



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR PAU DOS FERROS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ HENRIQUE MACIEL DE QUEIROZ

**APLICAÇÃO DE IMPRESSÕES 3D COMO RECURSO DIDÁTICO PARA O
ENSINO DO COMPONENTE CURRICULAR ESTRUTURAS DE AÇO NA UFERSA-
CMPF**

PAU DOS FERROS

2018

JOSÉ HENRIQUE MACIEL DE QUEIROZ

**APLICAÇÃO DE IMPRESSÕES 3D COMO RECURSO DIDÁTICO PARA O
ENSINO DO COMPONENTE CURRICULAR ESTRUTURAS DE AÇO NA UFERSA-
CMPF**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Matheus Fernandes de Araujo Silva, Prof. Me.

Co-orientadora: Hortência Pessoa Rego Gomes, Pedagoga, Me.

PAU DOS FERROS

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Q3a Queiroz, José Henrique Maciel de .
Aplicação de Impressões 3D como recurso
didático para o ensino do componente curricular
Estruturas de Aço na UFERSA-CMPF / José Henrique
Maciel de Queiroz. - 2018.
73 f. : il.

Orientador: Matheus Fernandes de Araújo Silva.
Coorientadora: Hortência Pessoa Rêgo Gomes.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2018.

1. Impressão 3D. 2. Estruturas de Aço. 3.
Ensino. 4. Didática. I. Silva, Matheus Fernandes
de Araújo, orient. II. Gomes, Hortência Pessoa
Rêgo, co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JOSÉ HENRIQUE MACIEL DE QUEIROZ

**APLICAÇÃO DE IMPRESSÕES 3D COMO RECURSO DIDÁTICO PARA O
ENSINO DO COMPONENTE CURRICULAR ESTRUTURAS DE AÇO NA UFERSA-
CMPF**

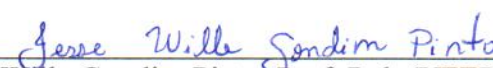
Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 14 / 09 / 2018.

BANCA EXAMINADORA



Matheus Fernandes de Araújo Silva, Prof. Me. (UFERSA)
Presidente



Jesse Wille Gondim Pinto, Prof. Bel. (UFERSA)
Membro Examinador



Felipe Correia de Paiva, Eng. Civil, Bel. (UFRN)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Adonias Ribeiro e Maria Correia que nunca mediram esforços para oferecer o melhor para seus filhos. Por todo o amor, carinho e educação que foram cruciais para a determinação do meu caráter e desenvolvimento na carreira acadêmica.

Aos demais familiares, em especial aos meus irmãos Janailson Marciel, Janaina Maciel e Apollo Bruno aos quais tenho grande carisma, prestígio e que sempre me apoiam quando necessário.

Agradeço ao meu orientador Matheus Fernandes e co-orientadora Hortência Pessoa que cumpriram com maestria com o papel atribuído a eles e que tornaram essa pesquisa uma experiência enriquecedora e prazerosa em minha vida, devido à atenção dedicada, seus conhecimentos investidos e, além de tudo, sua amizade.

Agradeço à banca examinadora por se dispor a contribuir com o trabalho de forma a melhorar sua qualidade e incentivar a continuar a pesquisa.

Aos demais que contribuíram em algum momento desta pesquisa, principalmente a Felipe Paiva, que a apoiou prontamente, assim como aos discentes da turma de Estruturas de Aço consultados durante entrevistas, pela disponibilidade e informações concedidas.

Aos colegas de Curso, com os quais pude compartilhar tantos momentos desta jornada acadêmica. Um abraço especial para Caio Abrantes e Kleber Dantas que são pessoas merecedoras da minha estima, que me acompanharam durante a graduação, dentro e fora da Universidade, e me forneceram ajuda e motivação ora sem perceber, mas de forma essencial para esta concretização.

Aos diversos professores que passaram pela minha vida, pois todos contribuíram de alguma forma para esta realização.

Enquanto você continuar vendo as estrelas
como algo acima de você, continuará sem o
conhecimento.

Friedrich Nietzsche.

RESUMO

O processo ensino-aprendizagem possui diversos desafios que o professor deve superar juntamente com os seus alunos, por meio da utilização dos métodos, técnicas e recursos disponíveis. Na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Centro Multidisciplinar Pau dos Ferros, uma das dificuldades apresentadas pelos discentes do componente curricular Estruturas de Aço no semestre 2018.1 é a de visualizar e compreender representações bidimensionais expostas em exemplos no quadro-branco, exercícios e questões presentes em atividades avaliativas. Visando fornecer alternativas para contornar esta problemática, propõe-se neste trabalho a adoção de uma tecnologia que tem despertado bastante atenção atualmente em diversos segmentos do mercado: a impressão 3D. Com uma impressora 3D foram construídas então, peças representativas de elementos comumente presentes no projeto de estruturas metálicas e que consequentemente são explanadas pelo docente em sua aula. Estas peças foram utilizadas, de forma experimental, para a complementação da didática do docente a partir da segunda unidade do componente curricular, expondo conceitos de forma mais interativa e realística. Qualitativamente, foi avaliada a percepção dos integrantes da turma em relação a este recurso didático, mostrando a sua importância e impacto sobre o aprendizado dos discentes. Todos os discentes entrevistados durante a pesquisa se mostraram satisfeitos com a implementação da tecnologia em aula, ressaltando que esta realmente os auxiliou na assimilação dos conceitos discutidos no âmbito do componente Estruturas de Aço. Percebeu-se ao longo do trabalho que este tipo de solução é aprovado pelos alunos e que, para eles, é uma boa forma de complementar sua formação.

Palavras-chave: Impressão 3D. Estruturas de aço. Ensino. Didática.

ABSTRACT

The teaching-learning process has several challenges that the teacher must overcome along with his students, using the available methods, techniques and resources. At the Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Centro Multidisciplinar Pau dos Ferros, one of the difficulties presented by the students of the curricular component Structures of Steel in the semester 2018.1 is to visualize and understand two-dimensional representations exposed in examples on the chalkboard, exercises and present questions in evaluation activities. Aiming to provide alternatives to overcome this problem, it is proposed in this work the adoption of a technology that has attracted a lot of attention currently in several market segments: 3D printing. With a 3D printer were constructed, pieces representative of elements commonly present in the design of metal structures and that consequently are explained by the teacher in his class. These pieces were used, experimentally, to complement the didactics of the teacher from the second unit of the curricular component, exposing concepts in a more interactive and realistic way. Qualitatively, the perception of the members of the class in relation to this didactic resource was evaluated, showing its importance and impact on students' learning. All the students interviewed during the research were satisfied with the implementation of the technology in class, emphasizing that it really helped them in the assimilation of the concepts discussed in the scope of the Steel Structures component. It was realized throughout the work that this type of solution is approved by the students and that, for them, is a good way to complement their training.

Keywords: 3D printing. Steel structures. Teaching. Didactics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Aparato de esteriolitografia registrado por Charles Hull em 1986.....	26
Figura 2	– Aparato registrado por Crump em 1989 com o método FDM.....	27
Figura 3	– Modelo de impressora 3D Darwin 1.0.....	27
Figura 4	– Vista aérea UFERSA – CMPF	32
Figura 5	– Interface do Trimble SketchUp Pro 2017.....	34
Figura 6	– Interface do software Ultimaker Cura 3.3.1.....	35
Figura 7	– Impressora XYZ Da Vinci utilizada.....	36
Figura 8	– Materiais empregados no acabamento das peças.....	37
Figura 9	– Modelo - base de pilar.....	38
Figura 10	– Empenamento da seção na flambagem por torção.....	39
Figura 11	– Coeficiente de flambagem por flexão.....	40
Figura 12	– Classificação das ligações quanto ao seu comportamento momento M x rotação relativa ϕ	42
Figura 13	– Ligações viga-pilar.....	43
Figura 14	– Modelo – conexão entre cantoneiras.....	45
Figura 15	– Seção transversal de uma dupla cantoneira.....	45
Figura 16	– Treliça plana de exemplo.....	47
Figura 17	– Espuma gradeada.....	53
Figura 18	– Pórtico com régua acoplada.....	54
Figura 19	– Pórtico em espuma.....	55
Figura 20	– Treliça de palitos de churrasco.....	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	–	Parâmetros básicos utilizados na máquina de impressão 3D.....	36
Quadro 2	–	Comparativo entre representações 2D e 3D.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
3D print	Impressão Tridimensional
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
BR	Rodovia Federal
CAD	Desenho Assistido por Computador
CG	Centro de Gravidade
CMPF	Centro Multidisciplinar Pau dos Ferros
Dr.	Doutor
FDM	Modelagem por Deposição de Material Fundido
GCODE	Código G
IGES	<i>Initial Graphics Exchange Specification</i>
LOM	Manufatura de Objetos Laminados
MEC	Ministério da Educação
NBR	Norma Brasileira
PEX0288	Código da disciplina Estruturas de Aço
PGCC	Programa Geral de Componente Curricular
PPC	Projeto Pedagógico do Curso
RepRap	<i>The Replicating Rapid Prototyper</i>
RP	Prototipagem Rápida
SLS	Sinterização Seletiva a Laser
STL	Esteriolitografia
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

