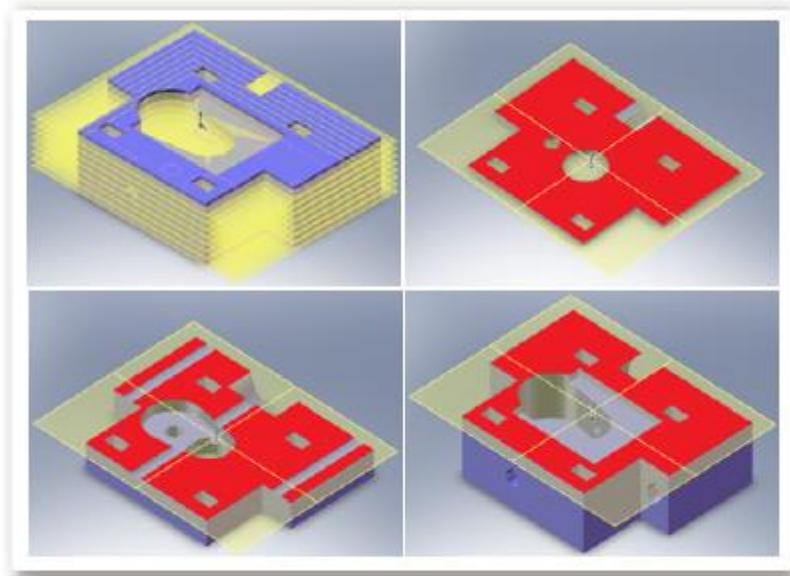


Figura 2.4 Representação de camadas
Fonte: Raulino (2011)

Em breve, a impressão 3D levará o homem a pensar de formar mais criativa, inspirando a buscar novas formas de soluções e melhorar a funcionalidade dos objetos existentes. A criatividade não deverá ter fronteiras, de modo que cada indivíduo possa experimentar desta tecnologia e se tornar um inovador (VILANOVA; MALVERDE; LIMA, 2015, p. 14).

2.3 Manufatura aditiva

Em um curto espaço de tempo transformamos robustos equipamentos em pequenos dispositivos de menores custos de fabricação e mais poderosos, caso dos computadores e celulares. A fim de atender essas demandas a manufatura aditiva surgiu como alternativa de “menos é melhor”, propondo um menor desperdício, maior velocidade e precisão na fabricação mecânica. Formas geométricas antes utópicas, mesmo com a precisão das CNC se tornaram reais.

De acordo com Ian Gibson (2010), o processo de manufatura aditiva é dividido em oito partes conforme a figura 2.5:

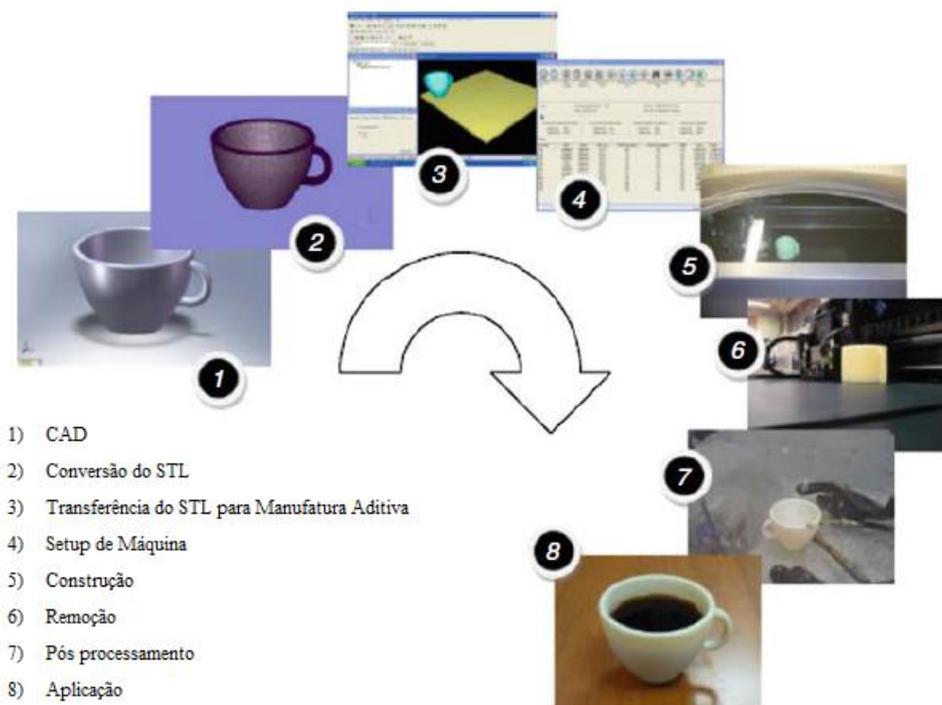


Figura 2.5 Os oito processos da Manufatura Aditiva
 Fonte: Adaptado de Gibson (2010)

1) CAD

Modelo deve ser obtido através de um software de modelagem computacional. O modelo deve ser representado em três orientações geométricas. Escaneadoras 3D podem ser utilizadas em caso de existência prévia do modelo. Esse processo é conhecido como engenharia reversa.

2) Conversão do STL

Nesta etapa o modelo deve ser convertido para a forma Stereolithography (STL), nessa forma é possível que a adição deva ser feita de maneira exata, camada por camada.

3) Transferência do STL para Manufatura Aditiva

Nesse momento, o modelo deve ser corretamente posicionado e dimensionado. É muito importante essa etapa, pois as camadas podem ser prejudicadas em caso de má posicionamento.

4) Setup de Máquina

Nessa etapa, o software responsável pelo processo de adição deve ser configurado. Nessa etapa pode mudar as características do modelo, ainda que sejam construídos de um mesmo material. É nessa etapa que o presente trabalho será fundamentado e explorado.

5) Construção

Em geral, essa etapa é completamente automatizada. As impressoras 3D fazem todo o processo, no entanto, é válido uma supervisão. Especialmente nas primeiras camadas, pois em caso de erro de uma só camada, o a construção toda será impactada, causando um desperdício de material.

6) Remoção

Nessa etapa todo processo de construção do modelo no auxílio da construção deve ser removido. Estas rebarbas podem ser reutilizadas caso exista presente um equipamento que torne a sobra em um novo filamento.

7) Pós processamento

O penúltimo passo se caracteriza como um pós-acabamento. Assim como nos metais que existem a possibilidade de tratamentos superficiais, nos plásticos também existe essa possibilidade. Em modelos fabricados em ABS, geralmente não tem uma superfície tão polida quanto os materiais fabricados em PLA, nesse caso, estes materiais podem receber um tratamento para refinar sua superfície. É importante falar que neste caso, a estrutura interna do modelo não será afetada.

8) Aplicação

Por último, a aplicação do modelo em sua tarefa. Modelos agora obtidos através da manufatura aditiva podem se combinar a fim de criar um objeto.

A manufatura aditiva pode ser classificada pelos diferentes tipos de deposição e tipo de material utilizado, os mais conhecidos são: Estereolitografia, sinterização a laser, PolyJet e FDM (figura 2.6).

A Estereolitografia (SL ou SLA) e Polyjet são ramificações da manufatura aditiva que utilizam energia ultravioleta para solidificação da resina, a sinterização a laser utiliza de laser de CO2 para aquecimento de fundição de pó (polímero ou metálico). Por último o modelo de deposição fundida (FDM), popularizado como impressão 3D, é usada para obtenção de geometrias complexas e de baixo volume de produção.

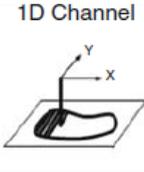
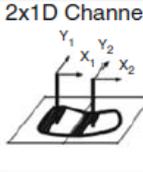
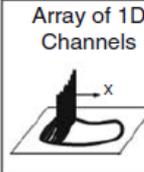
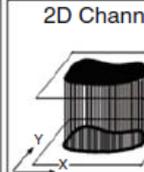
	1D Channel	2x1D Channels	Array of 1D Channels	2D Channel
Liquid Polymer	 SLA (3D Sys)	 Dual beam SLA (3D Sys)	 Objet	 Envisiontech MicroTEC
Discrete Particles	SLS (3D Sys), LST (EOS), LENS Phenix, SDM	LST (EOS)	3D Printing	DPS
Molten Mat.	FDM, Solidscape		ThermoJet	
Solid Sheets	Solido PLT (KIRA)			

Figura 2.6 Técnicas da Manufatura Aditiva
Fonte: Gibson (2010)

2.3.1 Fused Deposition Modeling (FDM)

A técnica FDM traduzido como modelagem por fusão e deposição é sem dúvidas a mais utilizada na obtenção de modelos através da manufatura aditiva (figura 2.7). A popularização das impressoras 3D auxiliou na expansão da técnica. A praticidade, simplicidade, econômica e resultados satisfatórios são as marcas que descrevem seu sistema. No entanto, existem desvantagens no processo que dificultam sua aceitação no ramo industrial. Como a técnica utiliza basicamente na formação de camadas a densidade dos modelos é baixa e seu o tempo de fabricação é alto, impossibilitando assim a produção de determinado modelo em grande escala. Essa técnica é dividida em sete passos (tabela 2.1).

Essa técnica usa o calor para liquefazer o polímero em forma de filamento, onde é sofrendo uma extrusão sobre pressão e depositado nas camadas. A maior força do processo de FDM é a possibilidade variada de materiais e a obtenção efetiva das propriedades mecânicas nos modelos provenientes dessa técnica. As peças feitas com FDM estão entre as mais fortes para qualquer processo de fabricação de aditivos à base de polímero (GIBSON, 2010).