LISTA DE SÍMBOLOS

km	Quilômetros
mm	Milímetros
%	Porcentagem
°C	Graus Celsius
s	Segundos
cm	Centímetros
®	Marca registrada
N_{ex}	Força axial de flambagem elástica em relação ao eixo das abscissas
N_{ey}	Força axial de flambagem elástica em relação ao eixo das ordenadas
N_{ez}	Força axial de flambagem elástica em relação ao eixo longitudinal
E	Módulo de elasticidade
I_x	Inércia da seção transversal em torno do eixo das abscissas
I_y	Inércia da seção transversal em torno do eixo das ordenadas
C_w	Coefficiente de empenamento
G	Módulo de elasticidade transversal
J	Momento de inércia à torção
r_0	Raio de giração polar
l_x	Comprimento de flambagem em relação ao eixo das abscissas
K_x	Coefficiente de flambagem por flexão em relação ao eixo das abscissas
K_y	Coefficiente de flambagem por flexão em relação ao eixo das ordenadas
K_z	Coefficiente de flambagem por torção
L_x	Comprimento destravado em relação ao eixo das abscissas
L_y	Comprimento destravado em relação ao eixo das ordenadas
L_z	Comprimento destravado em relação ao eixo longitudinal
M	Momento fletor
ϕ	Rotação relativa
Si	Rigidez da ligação
I_v	Momento de inércia da seção transversal no plano da estrutura
L_v	Comprimento da viga conectada à ligação
I_{YL}	inércia da seção transversal de uma cantoneira em torno do eixo das ordenadas

A_L	Área da seção transversal de uma cantoneira
a	distância entre o centro de gravidade da cantoneira isolada e o do conjunto
r_y	Raio de giração da seção em relação ao eixo das ordenadas
A	Área total da seção transversal
λ	Índice de esbeltez
l	Comprimento de flambagem
r	Raio de giração
λ_z	Índice de esbeltez em relação ao eixo longitudinal
l_z	Comprimento de flambagem em relação ao eixo longitudinal
r_z	Raio de giração da seção em relação ao eixo longitudinal

SUMÁRIO

1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	13
1.1	Objetivo geral.....	14
1.1.1	Objetivos específicos.....	14
1.2	Estrutura do trabalho.....	15
2	DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E ENSINO.....	16
2.1	Metodologias de ensino	18
2.1.1	Métodos e técnicas de ensino.....	20
2.1.2	Recursos didáticos.....	22
3	A IMPRESSÃO 3D.....	24
3.1	Evolução da tecnologia.....	25
3.2	Processo de impressão.....	28
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	31
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	49
5.1	A problemática e suas consequências no processo ensino-aprendizagem	49
5.2	Identificação dos recursos didáticos utilizados pelo docente.....	52
5.3	Impressões 3D e suas influências.....	56
5.4	O papel das tecnologias na formação.....	62
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
	REFERÊNCIAS	67
	APÊNDICE A – Roteiro de entrevista para os discentes.....	71
	APÊNDICE B – Roteiro de entrevista para o docente.....	72

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Ao passo em que avança a tecnologia, verifica-se na sociedade uma tendência em buscar a utilização das novas ferramentas à sua disposição para tornar mais eficientes, rápidas e produtivas as suas atividades de modo geral. Tudo isto se estende aos mais diversos setores, como indústria, comércio, serviços e ao ensino.

Nesse contexto, vem se popularizando a adoção da nova tecnologia das impressoras 3D. A impressão em três dimensões (3D), de acordo com Aguiar (2016), é caracterizada pelo processo em que se materializa um objeto tridimensional por meio da adição e sobreposição de camadas de certo material até que se obtenha a forma final do sólido. A técnica também é conhecida como manufatura aditiva por ir acrescentando gradualmente a matéria-prima.

Pela versatilidade que as impressoras 3D apresentam, estas conseguem atender a muitas demandas de uma forma prática com um custo relativamente baixo. O uso delas pode abranger desde o entretenimento, prototipagem, Medicina, à Arquitetura e Engenharia. Este trabalho se propõe a abordar este último, mais especificamente na área do conhecimento da engenharia de estruturas.

Na perspectiva atual da engenharia civil, Pacheco (2018) diz que a impressão 3D se aplica na prototipagem de maquetes arquitetônicas ou estruturais. Ele prevê ainda um enorme potencial de crescimento de uso e possibilidades de aproveitamento na área. As possibilidades de uso citadas, segundo o mesmo, são interessantes na apresentação de projetos aos clientes; podem também auxiliar no canteiro de obras na interpretação dos projetos em que geralmente são entregues em 2D e já são utilizados em algumas universidades como recurso didático.

Já em relação à engenharia de estruturas, podemos dizer que a análise dos problemas relacionados ao dimensionamento de estruturas de aço requer, por muitas vezes, o perfeito entendimento das formas das peças estudadas, as disposições construtivas, as conexões e recorrem corriqueiramente à simplificação da representação em duas dimensões (2D) da estrutura.

Com isto, no meio universitário, os estudantes podem sentir algumas dificuldades ligadas à interpretação das situações expostas pelo professor em 2D, em que no dimensionamento estrutural devem ser consideradas as três dimensões. Isto ocorre, possivelmente, por que as linhas do desenho podem se confundir nos eixos cartesianos e algumas informações do desenho podem se sobrepor, demandando mais atenção na interpretação.

Esse tipo de dificuldade pode vir a comprometer o ritmo da aula, levando a repetições de explicação pelo professor e consequentemente gerando menor rendimento do componente curricular. Sendo assim, esta pesquisa buscou testar como alternativa para amenizar este problema, o uso de impressões 3D durante o ensino dos conteúdos do componente curricular Estruturas de Aço na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Centro Multidisciplinar Pau dos Ferros (CMPF).

Foram utilizadas então, durante as aulas, peças 3D impressas referentes a detalhamentos de estruturas metálicas no intuito de auxiliar os alunos na compreensão de exemplos e explicações de situações de projeto, pois como explica Barbosa (2001), é necessário para a obtenção de resultados positivos no processo ensino-aprendizagem, a adoção de metodologias adequadas às situações reais da sala de aula, o assunto abordado, os recursos disponíveis para o professor e o aluno, dentre outros aspectos.

Portanto, essa integração da tecnologia citada no ensino da Engenharia Civil pode impulsionar mais ainda o desenvolvimento do setor das impressoras 3D, além de preparar melhor os alunos de graduação para que tenham domínio das técnicas de dimensionamento e projeto em Estruturas de Aço, adquirindo o máximo possível de conhecimento no decurso do componente curricular.

1.1 Objetivo geral

Diante dos fatos expostos até aqui, o presente trabalho tem como objetivo geral identificar os efeitos da aplicação de impressões 3D como recurso didático para o ensino do componente curricular Estruturas de Aço na UFERSA- CMPF durante o semestre letivo 2018.1, por meio de entrevistas;

1.1.1 Objetivos específicos

- Modelar e imprimir peças 3D referentes a detalhamentos típicos de estruturas metálicas com o auxílio dos softwares Sketckup 2017 e Ultimaker Cura 3.3.1;
- Implementar no âmbito do processo ensino-aprendizagem do componente curricular Estruturas de Aço a utilização das peças 3D, buscando melhorar e tornar mais fácil o entendimento das situações apresentadas pelo professor;
- Analisar a percepção dos alunos e do professor quanto aos pontos positivos e negativos do uso desta tecnologia no ensino dos conteúdos do componente curricular.

1.2 Estrutura do trabalho

Elaborou-se este trabalho com a composição de 6 capítulos, onde o primeiro deles apresenta a pesquisa ao leitor e promove a inserção do mesmo na área de estudo, fazendo considerações sobre a ferramenta principal utilizada ao longo da pesquisa, que foi a impressão 3D, evidenciando a problemática que será abordada e os objetivos que se pretende ao fim, alcançar.

No próximo capítulo, são apresentados e discutidos conhecimentos/pesquisas publicados por diversos pesquisadores da área temática em que se insere o nosso estudo. Os conhecimentos foram selecionados e organizados de forma a ressaltar o contexto geral em que a pesquisa se situa na atualidade do ensino brasileiro, bem como sua relação com a tecnologia.

Ainda de caráter bibliográfico, o terceiro capítulo, busca familiarizar o leitor sobre os conceitos e procedimentos relativos à tecnologia de impressão 3D, trazendo assim conteúdos mais técnicos e aprofundados, que darão suporte às etapas executivas do trabalho.

Seguimos então, com o capítulo 04, no qual são detalhados os procedimentos e ferramentas adotados para a concretização do presente. Tratou-se assim, da espacialização do estudo, do processo de confecção do recurso didático proposto, dos instrumentos utilizados e do método de coleta e análise dos dados.

O capítulo 05 expõe os resultados obtidos com a aplicação da metodologia descrita no capítulo anterior, sob a perspectiva da população estudada, assim como de outros estudiosos, possibilitando a discussão e análise das informações adquiridas. Por fim, no capítulo 06 fazemos as considerações finais sobre a pesquisa, sintetizando as conclusões geradas, expondo dificuldades do processo e contribuições.

2 DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E ENSINO

Seguindo a premissa de Peixoto e Araújo (2012), a capacidade racional do homem permite que ele por si próprio interprete o mundo e a moral vigente. Com esta capacidade, é possível, por exemplo, entender e exprimir matematicamente fenômenos naturais, prevê-los e dominá-los. Ao associar isto à possibilidade de transformação da natureza, o homem sai da sua posição passiva, iniciando sua intervenção nos meios naturais.

Com a transmissão e aglutinação dos conhecimentos adquiridos, o ser humano vai constituindo um referencial universal subjetivo, ou seja, a razão humana. Este processo induz ainda a uma forma de transformação ou consolidação dos meios sociais do homem por ele mesmo. A partir desta lógica, percebe-se que o desenvolvimento social estaria atrelado diretamente ao desenvolvimento tecnológico, conduzido pela capacidade do homem criar instrumentos de transformação a partir dos seus conhecimentos adquiridos de maneira intrínseca ao seu próprio sistema. (PEIXOTO; ARAÚJO, 2012).

Este aspecto de transformação social pode ser observado no contexto pedagógico atual, com a implementação das mais recentes tecnologias no processo ensino-aprendizagem. Desta forma, a tecnologia é tida como instrumento para alcançar as finalidades pedagógicas e ao mesmo tempo promove mudanças nos padrões da sociedade.

Um destaque que Vaillant (2012) coloca em seu discurso é a necessidade de atualização das formas de ensino em decorrência do desenvolvimento da humanidade em geral. Segundo ele, as mudanças sociais que envolvem a relação interpessoal entre professor e aluno, bem como a evolução tecnológica devem estar integradas às salas de aulas modernas, trazendo dessa forma, novos desafios e oportunidades ao professor. Junto a isto, surge uma demanda em modificar as metodologias de ensino e discutir o papel do professor na formação profissional.

A citação anterior permite dizer que as tecnologias emergentes¹ não só podem ser utilizadas como instrumento de ensino, como é um ponto a ser considerado pelo professor, podendo trazer melhoria e adequação do ensino à realidade atual. Além deste, Feldkercher (2015) expõe a defesa atual de uma oferta de experiências ricas e sedutoras aos jovens em aprendizado, para que, por meio da tecnologia, possam despertar o interesse pela pesquisa e pelo estudo.

¹ Tecnologias em constante desenvolvimento, não consolidadas no mercado, que apresentam aplicações práticas e despertam o interesse das pessoas no sentido de possibilitar mudanças no seu modo de vida.

Daí, se estabelece um ciclo, que resulta no desenvolvimento geral das nações, pois como diz Lima (2017), educação, ciência e tecnologia são a base da pesquisa científica e tecnológica, que com seu potencial inovador viabilizam a melhoria na qualidade de vida das pessoas e nos processos produtivos nas mais diversas áreas.

O mesmo autor nos informa a existência de três etapas no processo de evolução tecnológica: invenção, inovação e difusão. A invenção, proveniente da pesquisa e desenvolvimento de novas ideias seria complementada com o aprimoramento do objeto do estudo resultando em inovação que se consolida com a difusão entre a população.

Assim, partindo-se de uma tecnologia ainda emergente, seu uso como instrumento pedagógico promoverá sua difusão e este mesmo uso poderá instigar os estudantes a se tornarem pesquisadores e assim buscarem formas de invenção e inovação a partir de sua visão particular sobre o real. Isso poderia ajudar a superar um dos grandes desafios da educação colocado por Moran (2000): promover no educando o gosto pelo aprendizado

Um conceito relacionado a esta proposta é o de Tecnologia Educacional², o qual por muitas vezes não é visto com sua verdadeira abrangência, sendo facilmente associado à informatização do ensino por meio de computadores e rede de internet nos centros de ensino. Entretanto, existe diversas tecnologias criadas pelo homem que o auxiliam no processo pedagógico, dentre eles estão a linguagem, a escrita, além é claro dos eletrônicos que alteraram substancialmente o modo de vida das pessoas e muitos outros.

Conforme Machado e Lima (2017), como as tecnologias fazem parte do dia-a-dia dos alunos, estes esperam que o professor faça uso destas em sala de aula. E este último agora na posição de mediador entre o conhecimento, tecnologia e o aluno, desencadeia habilidades e competências antes não exploradas em si e no aluno. Para o docente, ainda é importante conhecer as tecnologias para desenvolver um planejamento de aula adequado ao seu conteúdo e que procure interagir com os alunos no processo de ensino aprendizagem. (MORAN, 2000).

Esse planejamento envolve estratégias metodológicas de ensino e utilização dos recursos didáticos, haja visto que cada professor poderá encontrar uma forma mais adequada à sua aula e aos conteúdos mediados para integrar as tecnologias e que deve-se integrar novas tecnologias em conjunto com as anteriormente empregadas, para renovar a prática pedagógica. Portanto, para um melhor entendimento faremos uma síntese das metodologias e recursos didáticos existentes a seguir.

² Estudo e prática facilitadora do ensino, através da criação, utilização ou organização de processos e recursos tecnológicos.

2.1 Metodologias de ensino

O processo ensino-aprendizagem, segundo o pensamento de Barbosa (2001), será eficaz quando forem adotados os métodos e técnicas adequadas, estes dois aspectos que constituem propriamente a metodologia de ensino. A metodologia deve se adaptar às situações reais da sala de aula, como o assunto abordado, os recursos disponíveis para o professor e o aluno, o perfil e as necessidades individuais e coletivas destes últimos.

Brighenti (2015) complementa esta afirmação ao mencionar que o processo educativo deve estar atrelado ao emprego de metodologias que permitam o alcance dos objetivos do ensino e da aprendizagem, permitindo assim a obtenção do máximo de rendimento nesta relação didática.

Os métodos de ensino evoluíram ao longo da história de acordo com a finalidade que se almejava com o ensino e com o contexto socioeconômico, político e cultural de cada época, sendo marcada principalmente por dois estágios, segundo Damis (2010). Para a autora, podemos distinguir uma didática empregada entre 1549 e 1930 e outra associada a inserção deste conhecimento nas universidades que viria de 1930 até os dias atuais. A autora faz um apanhado histórico destes períodos como será discutido adiante.