Tabela 2.1 Sete passos da tecnologia FDM

Passos do FDM	
1º passo	Alimentação do material
2º passo	Fusão do material
3º passo	Movimento do material por pressão
4º passo	Extrusão
5º passo	Plotagem controlada
6º passo	Ligação entre camadas
7º passo	Inclusão de suportes e geometrias complexas

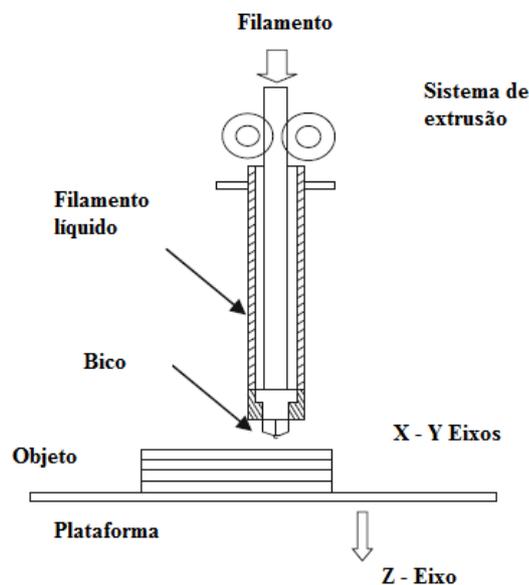


Figura 2.7 Representação do processo FDM
Fonte: Gibson (2010)

Segundo Takagaki (2012), estas são as técnicas mais populares atualmente e, especificamente a FDM, vem promovendo uma grande popularização da impressão 3D por ser rápida e ter materiais mais baratos em relação aos outros processos.

2.4 Ensaio dos materiais

Assim como o ser humano, todo objeto possui suas características, como se fossem seus registros gerais. Isso ocorre, pois, cada material possui suas propriedades químicas e físicas. A primeira é determinada pelo contato do material com o ambiente, ou seja, a reação do material com fatores ambientais externos. Já as propriedades físicas são determinadas pelo comportamento do material em todas as circunstâncias do processo de fabricação e utilização.

Os materiais sintéticos podem ser produzidos de maneira barata, e suas propriedades podem ser administradas num nível em que muitas delas são superiores às suas contrapartes naturais. Em algumas aplicações, peças metálicas e de madeiras foram substituídas por plásticos, que possuem propriedades satisfatórias e podem ser produzidos a custos mais baixos. (CALLISTER, 2002).

A viabilização de determinado material para um projeto se deve as suas propriedades. Para que determinado material seja aprovado na execução de alguma tarefa, este deve ser cientificamente aprovado. Certificação essa obtida através de ensaios mecânicos.

Os parâmetros utilizados na determinação das propriedades mecânicas dos metais também são utilizados para os materiais polímeros, os plásticos, diferenciando-se é claro o seu comportamento. Para muitos materiais polímeros, o ensaio simples de tensão-deformação é empregado para a caracterização de alguns desses parâmetros (CALLISTER, 2002).

É certo afirmar que, os ensaios sozinhos não podem prever as propriedades dos materiais, estes devem ser padronizados a fim de assegurar os que o comportamento dos materiais seja igual ou similar. Esses padrões podem ser regidos por sociedades profissionais, no qual a ASTM (American Society for Testing and Materials) dispõe de maior aceitação. No

Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é responsável por essa normatização.

2.4.1 Ensaio de tração

Os ensaios mecânicos podem ser divididos de acordo com as avarias nos corpos de provas, em ensaios destrutivos e não destrutivos. Os ensaios destrutivos se fundamentam na destruição total ou parcial do corpo de prova, geralmente utilizados para identificar as características do material para estudar a viabilidade em um projeto.

De acordo com Garcia (2012) os ensaios não destrutivos são ensaios que, quando realizados sobre peças semiacabadas ou acabadas, não prejudicam nem interferem com o futuro das mesmas (no todo ou em parte). Em outras palavras, são ensaios que não deixam vestígios de sua utilização na peça ensaiada. Geralmente são utilizados na manutenção, quando deseja-se verificar imperfeições sem afetar na tarefa executada. Apesar da crescente inovação dos ensaios não destrutivos, os ensaios destrutivos ainda prevalecem nas análises dos materiais.

Dentre os ensaios destrutivos o mais amplamente utilizado é o Ensaio de Tração. Essa aplicabilidade se deve ao fato de ser um tipo de ensaio relativamente simples e de realização rápida, além de fornecer informações importantes e primordiais para o projeto e fabricação de peças e componentes (GARCIA, 2002).

Basicamente, o ensaio consiste na aplicação gradativa de uma carga de tração uniaxial nas extremidades do corpo, causando assim uma deformação no material até sua ruptura (figura 2.8). Os dados gerados neste ensaio determinam as propriedades físicas mecânicas do material, dessa forma, utilizado em testes de controles das especificações do material.

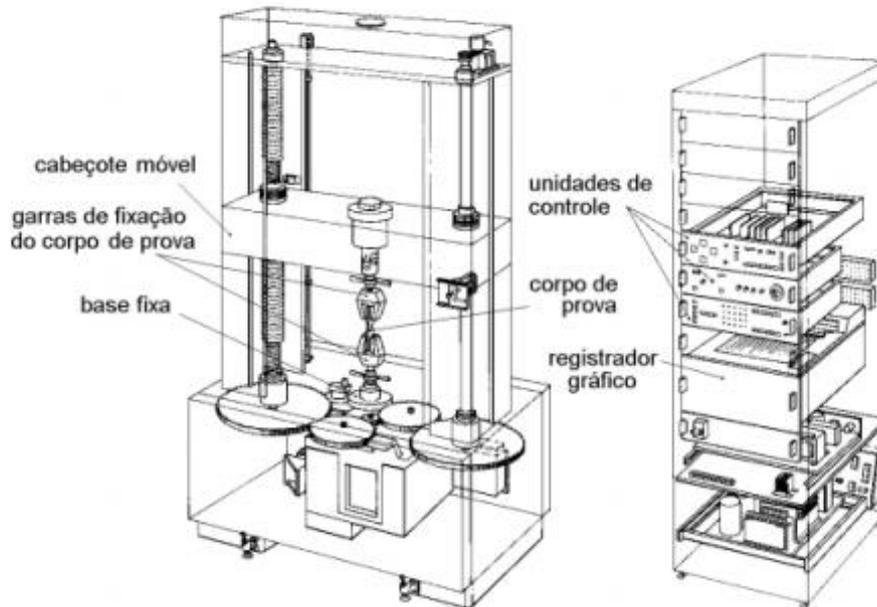


Figura 2.8 Representação do ensaio de tração
Fonte: Dalcin (2007)

2.5 Método de Taguchi

A qualidade dos produtos se tornaram a chave para o sucesso nas competições intensa dos mercados. Dessa forma, a melhoria da qualidade vem se tornando um grande lema nas grandes corporações, através da arte de se otimizar. Atualmente existem variados modelos estatísticos que auxiliam na otimização de produtos e processos, como por exemplo: método da variação transmitida, análise pós-ótima, otimização estocástica, métodos relativos e método de Taguchi, e etc. e todos têm suas peculiaridades, vantagens e desvantagens.

Segundo Taguchi (1986), a qualidade é medida pelo desvio que uma característica funcional apresenta em relação ao valor esperado da mesma. Os fatores chamados "Ruído" (temperatura, umidade, poeira, deterioração, etc.) causam tais desvios e resultam em perda de qualidade do produto.

O objetivo destas técnicas é o desenvolvimento de produtos que sejam robustos, isto é, que sejam pouco afetados por variações inevitáveis que

venham ocorrer em seus componentes, condições de fabricação ou pelo ambiente em que serão usados. (GUEDES, 2009, p.1).

O método de Taguchi possibilita que menos experimentos sejam realizados com alta precisão (figura 2.9), diferenciando-se de outros modelos de otimização estatística. Dessa forma, preferido na comunidade experimental e na fabricação mecânica por propor a idealização de um modelo robusto de qualidade.

Os produtos possuem numerosas características funcionais ou entidade variável, elas determinam a funcionalidade final do produto, ou seja, na qualidade do produto. Algumas características funcionais afetam em maior grau que outras, por exemplo, para obter um café quente, a temperatura de aquecimento da água influenciará mais que a densidade do pó de café.

Níveis das características funcionais também são analisadas pelo método de Taguchi, voltando ao exemplo anterior, característica funcional da temperatura de aquecimento da água. A característica pode apresentar variados níveis, ou temperaturas, com isso, Taguchi através de métodos estatísticos podem de maneira objetiva determinar a função qualidade, obtenção de café quente.

O método é caracterizado por gerar um fator que determina a influência de cada parâmetro a cada nível, conhecido como sinal ruído. A partir da determinação desse fator, podemos identificar o valor para a configuração analisada. O sinal ruído, é definido por funções qualidade que se caracterizam em três formas: nominal é maior, menor é melhor e maior é melhor. No nosso estudo foi utilizado a função maior é melhor, visto que o objetivo do trabalho é obter os maiores patamares de propriedade mecânica para os modelos.

Parâmetro 1	Parâmetro 2	Parâmetro 3
Nível 1	Nível 1	Nível 1
Nível 1	Nível 2	Nível 2
Nível 1	Nível 3	Nível 3
Nível 2	Nível 1	Nível 2
Nível 2	Nível 2	Nível 3
Nível 2	Nível 3	Nível 1
Nível 3	Nível 1	Nível 3
Nível 3	Nível 2	Nível 1
Nível 3	Nível 3	Nível 2

Figura 2.9 Matriz de Taguchi L9 no Minitab
Fonte: Elaborado pelo autor

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo será descrito todos os materiais e equipamentos utilizados durante o estudo, bem como a metodologia escolhida em cada etapa e o planejamento experimental para a obtenção de resultados fidedignos. Estes detalhes são de suma importância para o entendimento dos procedimentos e auxiliar a reprodução deste estudo como base. Os corpos de prova foram realizados na residência do autor e os experimentos na Universidade Estadual do Maranhão.

A pesquisa será abordada em caráter experimental, para elaboração de teorias na correlação dos fatores estudados. O estudo foi realizado utilizando-se a sequência mostrada na figura 3.1.