Iniciamos nosso histórico com a educação jesuíta, a qual perdurou pela maior parte do período colonial do Brasil, se estendendo de 1549 a 1759, em uma sociedade majoritariamente agrário-exportadora-dependente. Assim, a metrópole explorava essa produção e recebia uma educação que buscava formar um homem universal, humanista e cristão, enquanto os indígenas eram catequisados. (DAMIS, 2010).

A educação nesta época privilegiou a memorização e o desenvolvimento do raciocínio, sem perspectiva de transformação. Utilizava-se de instrumentos e regras metodológicas caracterizados pelo estudo privativo, no qual o método de estudo, a matéria e o horário eram definidos pelo mestre. As aulas baseavam-se na exposição e repetição para que o aluno memorizasse, sendo utilizado também o desafio e a disputa como estímulo à competição entre os estudantes. Os métodos avaliativos consistiam em exames orais e escritos. (DAMIS, 2010).

Neste caso, percebe-se que a metodologia foi compreendida como um conjunto de regras, normas que regiam a forma de ensino e o estudo do aluno.

Sem muitas evoluções no meio tempo, por volta dos anos de 1870 é que vão acontecendo mudanças no cenário econômico com a expansão cafeeira e consolidação do modelo urbano-comercial-exportador. Também no cenário político, o advento do Iluminismo

resulta na supressão do ensino religioso nas escolas públicas e busca-se agora, disseminar a visão burguesa de mundo e sociedade. (DAMIS, 2010).

Mantém-se a visão essencialista do homem e consequentemente o ensino humanístico, geral e enciclopédico. O centro do método é o professor que nesta posição transmite incessantemente verdades universais de forma única para todos os alunos. As relações são hierarquizadas entre professor e aluno e o método de ensino segue os chamados cinco passos formais de Herbart: apresentação, comparação, assimilação, generalização e aplicação. (DAMIS, 2010).

Já no segundo período, iniciado na década de 1930, as transformações sociais que envolvem a revolução no modelo de república brasileira, as alterações econômicas evocadas pela crise mundial e o advento da primeira universidade brasileira permitiram uma nova idealização da didática. (DAMIS, 2010).

Nas universidades, a didática aflora como disciplina em cursos de formação de professores e até o ano de 1945 foi marcada pelo equilíbrio entre a visão humanista tradicional e humanista moderna, devido às influências políticas da época da classe dominante. Essa visão humanista moderna teria como foco a existência, a vida e as atividades, buscando uma educação mais integrada à realidade. (DAMIS, 2010).

Nesta época, uma característica marcante é a valorização da criança, com suas individualidades e aspectos como liberdade, iniciativa, autonomia e interesse a serem respeitados. Os métodos e técnicas adotados compreenderam centros de interesse, estudo dirigido, unidades didáticas, métodos dos projetos, a técnica das fichas didáticas e outros. A didática, privilegia a dimensão técnica do processo de ensino fundamentado em propostas cientificamente validadas. (DAMIS, 2010).

Entre 1945 e 1960 a disseminação de novas ideias ganha força com a criação de legislações e instituições educacionais voltadas à temática. Acentua-se a visão técnica renovadora. Pouco depois, por volta de 1964, há uma certa crise pedagógica, fazendo com que o ensino siga os caminhos produtivos que colocam o professor como executor das políticas institucionais, das estratégias de ensino e de avaliação, buscando assim produtos pré-estabelecidos de forma eficaz para acelerar o desenvolvimento do país. (DAMIS, 2010).

Na década de 1980, os professores buscam a retomada dos direitos e deveres de participação nas políticas educacionais e recuperação das escolas públicas. Destaca-se nesse momento, o objetivo de centralizar a educação não mais no professor ou no aluno, mas sim na formação do indivíduo como constituinte de uma sociedade, tornando a escola um lugar cada vez mais crítico e passivo de desconstrução social. (DAMIS, 2010).

Percebe-se então, que a didática neste cenário deve ir além do viés técnico, como diz Damis (2010), associando escola-sociedade, teoria-prática, conteúdo-forma, técnica-política, ensino-pesquisa, ensino-avaliação, professor-aluno. Tudo isto contribui para criação de uma nova visão do professor em relação às metodologias mais coerentes com a realidade educacional.

Finalmente, a partir da década de 1990, enxerga-se no mundo inteiro, várias mudanças em todos os espaços sociais, principalmente pela chegada da chamada “era da informação” que transformou a vida familiar, as convivências, as formas de trabalho, comércio e também impacta na educação.

Como já comentado anteriormente, é necessário rever as atribuições e responsabilidades das entidades formadoras neste novo contexto e integrar as ferramentas que vão surgindo às demandas das salas de aulas, as metodologias empregadas e as formas de avaliação dos estudantes.

Conforme Damis (2010), a didática crítica amplia seus horizontes nesta época, baseando-se nos pressupostos de que a educação é uma prática social, construtiva e permanente da emancipação humana, que a escola pública deve ser democratizada, o professor é um agente social e crítico e que a metodologia científica é uma forma de tomada de conhecimento e desenvolvimento de habilidades de pesquisa.

2.1.1 Métodos e técnicas de ensino

De maneira geral, método é o caminho que será tomado para obtenção de um determinado objetivo. Libâneo (1994) diz que um professor pode utilizar um conjunto de ações, passos, condições externas e procedimentos para constituir o seu método de ensino. Entretanto, ao invés de se constituírem como receitas prontas, os métodos devem expressar a relação conteúdo-método, assim o método busca integrar as relações que permitam conhecer o objeto de estudo.

Os métodos de ensino são classificados sob a ótica de cada autor, conforme os critérios adotados por cada um. Libâneo (1994) faz sua classificação em cinco (5) métodos, segundo aspectos externos, que estão ligados a forma de conduzir o ensino:

Método de exposição pelo professor: Método no qual o professor apresenta os conteúdos, conhecimentos habilidades e tarefas; e o educando recebe estas informações de forma ativa ou passiva. É um método bastante criticado atualmente, mas que é efetivo quando combinado com outros procedimentos que individualizem o aluno e promovem conversação.

Dentre os métodos expositivos podemos mencionar a exposição verbal, a demonstração, a ilustração e a exemplificação.

Método de trabalho independente: Este método pressupõe que o aluno possua conhecimentos e capacidades prévias para realizar as atividades propostas de forma parcialmente independente do professor, solicitando a sua orientação sempre que necessário. Explora as habilidades do aluno, testando suas capacidades e pode permitir que, por exemplo, em uma turma numerosa, cada aluno receba tarefas de acordo com o seu perfil e nível de domínio do assunto abordado. As tarefas podem ser preparatórias, de assimilação do conteúdo ou de elaboração pessoal.

Método de elaboração conjunta: Valoriza a interação professor-aluno com o objetivo de obter ou fixar conhecimentos, habilidades e convicções, partindo de um tema pré-definido em que os alunos tenham o mínimo de conhecimento acerca do mesmo para prosseguir em um debate com sistematização e construção de opiniões e discussões. Pode ser adotado por meio da conversação didática ou aula dialogada.

Método de trabalho em grupo: É um método empregado eventualmente, em conjunto com os demais. Inicia-se com a proposta de diferentes temas de estudo para equipes geralmente pequenas de alunos que pesquisarão cooperativamente sobre a temática cuja familiaridade já tenha sido introduzida pelo professor ao aluno por meio de exposição, conversação ou trabalho individual. Para a obtenção de sucesso, costuma-se realizar a comunicação dos resultados obtidos pelas equipes de forma aberta para a turma.

Atividades especiais: Existem ainda as atividades especiais que complementam os métodos citados e explora a assimilação ativa do aluno, por meio de instrumentos escolares diversos como o jornal escolar, estudos de caso, o teatro, a biblioteca e outros.

Agora falando sobre as técnicas de ensino, podemos dizer que estas são a forma como será efetivado o método de ensino adotado, ou seja, é como fazer para aplicar de maneira satisfatória tal método a partir de procedimentos concretos. Evidentemente, estes dois conceitos são indissociáveis.

Autores como Barbosa (2001), defendem a classificação das técnicas de ensino em três (3) tipos:

Técnicas expositivas ou de comunicação: Possui como característica principal a transmissão de uma mensagem codificada em linguagem, ilustração, símbolos visuais ou sonoros. Pode ser realizada pelo professor, em grupo ou coletivamente e a mensagem transmitida pode vir com ideias mais ou menos estruturadas.

Técnicas de interrogação ou indagação: Baseia-se no diálogo e no confronto de opiniões e ideias sobre um tema em específico, com o objetivo de discuti-lo profundamente. Também se utiliza da comunicação entre os indivíduos que sempre se concentram sobre uma dúvida, uma indagação que pode levantar opiniões variadas entre os participantes do debate.

Técnicas de pesquisa ou experimentação: Técnica bastante empregada em estudos individuais e também em pequenos grupos de alunos. Apresentam grande rendimento por compreender etapas essenciais para qualquer atividade científica, iniciando-se com a busca sobre os conceitos fundamentais sobre o tema, para posterior análise e síntese, sendo esta última comunicada a turma como resultado.

2.1.2 Recursos didáticos

A metodologia de ensino está atrelada ainda aos recursos didáticos disponíveis. Karling (1991) explica os recursos didáticos como sendo recursos tanto humanos quanto materiais utilizados pelo professor em sua atividade profissional, com o objetivo de auxiliar e facilitar a aprendizagem do estudante. Dentre as várias denominações que se referem a estas ferramentas temos: meios didáticos, meios auxiliares, material didático, recursos audiovisuais, multimeios e material instrucional.

Ainda de acordo com o pensamento de Karling (1991), os recursos didáticos são importantes para que o educando receba informações a partir dos seus sentidos para que se transformem em percepções, seja por meio de imagens, fatos, situações, experiências, demonstrações, etc. Segundo ele, uma imagem, por exemplo, pode além de economizar palavras, permitir que o aluno sinta algo tal como ele é, sem ficar restrito apenas à imaginação da constituição feita pelas palavras do professor.

O aluno precisa vivenciar situações concretas para poder extrair o máximo de ideias, obter subsídios para pensar, raciocinar, criar e resolver problemas. Nesse sentido, os recursos didáticos podem proporcionar oportunidades únicas aos estudantes, a julgar que algumas situações, fatos ou imagens que seriam difíceis ou até mesmo impossíveis de serem vivenciadas pessoalmente pelo aluno. (KARLING,1991).

Na medida em que um objeto, por exemplo, pode ser visto, tocado e manipulado pelo aluno, ocorre uma aproximação maior da realidade, tornando a experiência do aprendizado mais concreta e significativa. Neste mesmo exemplo podemos destacar ainda como o aluno pode assimilar melhor tamanhos, formas, estruturas e o funcionamento de equipamentos. (KARLING,1991).

Devido a estas características os recursos didáticos assumem também um papel de incentivador, ao instigar o aluno sobre determinada situação, pode fazê-lo prestar mais atenção na aula, levantarem questionamentos, hipóteses e desenvolverem pesquisa. O uso do recurso didático adequado pode estimular no aluno o gosto pelo estudo e por determinadas áreas de conhecimento de uma forma que pode ser lembrada positivamente por toda a vida. (KARLING,1991).

Barbosa (2001) menciona em seu texto, os principais recursos didáticos utilizados, haja visto que sua classificação poderia ser bastante variável a depender do autor avaliado. São indicados, assim:

- A própria voz do professor;
- Quadro-de-giz ou quadro-branco;
- Ilustrações, sob a forma de desenhos, gravuras, pinturas, fotografia;
- Projeções (slides, filmes mudos ou sonoros);
- Objetos, espécimes, modelos;
- Globos e mapas;
- Diagramas, plantas e gráficos estatísticos;
- Cartazes, murais, álbuns seriados;
- Televisão;
- Discos, fitas e vídeos;
- Materiais impressos, como revistas, apostilas, catálogos, etc; e
- Computadores - *software e hardware*.

3 A IMPRESSÃO 3D

De acordo com Aguiar (2016), a impressão 3D é uma tecnologia caracterizada pelo processo em que se materializa um objeto tridimensional por meio da adição e sobreposição de camadas de um certo material até que se obtenha a forma final do sólido. O autor acrescenta que essa técnica também é conhecida como manufatura aditiva por ir acrescentando gradualmente a matéria-prima, diferente de outras técnicas que conferem resultados semelhantes pela remoção de material, esculpindo ou cortando, como se faz em uma escultura. Com efeito, a manufatura aditiva resultará em menos desperdícios e consequentemente maior economia de material em relação a estas outras técnicas.

Anderson (2012) aposta que esta tecnologia, em um futuro próximo, será o estopim para a próxima revolução industrial. A primeira e a segunda revolução industrial impactaram diretamente nas formas de produção da sua época, refletindo assim na vida dos cidadãos. Não seria diferente então com a próxima revolução industrial, possibilitada pela impressão 3D.

As máquinas de impressão 3D ou de prototipagem rápida (RP) como são também conhecidas, conseguirão segundo o pensamento de Anderson (2012), em um estágio de desenvolvimento mais avançado, descentralizar a produção comercial, trazendo aos novos empreendedores a opção de produzir objetos em massa por meio de um equipamento acessível economicamente à classe assalariada de hoje.

Porto (2016) diz que por meio da impressão 3D em seu estágio atual, já se consegue de maneira surpreendentemente simplificada, materializar uma ideia sem investir em fábricas e mão-de-obra diversificada, ou seja, esta possibilidade de criação e comercialização deixa de ser um privilégio estritamente daqueles com elevado poder aquisitivo. Até mesmo com o poder da era digital na qual vivenciamos, o próprio projeto de criação de um objeto inicia-se de forma digital, podendo ser elaborados em computadores pessoais, editados e compartilhados instantaneamente na forma de arquivos.

Destaca-se ainda como característica positiva da tecnologia de impressão 3D, a capacidade de produzir nas mais variadas escalas, sendo capaz de atender demandas de objetos muito pequenos para a bioengenharia, por exemplo, até outros tão grandes como os empregados na construção civil.

3.1 Evolução da tecnologia

Conforme comentado anteriormente, a impressão 3D costuma estar associada ao desenvolvimento de modelos computacionais elaborados previamente à etapa de materialização em *softwares* apropriados. De acordo com Piza (2017), o uso de *softwares* no mercado da engenharia, hoje em dia, é uma peça chave para o desenvolvimento das atividades da profissão, a exemplo dos projetos de edificações. Com essa utilização, encontram-se benefícios como a praticidade, economia de tempo em relação aos processos manuais e a redução de erros, inclusive maior exatidão/precisão da tarefa executada.

No entanto, somente na década de 1980 é que os engenheiros puderam iniciar o trabalho computacional de representação gráfica de projetos, com o surgimento dos *softwares* *Computer Aided Design* (CAD), que causaram uma revolução na forma de projetar, substituindo objetos tais como, pranchetas, lápis, papel e borracha. Inicialmente os *softwares* CAD permitiam apenas o trabalho em 2D, posteriormente evoluindo para o ambiente 3D. (PIZA, 2017).

Não se pode deixar de citar os *softwares* recentes, desenvolvidos a partir dos anos 2000, que contam com o inovador conceito *Building Information Modeling* (BIM). O BIM viabiliza a elaboração de projetos contendo praticamente todas as informações do objeto ou construção em um único ambiente, que apresenta conteúdo visual, gráfico 3D e textual. Permite ainda, o trabalho cooperativo de equipes e o gerenciamento das informações do modelo. (REZENDE, 2008).