Figura 3.1 - Esquematização do estudo

3.1 Definição de material

Para a formação dos modelos no presente trabalho a partir da técnica da manufatura aditiva por impressoras, foi utilizado o material PLA. Sua versatilidade e disponibilidade para a fabricação foi primordial para acontecimento do estudo. Outro ponto importante e diferencial foi sua característica biodegradável, visto que essa característica vem se tornando uma tendência no ramo industrial.



Figura 3.2 Filamento Cliever PLA

O material em estudo se trata de um filamento bobinado de peso líquido de um (1) quilograma (kg), diâmetro 1,75 milímetros (mm) e de comprimento linear de 330 metros fornecido pela empresa Cliever, cor cinza (figura 3.2). Possuindo grande facilidade de impressão, ótima qualidade superficial e boa absorção de carga.

3.2 Definição do equipamento

Responsável pela deposição do material selecionado, a impressora 3D deve ser um instrumento de praticidade, principalmente em casos de produções de grande demanda, visto que neste experimento serão confeccionados diversos e numerosos modelos. Para isso, a impressora da marca FlashForge, modelo CreatorPro (figura 3.3) foi utilizada na fabricação dos modelos.

A impressora Creator Pro é uma das mais avançadas impressoras do mercado quando se refere a impressão de plásticos (PLA e ABS). Isso porque sua estrutura fechada minimiza os impactos dos fatores externos, tais como: umidade e resfriamento. O software disponibilizado na máquina é fechado, com isso, suas impressões são mais confiáveis que as de software aberto (RepRap). Dessa forma, o equipamento é considerado como ideal no presente estudo, já que os impactos externos serão praticamente nulos. Portanto, como o presente trabalho visa estudar o impacto de fatores nas propriedades mecânicas na fabricação de modelos esse tipo de impressora se torna a ideal para esse estudo.

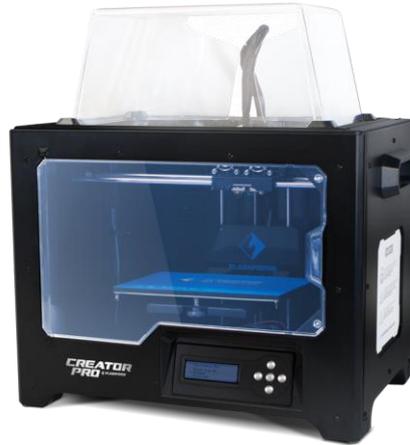


Figura 3.3 Impressora 3D CreatorPro

Para os ensaios de tração a máquina EMIC DL 10000 (figura 3.4) foi utilizada, visto que, se trata de uma máquina de ensaios de tração universal que podem ser utilizadas em metais, compósitos e plásticos em geral. A máquina é de tipo bancada e estrutura tipo coluna com cabeçotes móveis tipo garra. A EMIC utilizada no ensaio é de propriedade da UEMA e dota de um software capaz de plotar as informações obtidas ao longo do ensaio. Dessa forma, sendo utilizada durante todo o estudo.



Figura 3.4 Máquina de tração EMIC DL10000

3.3 Definição das variáveis

Os softwares que auxiliam na construção de modelos através do processo da impressão 3D, abrem uma vasta gama de possibilidades de parâmetros. Parâmetros estes que atingem na funcionalidade do objeto, de forma positiva ou negativa. Para isso, o trabalho focará em três parâmetros: tipo de preenchimento das malhas (figura 3.5), altura das camadas (figura 3.6) e ângulo de malhas (figura 3.7). Além disso, cada parâmetro terá três níveis. Conforme a tabela 3.1.

Tabela 3.1 Parâmetros do estudo

PARÂMETROS	NÍVEIS		
	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Tipo de preenchimento das malhas	Colmeia	Linear	Concêntrico
Altura das camadas	0,2mm	0,3mm	0,4mm
Ângulo das malhas	0°	45°	90°

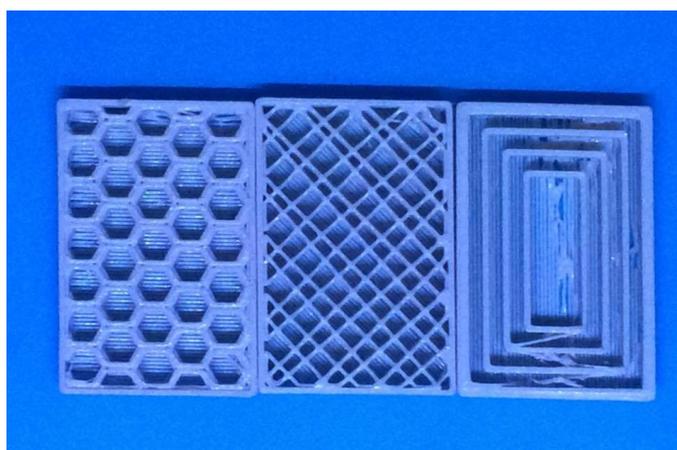


Figura 3.5 Parâmetro tipo de preenchimento das malhas

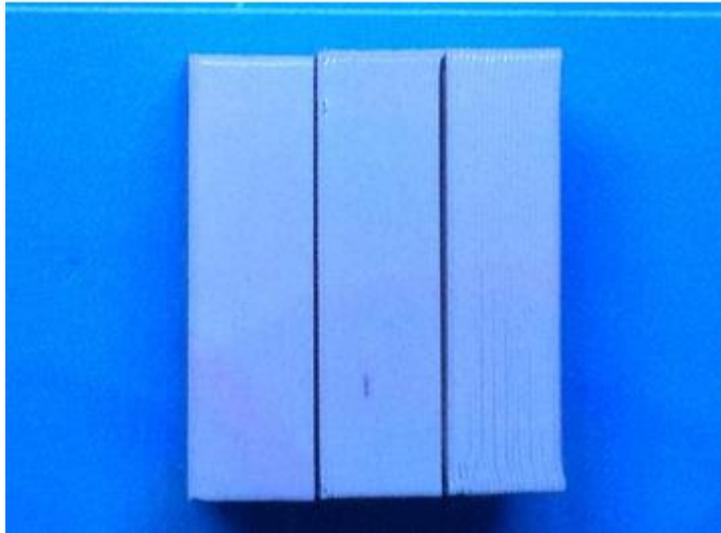


Figura 3.6 Parâmetro altura das camadas

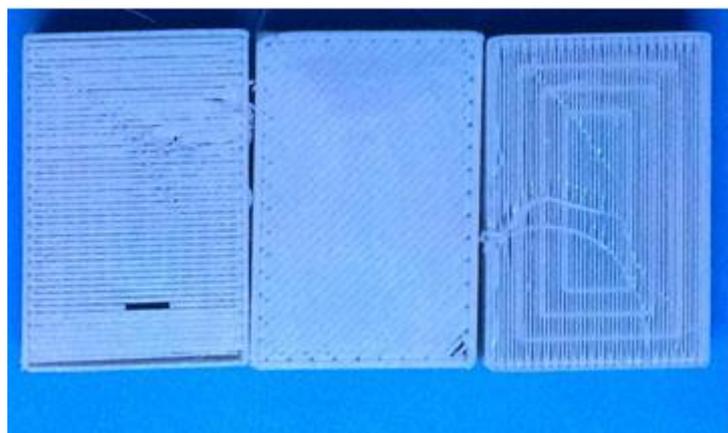


Figura 3.7 Parâmetro ângulo das malhas

Os parâmetros não foram selecionados de forma aleatória, pois todos afetam diretamente na estrutura do corpo de prova. Internamente e externamente serão visíveis as diferenças dos modelos construídos. Além disso, esses parâmetros podem ser configurados através do software Slice3r separadamente com os parâmetros base iguais conforme a tabela 3.2, assim, apenas os parâmetros selecionados serão estudados de forma separada e combinada.

Sabe-se que esses parâmetros selecionados de forma devida, melhoram na forma estética dos modelos impressos, no entanto, não existem teorias que comprovem seu efeito nas propriedades mecânicas dos materiais. Desse modo, esses parâmetros foram selecionados

a fim tornar um primeiro passo para o desenvolvimento e entendimento deste processo, parâmetros bases foram selecionados também afim de estudar apenas das variações dos parâmetros.

Tabela 3.2 Parâmetros base

Parâmetros Base	
Preenchimento	0,3
Temperatura de extrusão	210 °C
Temperatura da plataforma	60 °C
Qtd. Modelos por impressão	3
Diâmetro do filamento	1,75 mm

3.4 Criação de modelos

Nos ensaios mecânicos uma padronização deve ser definida, caso contrário, seus resultados não podem ser considerados, visto que, as execuções dos ensaios de maneira equivocada prejudicam na análise correta dos resultados. As sociedades regulamentadoras são responsáveis por determinar as normas a serem seguidas, neste presente estudo as normas da ASTM serão aplicadas, mais especificamente os padrões da norma ASTM D638, pois regulam as padronizações dos ensaios de tração em polímeros obtidos através da deposição de material. Nesse trabalho os ensaios serão executados no tipo IA da norma, conforme a figura 3.8.

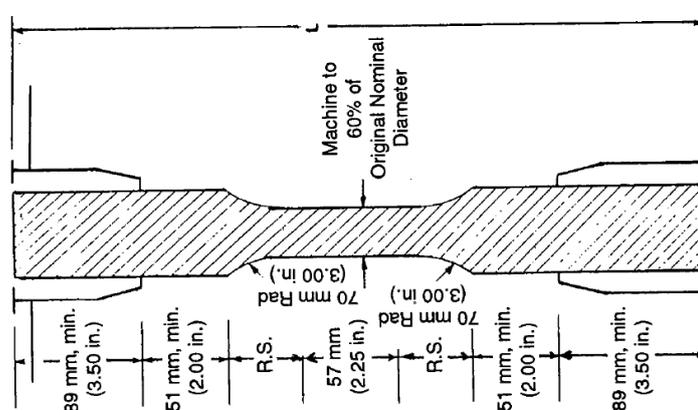


Figura 3.8 - Corpo de prova 1a (ASTM D638)

Seguindo a teoria da manufatura aditiva, o modelo de corpo de prova será obtido através de um software CAD, SolidWorks16, e convertidos em arquivos STL pelo próprio software CAD (figura 3.9). Após esta etapa, foi utilizado o software Slic3r para configurar os parâmetros do estudo, este mesmo software é largamente usado principalmente nas impressoras abertas por conta de sua praticidade e eficiência. Combinado a isso, o software da impressora, ReplicatorG foi utilizado a fim de lê o arquivo em linguagem G para a impressão. Finalmente, a impressora Creator Pro se encarregou de fabricar os corpos de prova.