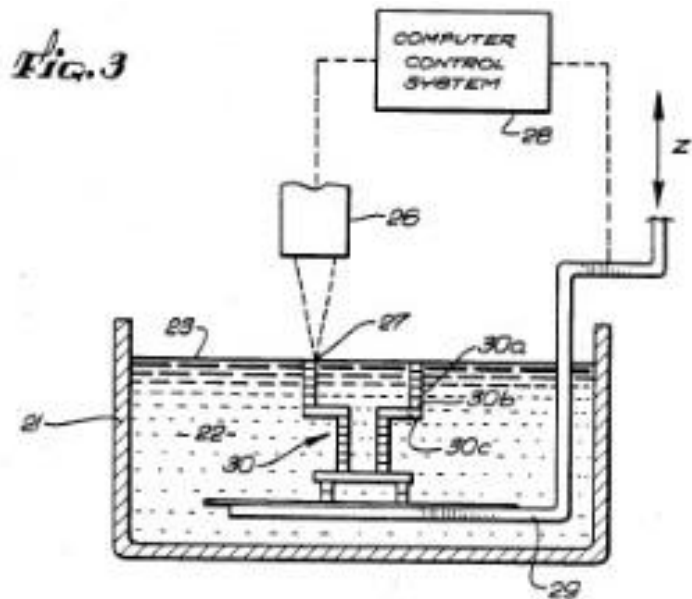
Ambos conceitos, CAD e BIM, fornecem hoje em dia subsídios para a modelagem de elementos em três dimensões, bem como a impressão 3D dos mesmos.

Já em relação às máquinas destinadas a realização da impressão 3D, podemos afirmar que o seu desenvolvimento iniciou-se na década de 1980 e nesta época elas foram denominadas tecnologias de prototipagem rápida (RP) por constituírem um método rápido e mais econômico de criar os protótipos de produtos que seriam produzidos na indústria.

O primeiro pedido de registro de patente relativo à prototipagem rápida foi realizada em 1980 pelo Dr. Kodama no Japão, porém o registro não foi concluído. Ainda assim, Kodama publicou seu método, que consistia em criar modelos plásticos pela solidificação de um fotopolímero utilizando raios ultravioleta. Ele ressaltou que a técnica permitia a construção de formas complexas e a criação de objetos com a sua estrutura interna de uma única vez. (AGUIAR, 2016).

Somente em 1986 é que foi emitida a primeira patente de impressora 3D, correspondente ao aparelho de estereolitografia (STL), conforme apresentado na Figura 01. Este aparato foi inventado em 1983 por Charles Hull, um engenheiro físico formado na Universidade do Colorado. Charles Hull foi co-fundador da 3D Systems Corporation, organização que até os dias atuais é uma das maiores que operam no setor. (3D PRINTING INDUSTRY, 2016).

Figura 01: Aparato de estereolitografia registrado por Charles Hull em 1986.

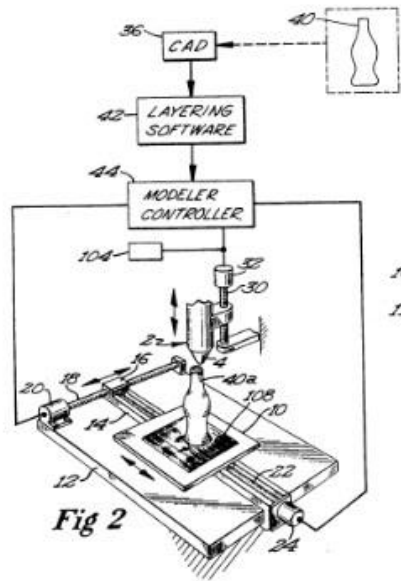


Fonte: Google Patentes, 1986.

Nesse momento, outros pesquisadores também já vinham desenvolvendo outras técnicas e processos de impressão 3D foram surgindo. Em 1989, foi a vez de Crump registrar a sua patente do que ele descreveu como “Aparato e método para criação de objetos tridimensionais”. Os objetos eram construídos com a deposição de material fundido, de modo semelhante ao trabalho realizado pelas impressoras jato de tinta comuns, com a diferença de que era depositando material derretido (normalmente um filamento polimérico) ao invés de tinta. O aparato elaborado por Crump foi o mesmo exibido na figura 02. (AGUIAR, 2016).

Tal método foi denominado *Fused Deposition Modeling* (FDM), que pode ser traduzido para modelagem por deposição de material fundido e é o mais comum de ser encontrado em impressoras 3D de baixo custo.

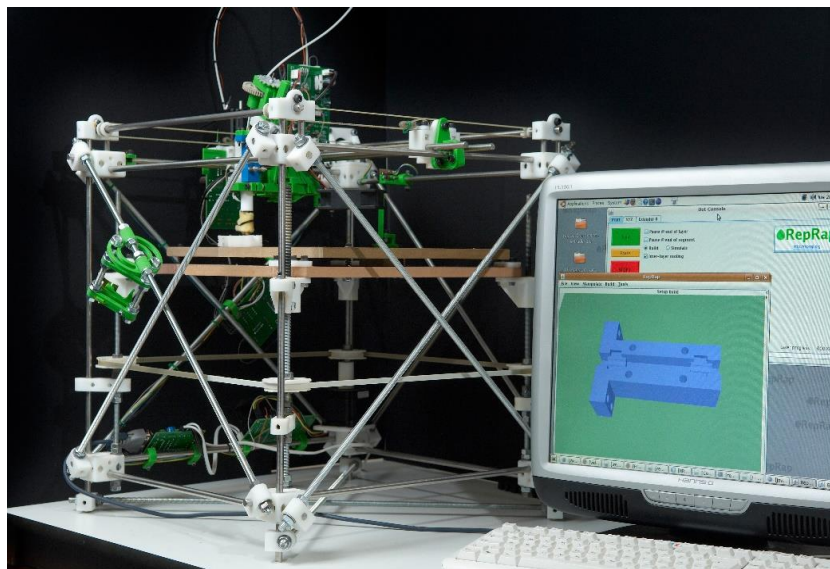
Figura 02: Aparato registrado por Crump em 1989 com o método FDM.



Fonte: Google patentes, 1989.

Porto (2016) afirma que a popularização das impressoras 3D se deu principalmente a partir de 2005 com a fundação do projeto RepRap (*The Replicating Rapid Prototyper*) pelo Doutor Adrian Bowyer que permitiu a criação de uma impressora de prototipagem rápida de código aberto e que conseguia imprimir muitas de suas próprias peças, a qual foi lançada três anos após a criação do projeto, recebendo o nome Darwin. O referido modelo pode ser visto na Figura 03.

Figura 03: Modelo de impressora 3D Darwin 1.0.



Fonte: Jones et. al., 2011.

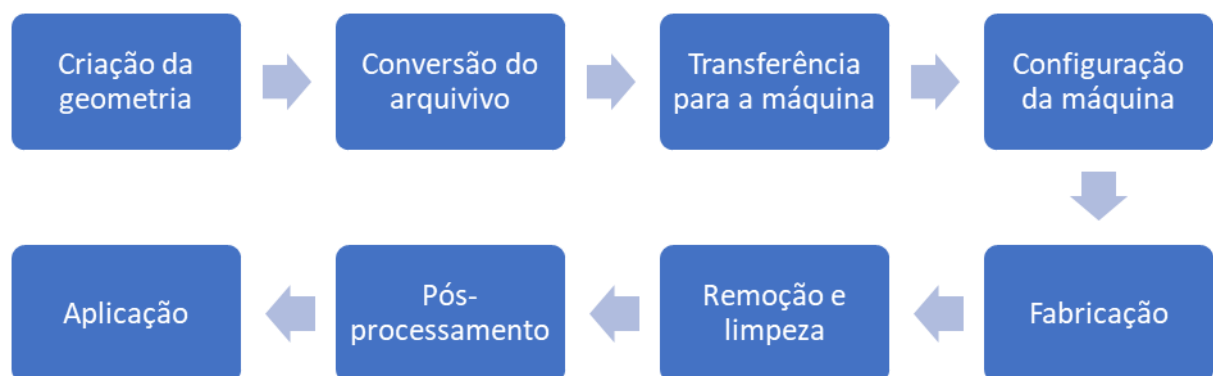
No ano de 2012 as máquinas de prototipagem rápida chegaram com força nos níveis de entrada do mercado como o varejo, deixando de lado o uso restrito às aplicações industriais. Com o amplo mercado e capacidades de aplicação disponíveis, houve um aumento substancial na utilização das máquinas pelos criadores interessados. Neste período, as mídias contribuem significativamente para a popularização da tecnologia, na medida em que a realizam a difusão de informações sobre a mesma e por vezes também a adota. Da mesma forma 2013 foi um ano de mais crescimento e consolidação do mercado de impressão 3D, inclusive com o surgimento das empresas especializadas nestes serviços. (3D PRINTING INDUSTRY, 2016).

Cabe ressaltar que existem atualmente outros métodos de prototipagem rápida, além do FDM e STL. Podemos citar aqui, exemplos bastante usuais, porém menos empregados em máquinas de baixo custo, são eles: Sinterização Seletiva a Laser (SLS), Manufatura de Objetos Laminados (LOM) e Impressão Tridimensional (3D print).

3.2 Processo de impressão

De acordo com Gibson et. al. (2010, apud MARTINS, 2017) o processo de impressão 3D de objetos passa por várias etapas intermediárias até a obtenção do produto final. Estabelecendo um conjunto de passos padrões para os diversos métodos de RP, o autor elenca 8 passos principais, que podem possuir particularidades mais ou menos acentuadas dependendo do método empregado. Estes passos ocorrem sequencialmente e são apresentados no Fluxograma 01, mais adiante discutiremos um pouco sobre cada deles.

Fluxograma 01: Processo de obtenção de objetos impressos em 3D



Fonte: Adaptado de Gibson et. al., 2010, apud MARTINS, 2017.

Criação da geometria: Em todos os métodos de impressão 3D é comum a necessidade de modelagem computacional da geometria do sólido que se deseja fabricar. Para a criação desta geometria existem basicamente duas opções: a primeira é utilizar de um *software* de desenho assistido por computador (CAD) formando o objeto por meio dos comandos e geometrias básicas oferecidas e a segunda é utilizar um aparelho de escâner 3D, pois estes são capazes de digitalizar a forma tridimensional de um objeto físico qualquer. (MONTEIRO, 2015).

Conversão do arquivo: Os equipamentos de RP são capazes de fazer a leitura de alguns tipos de arquivos específicos que possuirão os dados relativos à geometria a ser fabricada. Portanto, o arquivo criado na etapa anterior deverá ser convertido para um destes formatos possíveis de leitura pelo equipamento disponível. Os formatos mais populares trabalhados são o STL (*Stereolithography*) e o IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*). O formato STL pode ser configurado na maioria dos *softwares* CAD atualmente, possibilitado a rápida conversão. Essa conversão é importante, pois ao ser realizada, são eliminadas do modelo, quaisquer informações referentes a construção e modelação, restando apenas um conjunto de polígonos ajustados na superfície do objeto, constituindo sua geometria. No entanto, os *softwares* CAD podem gerar dados que causem problemas durante a conversão do arquivo para STL; pensando nisto, já foram criadas algumas ferramentas para deletar e corrigir esse tipo de erro. (MONTEIRO, 2015; MARTINS, 2017).

Transferência para a máquina: Com o arquivo convertido para o formato de leitura do equipamento de impressão, ele já pode ser transferido para a máquina, sendo esta transferência possível com o uso de uma unidade de memória *flash* (*Pen drive*, *SD card*) ou ainda por conexão direta ou em rede sem fio. Antes de ser dado o comando de impressão é importante se certificar que o arquivo possui tamanho, posição e orientação ideal para a finalidade almejada, pois esses parâmetros não poderão ser alterados posteriormente. (MONTEIRO, 2015).

Configuração da Máquina: A impressão não deve ser iniciada ainda, antes de preparar a máquina que a fará, de acordo com o seu método de funcionamento. Genericamente, os principais parâmetros que merecem atenção nesta etapa dizem respeito a matéria-prima, a fonte de energia, a espessuras das camadas e o tempo de processamento do objeto. Máquinas mais simples funcionam com um único material, enquanto outras mais sofisticadas podem trabalhar com dois materiais na mesma impressão. As camadas também podem ou não ser da mesma espessura ao longo de todo o objeto e a velocidade de impressão dependerá destes e de outros fatores, resultando assim, em sólidos com qualidade variável. (MARTINS, 2017).

Fabricação: Esta é a fase mais automatizada de todo o processo, pois todos os comandos já foram dados à máquina e então após dado o comando de início, a máquina independentemente se encarrega de construir camada a camada o objeto tridimensional. Primeiro, a máquina produz a base que depois receberá o material de cada camada do sólido até que se constitua por inteiro. Segundo Martins (2017) é necessária, por parte do operante, apenas a supervisão do processo para detectar eventuais erros que possam vir a ocorrer no processamento, por exemplo, falta de material, falta de energia elétrica, erros de *software*. Caso não ocorram erros, nenhuma ação humana é requerida.

Remoção e limpeza: Finalizado o processamento do modelo, produzindo assim o objeto físico, faz-se necessário agora remover o mesmo do interior da máquina. Esta etapa exige um certo cuidado do operador com a máquina, o que implica em alguns cuidados a serem tomados para que não haja danos a ele ou ao produto. Como há o aquecimento de algumas partes, deve-se aguardar que a temperatura tenha baixado na hora da remoção e a máquina assim como suas partes devem se encontrar completamente estáticas. Teoricamente, o objeto já estaria pronto para ser utilizado neste momento, porém na grande maioria dos casos há sempre detalhes a serem reparados, principalmente quando as peças são construídas se apoiando em suportes a serem removidos *a posteriori* e quando se faz a remoção sem os cuidados adequados, provocando falhas na geometria. (MONTEIRO, 2015; MARTINS, 2017).

Pós-processamento: Como comentado brevemente, as peças obtidas por impressão 3D podem passar por um processo de finalização, melhorando, por exemplo, o seu aspecto visual. Essa finalização pode envolver atividades como lixamento, polimento e aplicação de revestimentos superficiais. A definição das técnicas de acabamento a serem utilizadas, varia muito de acordo com a finalidade com a qual o objeto será utilizado e o nível de exigência do seu usuário e isso pode implicar em elevação de custos e tempo de fabricação, haja vista que é comum que este trabalho seja feito manualmente, com o auxílio de outras ferramentas. (MARTINS, 2017).

Aplicação: Durante o pós-processamento, foram concluídos todos os detalhes que implicam no adequado uso do objeto a sua finalidade, portanto só resta agora fazer a sua aplicação. Tal aplicação do produto final pode prever comportamentos distintos deste em relação às suas partes bem como suas propriedades mecânicas, já que os sólidos podem ser constituídos de materiais diversos que implicam em diferentes resistências, elasticidade, etc. As partes podem, por exemplo, ser montáveis, coladas, possuir ou não alguma interação, dentre outras particularidades.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Existem, atualmente, diversos métodos, ou seja, diversos caminhos de se chegar ao objetivo de uma pesquisa científica, de forma que não existe um método padrão e único que possa ser aplicável a todos os trabalhos científicos. Seguindo este pensamento, cada pesquisa necessita de uma análise prévia dos métodos disponíveis e escolha de qual/quais se adequam à problemática em pauta. (GIL, 2008)