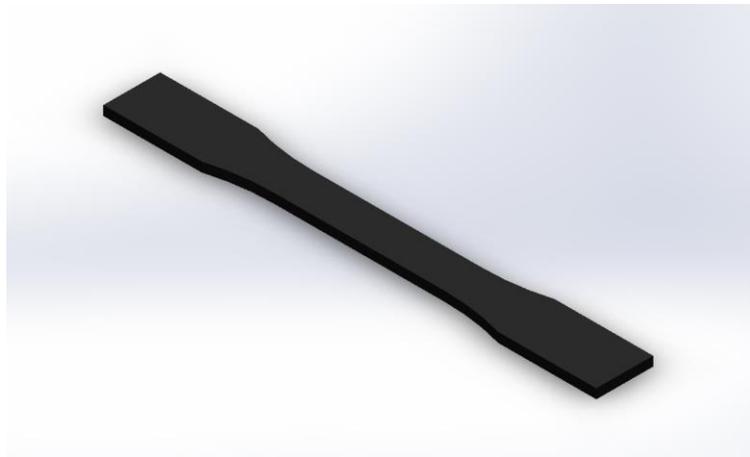


Figura 3.9 Representação CAD do corpo de prova

3.5 Realização dos ensaios

Seguindo a lógica do objetivo do trabalho, o ensaio aplicado na obtenção de dados será o ensaio por tração (figura 3.10). Esse ensaio possibilita um resultado preciso nos fatores estudados: tensão máxima de tração e alongamento.

Os procedimentos durante o ensaio também foram regidos conforme a norma ASTM D638, por exemplo, posicionamento dos modelos e velocidade da carga de tração. Esses procedimentos padronizados oferecem uma maior autenticidade e exatidão nas respostas do ensaio. Foi utilizado a velocidade da carga de tração em 5mm/min, conforme previsto na norma ASTM D638 para os modelos de tipo I.



Figura 3.10 Ensaio de tração no Modelo D

Conforme a matriz L9 de Taguchi, foram padronizados nove modelos apresentados na tabela 3.3. Foram realizados dois ensaios em cada modelo, cada ensaio no total de três corpos de provas, totalizando seis ensaios para cada modelo.

Tabela 3.3 Divisões dos modelos

Modelos	Tipo de preenchimento das malhas	Altura das camadas	Ângulo de malhas
Modelo A	Colmeia	0,2 mm	0°
Modelo B	Colmeia	0,3 mm	45°
Modelo C	Colmeia	0,4 mm	90°
Modelo D	Linear	0,2 mm	45°
Modelo E	Linear	0,3 mm	90°
Modelo F	Linear	0,4 mm	0°
Modelo G	Concêntrico	0,2 mm	90°
Modelo H	Concêntrico	0,3 mm	0°
Modelo I	Concêntrico	0,4 mm	45°

3.7 Determinação dos parâmetros ótimos

Após o levantamento de cálculos é possível mensurar os impactos dos parâmetros estudados. Nessa etapa, usamos o mesmo software do levantamento de dados, o Minitab. A finalidade dessa etapa é enumerar quais dos três fatores estudados causam um maior impacto nas propriedades mecânicas dos corpos de prova, além disso, quais níveis são considerados ótimos para tal parâmetro, finalizando assim o presente estudo de otimização.

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

Como citado no capítulo anterior, o experimento foi realizado em nove modelos, configurando assim, o modelo L9 de Taguchi com três parâmetros e três níveis. Os nove modelos foram impressos em dois lotes e em cada três unidades impressas simultaneamente, totalizando um número de cinquenta e quatro peças fabricadas para o estudo.

Os resultados a seguir serão representados pelas respostas dos modelos, durante o ensaio de tração. É importante destacar também que, todos os modelos foram impressos em um mesmo padrão, diferenciando-se apenas os parâmetros de estudo. Além disso, nenhuma das impressões foram interrompidas.

Não foram considerados os possíveis fatores externos como: tempo de retirada da plataforma, tempo trânsito do modelo até a realização do teste, e etc. Acredita-se assim que, esses fatores não irão influenciar diretamente nos resultados, visto que, o material analisado precisa de uma grande escala de tempo para sofrer alterações em sua estrutura, seus maiores fatores se encontram no processo de fabricação que foram explorados.

O estudo analisou duas propriedades mecânicas nos corpos de prova, tensão máxima de tração e alongamento, dessa forma foram escolhidos dois tipos de padrão ótimo, um para cada propriedade analisada.

Afim de tornar o estudo confiável, foram elaboradas cartas de controle de Shewhart no Minitab onde pode-se verificar que todos os resultados de tensão máxima e alongamento estão sobre controle pois não ultrapassam os limites inferior ou superior, conforme as figuras abaixo:

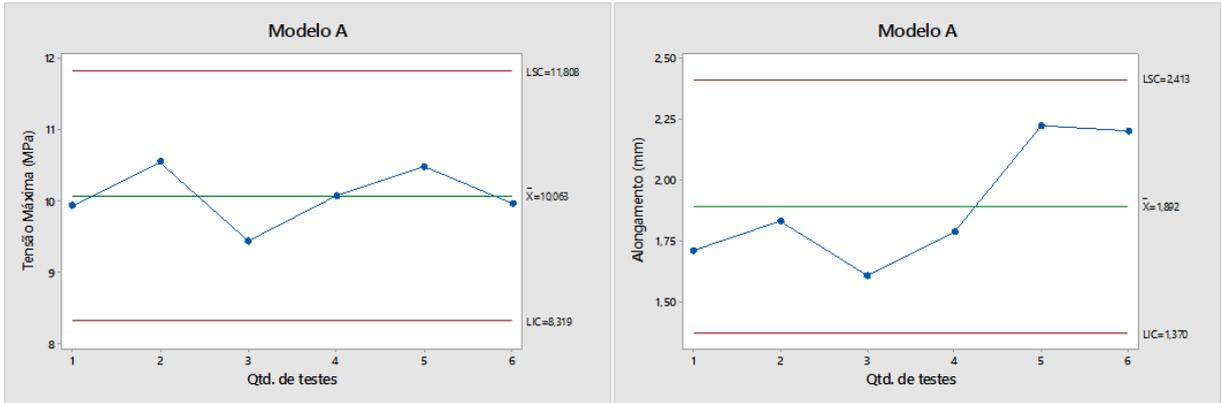


Figura 4.1 Carta de controle modelo A

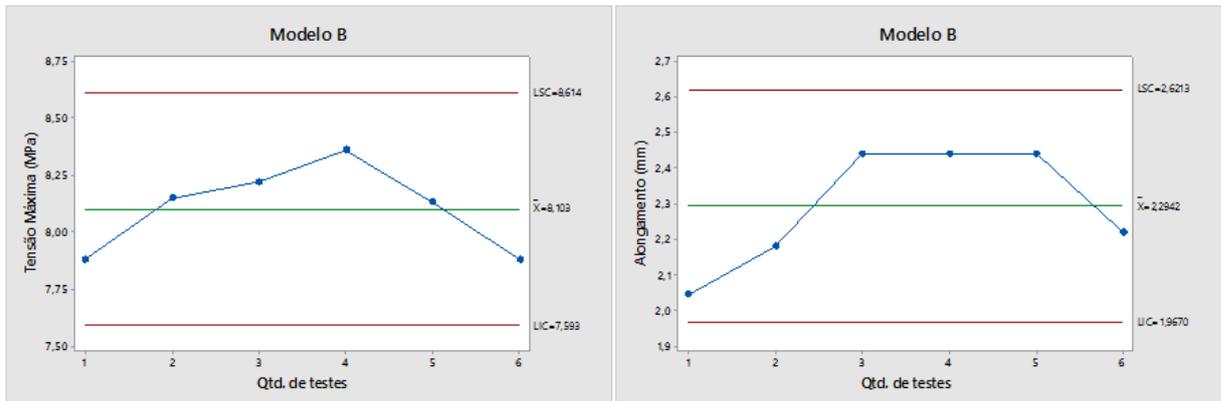


Figura 4.2 Carta de controle modelo B

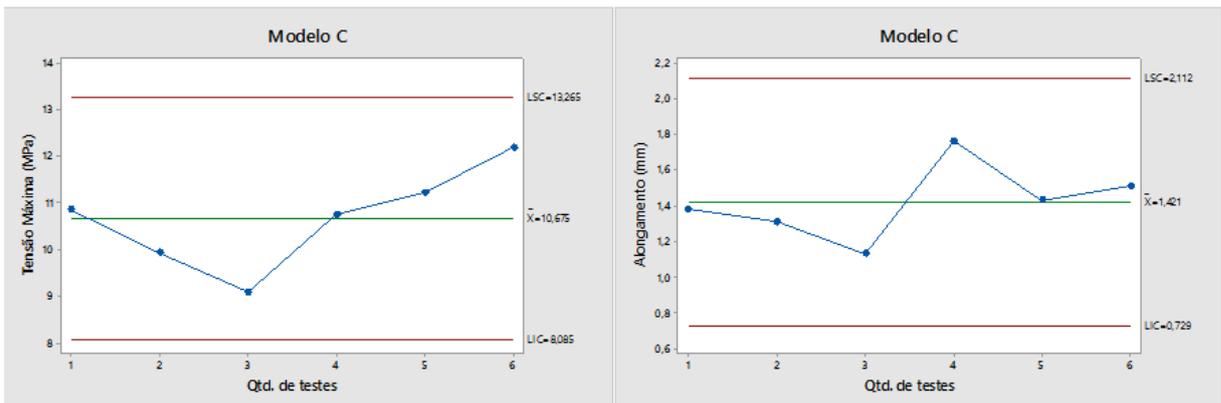


Figura 4.3 Carta de controle modelo C

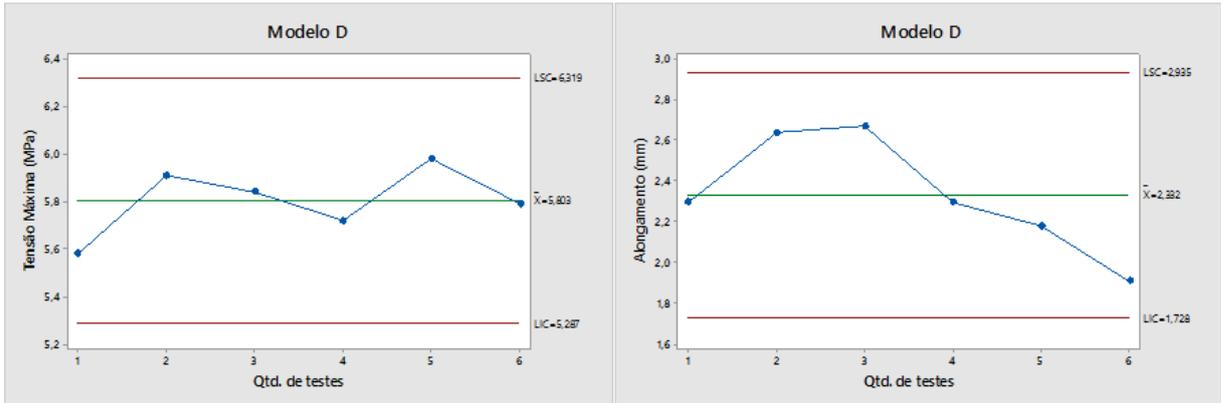


Figura 4.4 Carta de controle modelo D

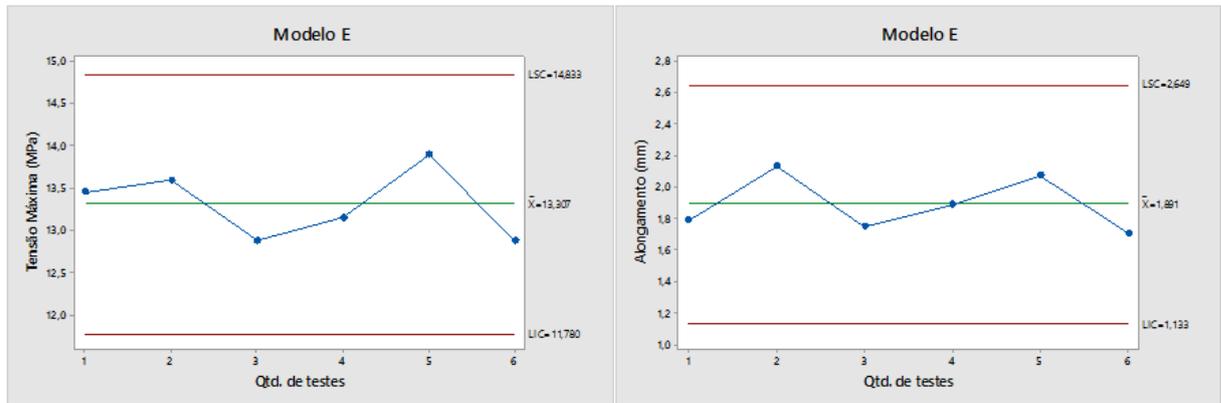


Figura 4.5 Carta de controle modelo E

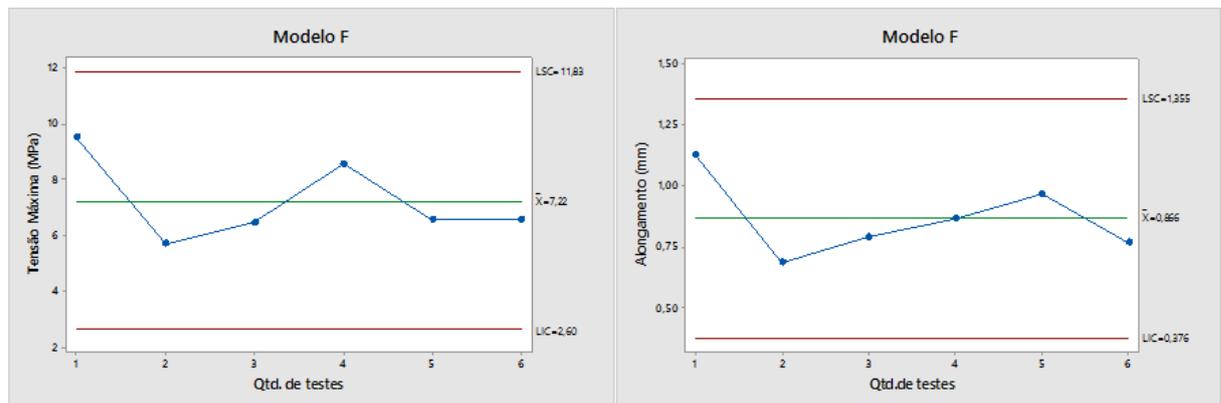


Figura 4.6 Carta de controle modelo F

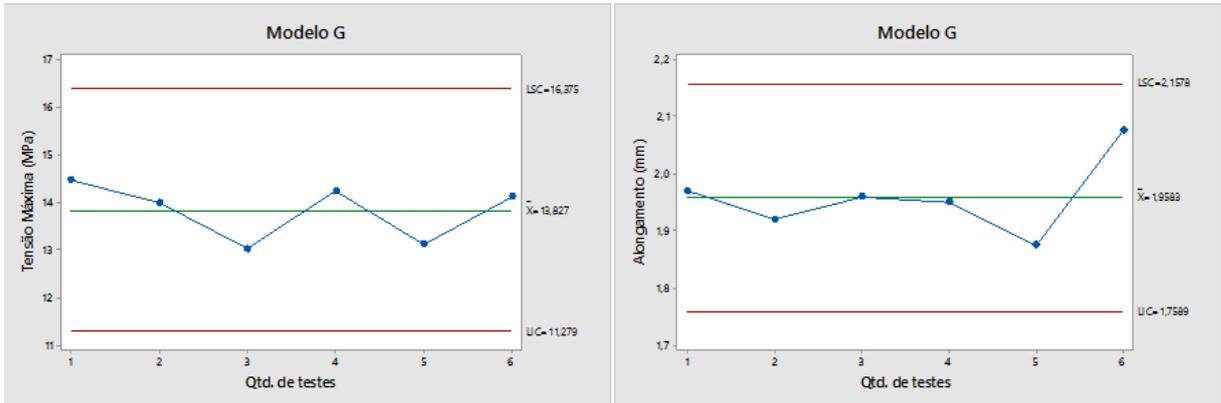


Figura 4.7 Carta de controle modelo G

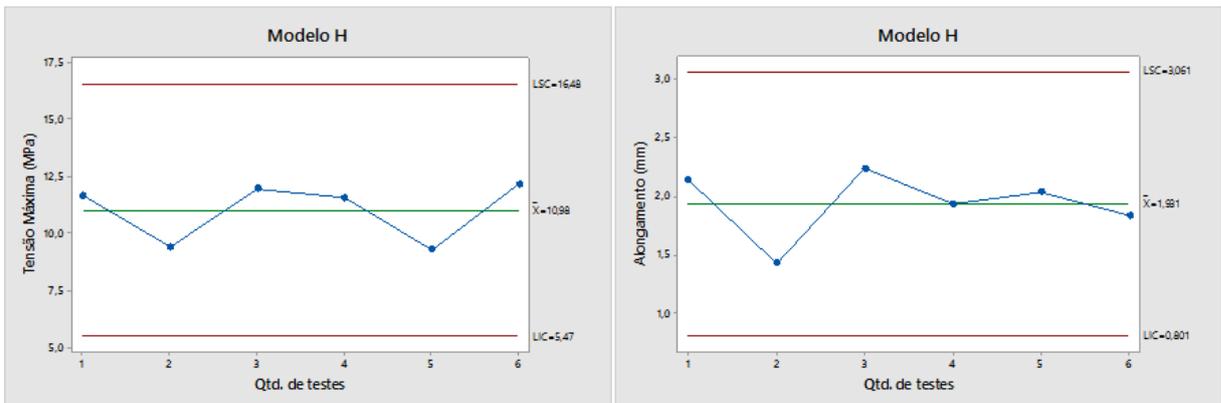


Figura 4.8 Carta de controle modelo H

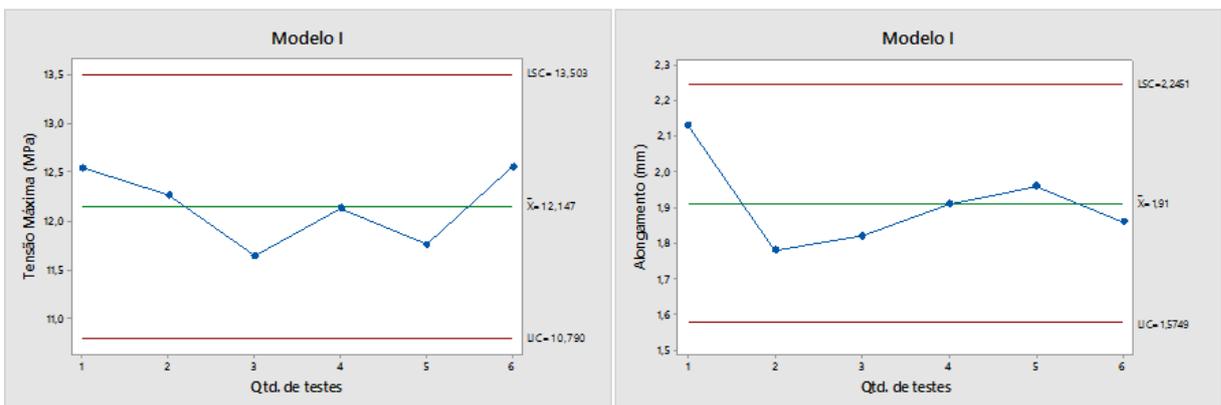


Figura 4.9 Carta de controle modelo I

4.1 Tensão máxima

Para cada parâmetro e níveis analisados nos nove modelos, foram coletados os resultados de tensão máxima representados como Y, como foram ensaiados seis modelos para cada modelo, assim temos seis respostas para cada conjunto de parâmetro estudado. Todos os resultados de tensão estão na unidade MPa. A tabela 4.1 apresenta o resultado obtidos:

Tabela 4.1 Respostas de tensão máxima

Modelo	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
Modelo A	9,92	10,54	9,43	10,06	10,47	9,96
Modelo B	7,88	8,15	8,22	8,36	8,13	7,88
Modelo C	10,85	9,93	9,09	10,75	11,23	12,2
Modelo D	5,58	5,91	5,84	5,72	5,98	5,79
Modelo E	13,45	13,59	12,88	13,15	13,89	12,88
Modelo F	9,51	5,69	6,45	8,55	6,55	6,55
Modelo G	14,47	13,99	13,02	14,24	13,12	14,12
Modelo H	11,64	9,37	11,92	11,54	9,26	12,13
Modelo I	12,54	12,26	11,64	12,13	11,76	12,55

A tabela 4.2 apresenta os resultados dos fatores de sinal ruído pelo método de Taguchi obtido através do Minitab. Pela tabela, verifica-se que dos parâmetros analisados, os ângulos das malhas foi o fator de maior impacto seguido do tipo de malha e altura das camadas.

Tabela 4.2 Sinal ruído de tensão máxima

Nível	Tipo de preenchimento das malhas	Altura das camadas	Ângulo de malhas
1	19,55	19,37	19,15
2	18,17	20,43	18,37
3	21,70	19,63	21,91
Ranking	2	3	1

Após a constatação dos fatores de maior impacto, foram definidos os níveis de parâmetros ótimos para cada parâmetro, conforme a figura 4.10.

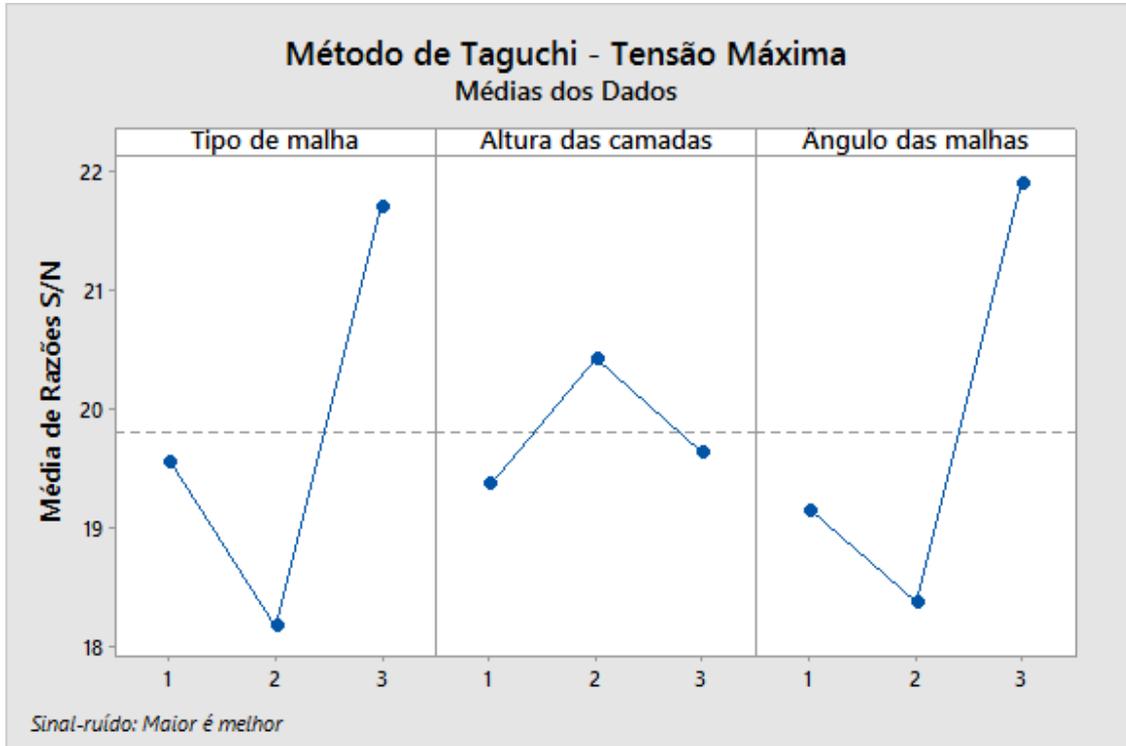


Figura 4.10 Gráfico de sinal ruído das respostas de tensão máxima

De acordo com a figura 4.10, foram determinados os valores ótimos para cada fator. Para o estudo quanto maior for a tensão máxima suportada pelo material melhor. Dessa forma, para o fator um o nível três apresentou a melhor performance, para o segundo fator o nível dois e para o último fator o nível três. Assim temos a configuração que representa a melhor performance de tensão máxima. O objeto deve ter o tipo de malha concêntrica, altura da camada de 0,3 mm e ângulo de malha igual a 90° (tabela 4.3).

Tabela 4.3 Parâmetros ótimos para tensão máxima

Parâmetros ótimos	
Tipo de malha	Concêntrico
Altura da camada	0,3 mm
Ângulo da malha	90 °

4.2 Alongamento

Da mesma forma para a obtenção dos valores ótimos para a tensão máxima, foram realizados também na análise de alongamento do material estudado. Seis respostas para cada modelo foram obtidas da mesma maneira também, conforme a tabela 4.10.

Tabela 4.4 Respostas de alongamento

Modelo	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
Modelo A	1,71	1,83	1,605	1,785	2,22	2,2
Modelo B	2,045	2,18	2,44	2,44	2,44	2,22
Modelo C	1,38	1,31	1,13	1,765	1,43	1,51
Modelo D	2,295	2,64	2,67	2,295	2,18	1,91
Modelo E	1,79	2,135	1,75	1,89	2,075	1,705
Modelo F	1,125	0,685	0,79	0,865	0,965	0,765
Modelo G	1,97	1,92	1,96	1,95	1,875	2,075
Modelo H	2,135	1,425	2,235	1,93	2,03	1,83
Modelo I	2,13	1,78	1,82	1,91	1,96	1,86

Com base nos resultados obtidos pelos ensaios, identificamos os fatores que causam maior impacto nos alongamentos nos corpos de prova. A altura das camadas foram o principal fator, seguido do ângulo de malhas e tipo de malha respectivamente conforme a tabela 4.4.

Tabela 4.5 Sinal ruído de alongamento

Nível	Tipo de preenchimento das malhas	Altura das camadas	Ângulo de malhas
1	5,103	6,118	3,061
2	3,679	6,004	6,636
3	5,608	2,268	3,576
Ranking	3	1	2

Consequentemente, definimos os níveis de valores ótimos, o fator um o nível três apresentou a melhor performance, para o segundo fator o nível três e para o último fator o

nível dois. Assim temos a configuração que representa a melhor performance de alongamento (figura 4.11). O objeto deve ter o tipo de malha concêntrica, altura da camada de 0,2 mm e ângulo de malha igual a 45° (tabela 4.6).

Tabela 4.6 Parâmetros ótimos para alongamento

Parâmetros ótimos	
Tipo de malha	Concêntrico
Altura da camada	0,2 mm
Ângulo da malha	45 °

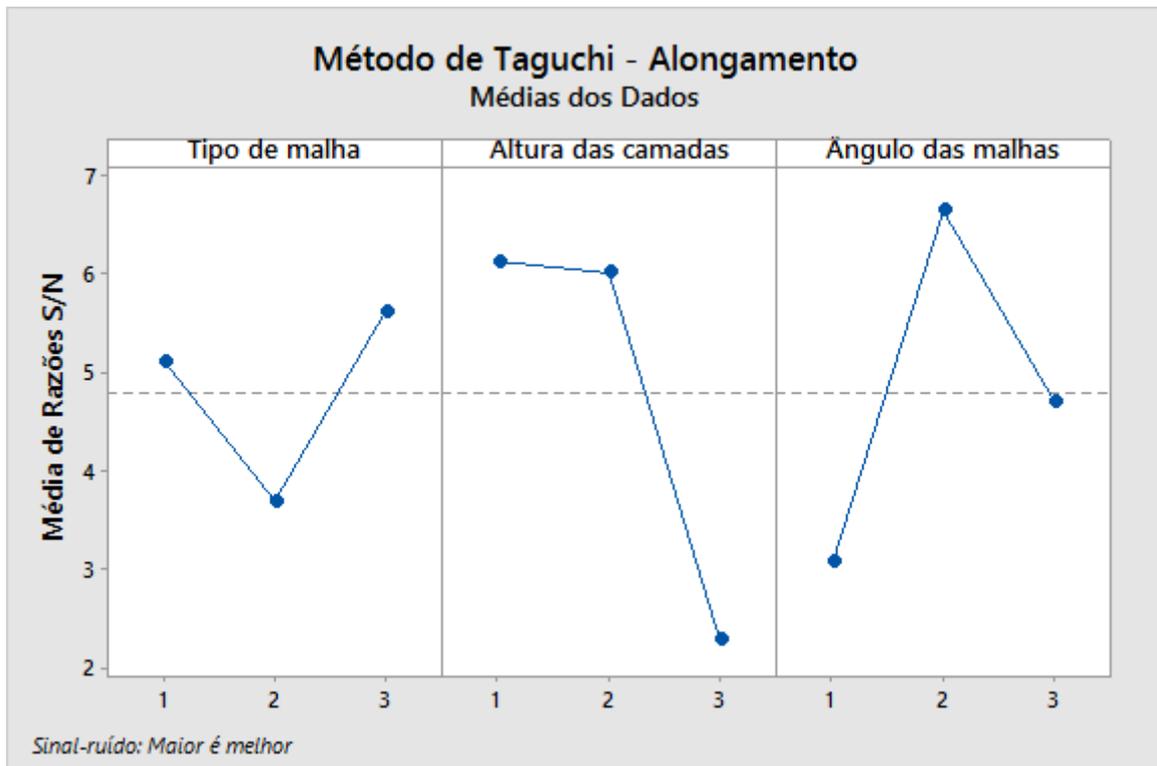


Figura 4.11 Gráfico de sinal ruído das respostas de alongamento

É importante listar que os modelos verificados como ótimos para a tensão máxima e alongamento não foram testados, no entanto, foram confirmados pelo método de Taguchi. Esse método proporcionou ao estudo realizar a análise precisa na determinação dos resultados e de maneira rápida, pois não foram testadas todas as combinações possíveis.

A importância dos parâmetros também não seguiu uma regra, para a tensão máxima a altura das camadas pouco interferiu nos resultados, no entanto, o parâmetro que mais afetou no alongamento dos corpos foi justamente a altura das camadas. Além disso, foi identificado que os diferentes tipos de malhas apresentaram diversos tipos de fraturas, conforme a figura 4.12. Isso deve-se ao fato dos ângulos das posições internas das malhas nos corpos de provas.



Figura 4.12 Modos de fraturas dos corpos de prova

4.3 *Correlação de tensão máxima e alongamento*

Em sua maioria a relação tensão máxima e alongamento comportam-se de maneira inversamente proporcional. Ou seja, os modelos com alto valor de tensão máxima apresentaram um pequeno alongamento nos corpos de prova. No entanto, essa relação em alguns modelos se comporta de maneira diretamente proporcional ou em alguns casos, não se pode tirar qualquer tipo de conclusão.

De acordo com a figura 4.13 e 4.14, que analisa os valores de tensão máxima e alongamento para o fator do tipo de preenchimento, entende-se que no tipo colmeia, a relação ocorre de maneira inversamente proporcional, já nos tipos lineares e concêntricas não existe qualquer correlação.

Na figura 4.15 e 4.16, a análise da altura da camada, a relação da altura 0,2 mm é inversamente proporcional, já na altura 0,4 mm, diretamente proporcional. A altura de 0,3 mm não se pode tirar conclusões.

E por último na figura 4.17 e 4.18, que estuda o ângulo do preenchimento, nos ângulos de 0° e 90° graus entende-se um comportamento diretamente proporcional, já o de 45° inversamente.

Assim, podemos concluir que não existe qualquer relação entre tensão máxima e alongamento nos materiais estudados (figura 4.19), conforme já obtido anteriormente pelo método de Taguchi onde os parâmetros ótimos identificados não foram iguais para as duas análises.

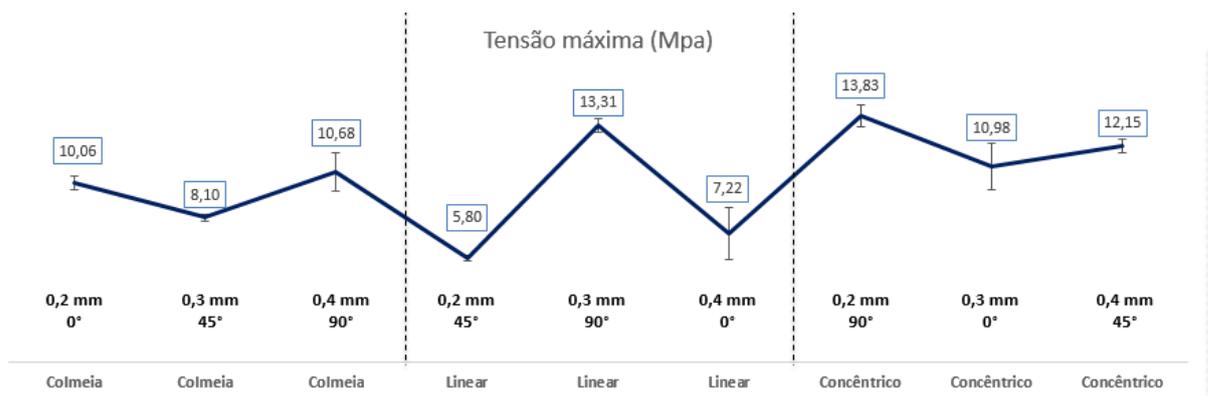


Figura 4.13 Média de tensão máxima para tipo de malha

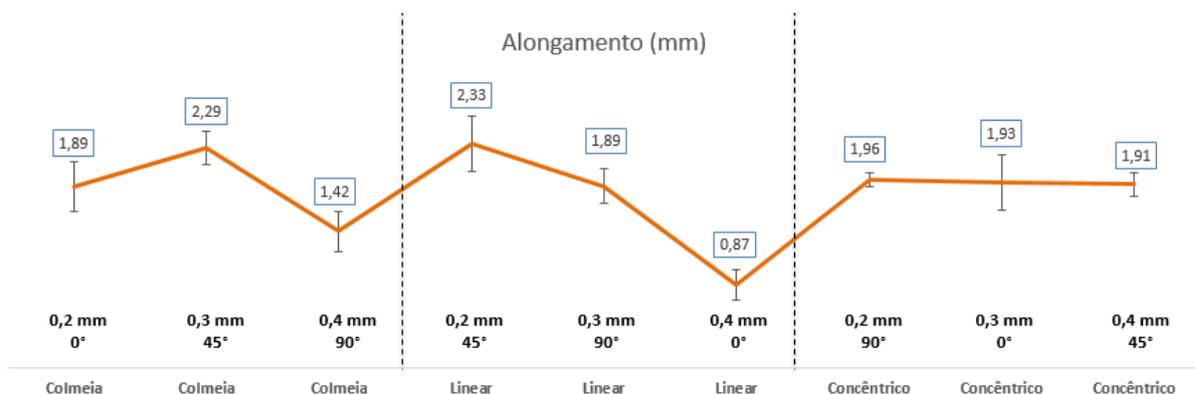


Figura 4.14 Média de alongamento para tipo de malha

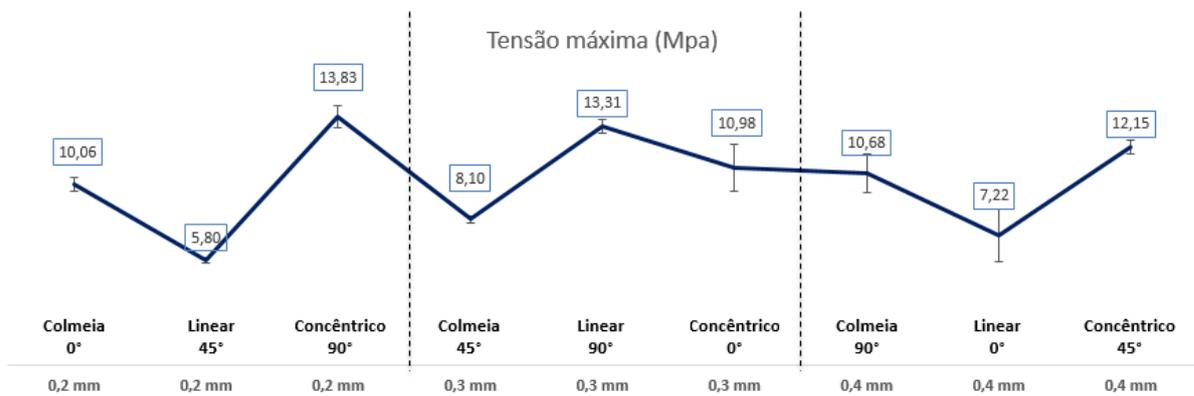


Figura 4.15 Média de tensão máxima para altura da camada

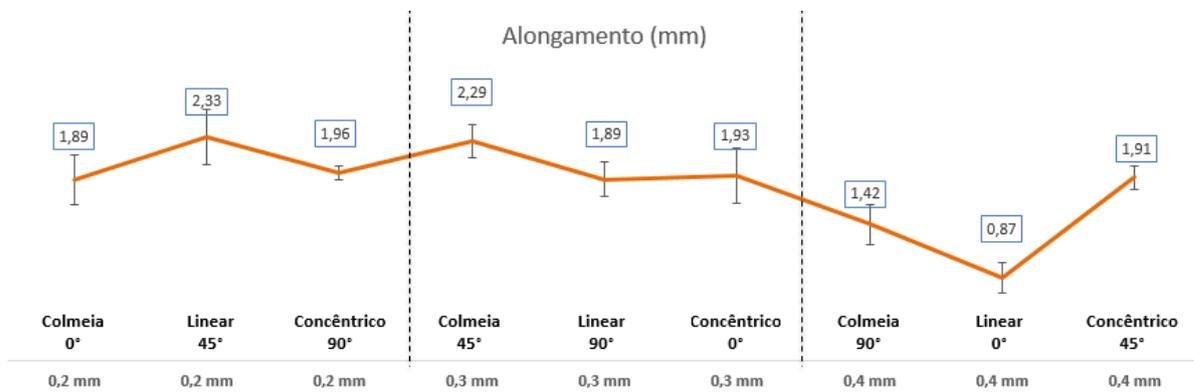


Figura 4.16 Média de alongamento para altura da camada

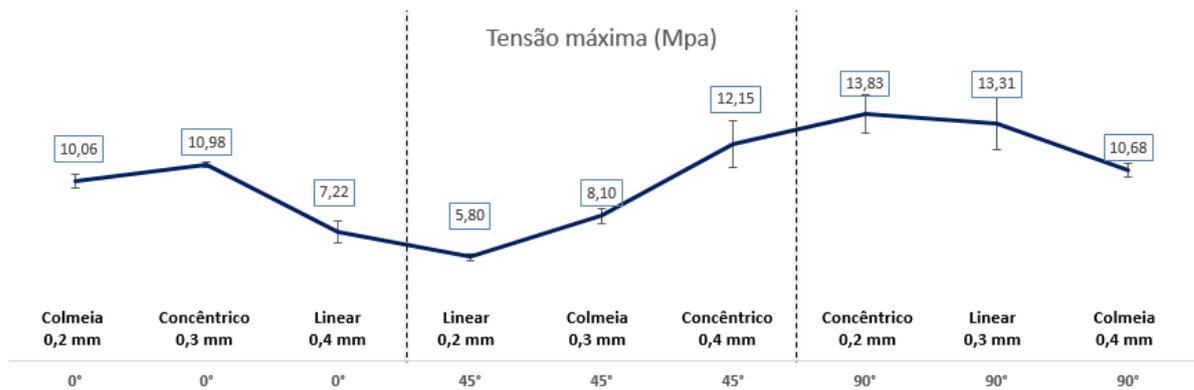


Figura 4.17 Média de tensão máxima para ângulo de malha

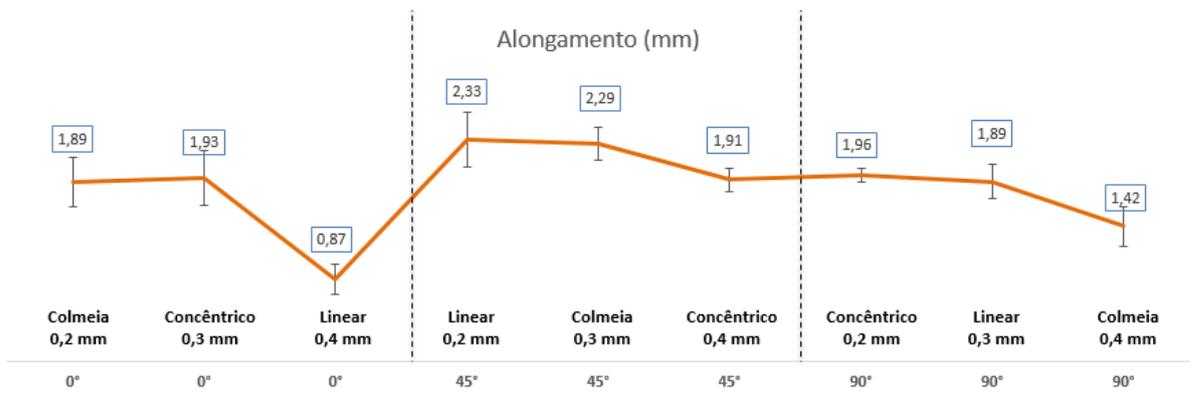


Figura 4.18 Média de alongamento para ângulo de malha

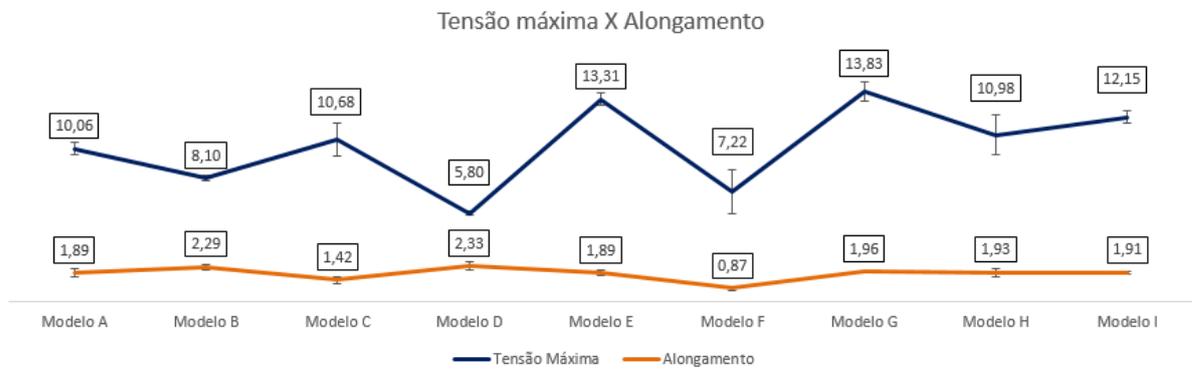


Figura 4.19 Relação das respostas médias de tensão máxima e alongamento

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao fim desse trabalho, podemos concluir que, o método de Taguchi torna-se uma ferramenta acurada na verificação de parâmetros ótimos, auxiliando na otimização dos materiais, principalmente quando as influências desses parâmetros são desconhecidas. Essa ferramenta dá a oportunidade de analisar parâmetros com um menor número de modelos possíveis, dessa forma, agilizando a análise sem perder a exatidão das respostas.

O método foi primordial para determinar as melhores configurações de acordo com os parâmetros e níveis analisados, além disso, foi verificado que as configurações para tensão máxima e alongamento são foram iguais e nem foram testadas, no entanto, com base nas respostas obtidas prevemos quais seriam os parâmetros e níveis ótimos para cada fator. O presente trabalho de conclusão de curso, concluiu com êxito seu objetivo que foi de explorar uma área pouco conhecida, aplicar ferramentas de qualidade na previsibilidade de resultados e o mais importante, dar suporte aos graduandos na execução de protótipos para suas atividades acadêmicas.

Esse estudo abre um leque de oportunidades de desenvolvimento de vários parâmetros que não foram estudados já que foram analisados apenas uma pequena gama de fatores estruturais, parâmetros de caráter químico e físico como: velocidade de impressão, porcentagem de preenchimento, cor do material, temperatura de impressão e etc. podem ser analisados em futuros trabalhos. Além disso, podem ser analisados possíveis ruídos após a fabricação desses modelos, como: modo de retirada da plataforma, tempo de retirada da plataforma, modo de estocagem dos materiais, e etc. Outras propriedades mecânicas também podem ser estudadas.

REFERENCIAS

ALVES, Castro. Navio negreiro. [S.l.]: Virtual Books, 2000. Disponível em: . Acesso em: 10 jan. 2002, 16:30:30.

ALVES, Luiz Henrique D. **Utilização do método de taguchi na modelagem e otimização de vazios relacionados à solidificação em processo de fundição de aço abnt 1030.** 2009. 149p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D638-02a: Standard test method for tensile properties of plastics.** West Conshohocken, PA. 2014.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução.** John Wiley & Sons, Inc., 2002.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica 2ed.** São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

DALCIN, Gabrieli Bortoli. **Ensaio dos materiais.** – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Santo Ângelo, 2007

FINOTTI, Pablo Felipe M. **Estudo do comportamento mecânico e biocompatibilidade de blendas PLA/PCL compatibilizadas e não compatibilizadas.** 2014. 190p. Tese (Pós-Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.

GARCIA, Amauri. **Ensaio dos Materiais 2ed.** Rio de Janeiro: LTC, 2012.

GIBSON, I; Rosen, D.W; STUCKER, B. **Additive Manufacturing Technologies – Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing.** New York: LLC, 2010

GUEDES, Terezinha Aparecida. **Procedimentos de otimização no planejamento e controle da qualidade de produtos e processos.** 1996. 148p. Tese (Pós-Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MONTEIRO, Marco Túlio. **A Impressão 3D no meio produtivo e o design: um estudo na fabricação de joias,** 2015. Disponível em: <<http://anapaulanasta.com/wp-content/uploads/2015/09/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Marco-T%C3%BAlio-Ferreira-Monteiro.pdf>>. Acesso em: 27 de set. 2017

PIATTI, T.A; RODRIGUES, R.A. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais.** Maceió, Universidade Federal de Alagoas, 2005.

PINHO, Eduardo. **Biopolímeros: “plásticos” de grãos e tubérculos.** *A Lavoura*, n. 690, p. 23-24, 2012.

RAMALHO, M. **Plásticos Biodegradáveis Provenientes da Cana de Açúcar**. São Paulo, Faculdade de Tecnologia da zona Leste, 2009.

RAULINO, Bruno Ribeiro. **Manufatura Aditiva: Desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (Modelagem por fusão e deposição)**. 2011. 111p. Trabalho de graduação – Universidade de Brasília, Brasília.

SÁNCHEZ, J.M.Y. **Ácido poliláctico, polímero biodegradable base de materiales sintéticos**. Disponível em: < <http://www.monografias.com/trabajos66/acido-polilactico/acido-polilactico2.shtml>>. Acesso em: 30 set. 2017

TAGUCHI, G. **Introduction to quality engineering : designing quality into products and processes**. Tokyo: The Organization, 1986.

TAKAGAKI, Luiz Koiti. **Tecnologia de impressão 3d. RIT - Revista Inovação Tecnológica**, v.2, n. 2, São Paulo, 2012.

VILANOVA, Andrew; MALVERDE, João; DE LIMA, Wayne. **Additive Manufacturing for the Production of a Knee Joint Prototype**. Macon, Mercer Summer Engineering Experience, 2015.

VINKA, E.T.H; RÁBAGO, K.R; GLASSNER, D.A; GRUBER, P.R. **Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production**. Minnesota, Cargill Dow, 2002. Joias Disponível em: <http://www.natureworkslc.com/~/media/The_Ingeo_Journey/EcoProfile_LCA/EcoProfile/NTR_CompleteLCA_EcoProfile_1102_pdf.pdf?la=en>. Acesso em: 27 set. 2017