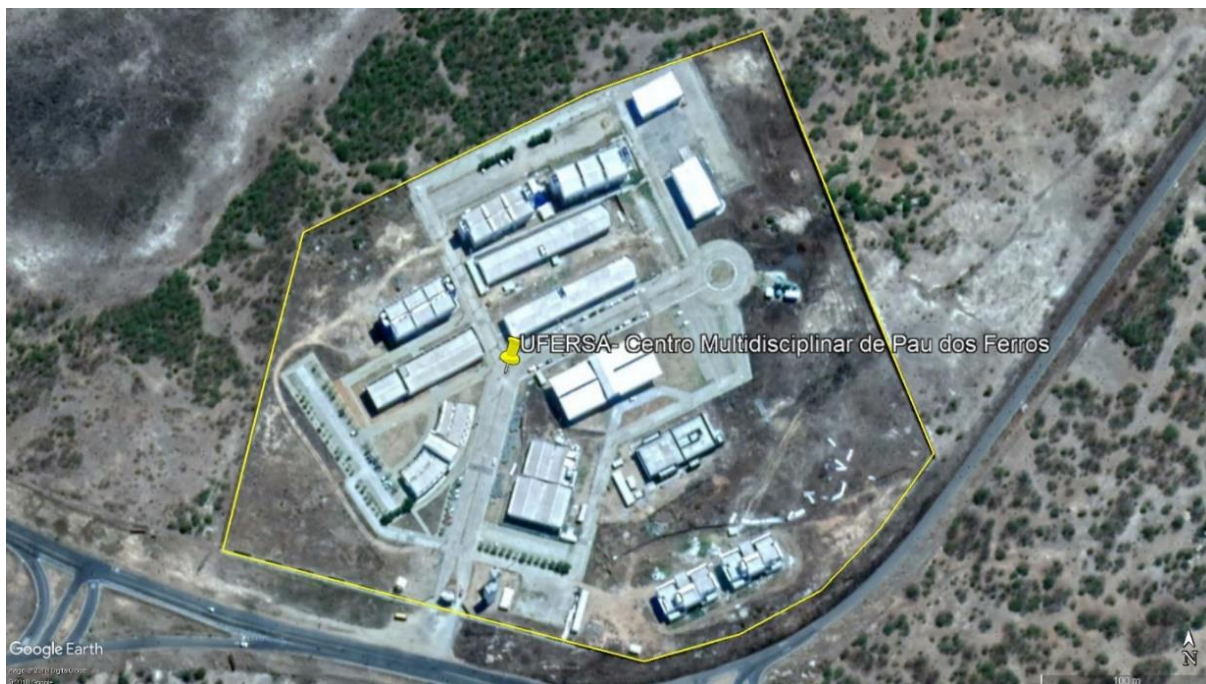
Por meio desta análise, adotou-se a metodologia do tipo experimental para o desenvolvimento desta pesquisa, ou seja, se utilizou-se de um recurso didático confeccionado durante a pesquisa, que foi experimentado durante utilização em sala de aula. O autor Gil (2008), informa que a essência do método experimental está em submeter os objetos de estudo à influência de determinadas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo pesquisador, para observar os resultados provocados pela variável, no objeto.

Quanto à forma de abordagem do problema, tem-se uma pesquisa de caráter qualitativo. Sendo assim, foi avaliada a opinião dos alunos da turma quanto ao emprego do recurso didático, além da do docente, expondo as observações mais relevantes feitas durante a pesquisa. Além disso, foram identificados os recursos didáticos anteriormente adotados pelo docente e a importância deste tipo de interação no processo ensino-aprendizagem.

A pesquisa qualitativa busca analisar e interpretar os dados em seu caráter psicossocial, considerando que exista uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito. Deduz-se assim, que exista um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito, de uma maneira que não pode ser traduzida numericamente. A interpretação dos fenômenos é feita para que se possa atribuir a eles significado. (ASSIS, 2008).

Dentre os 4 (quatro) *campi* da UFERSA, o Centro Multidisciplinar Pau dos Ferros foi selecionado como sendo campo de estudo desta pesquisa. O município de Pau dos ferros situa-se no interior do estado do Rio Grande do Norte, a 398 km da sua capital, Natal. Para um melhor reconhecimento do local, a Figura 04 a seguir nos mostra a vista aérea do referido *Campus*, às margens da rodovia BR-226:

Figura 04: Vista aérea UFERSA – CMPF.



Fonte: Google Earth, 2018.

A coleta dos dados necessários para a obtenção dos resultados e suas discussões foi proveniente da turma de Estruturas de Aço (PEX0288) matriculada no semestre letivo 2018.1 do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil no CMPF da UFERSA. Entende-se pela turma, o conjunto de discentes matriculados no Componente Curricular Estruturas de Aço, bem como o seu docente.

A referida turma é composta por 44 alunos regularmente matriculados, dos quais selecionou-se uma amostra aleatória com a quantidade de 6 alunos, utilizando como método de amostragem, a saturação teórica das respostas, encerrando a coleta de dados no momento em que as respostas dos participantes se tornam repetitivas. Saturação, nesse contexto, é um termo criado por Glaser e Strauss (1967) para se referirem ao momento da pesquisa em que a coleta de novos dados, por entrevistas e questionários, por exemplo, não traria mais esclarecimentos para o objeto estudado.

No desenvolvimento da pesquisa, foram executadas várias etapas até o alcance dos seus objetivos, como será discorrido a seguir.

Previamente, foi realizada a pesquisa bibliográfica acerca do tema, utilizando recursos digitais para busca de bibliografia correlacionada à proposta da pesquisa, como *sites*, artigos em revistas, periódicos, teses e dissertações. Buscou-se, também, materiais impressos como

livros, revistas e manuais. Esse referencial foi importante para entender o que já foi discutido sobre o assunto e para embasar as discussões posteriores sobre resultados.

Depois disso, elaborou-se o roteiro das entrevistas, os quais podem ser consultados nos Apêndices A e B. Nestes, foram elencadas perguntas pertinentes à investigação, que serviram como roteiro para efetuação das entrevistas.

O intuito das entrevistas (Apêndice A) foi o de captar a visão da amostra de discentes sobre o impacto da utilização do recurso didático proposto, no sentido de auxiliar o entendimento de situações de projeto e do componente curricular como um todo.

Dessa maneira, foram elaborados questionamentos quanto à existência de dificuldades associadas ao entendimento dos assuntos abordados no componente curricular, o impacto que isto pode causar no seu desempenho acadêmico, sua opinião sobre a efetividade da utilização das peças 3D e sobre as tecnologias emergentes e o seu potencial de inserção no processo ensino-aprendizagem.

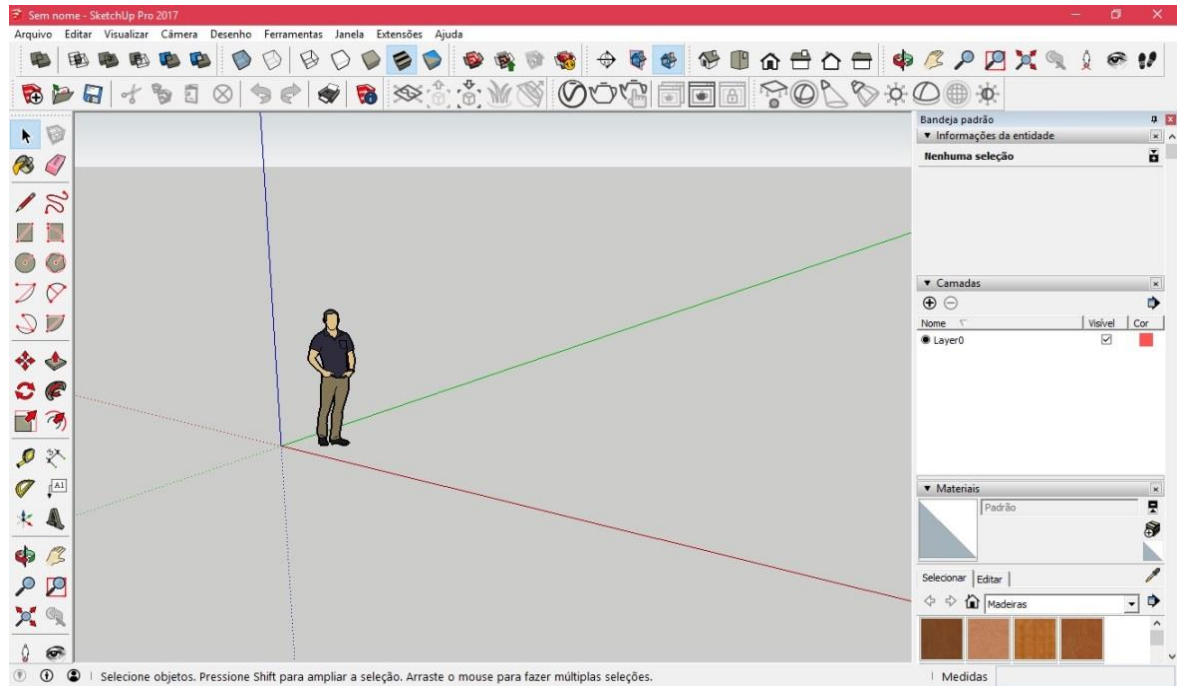
De forma semelhante, o segundo roteiro (Apêndice B) busca permitir a identificação da percepção do docente sobre o panorama gerado durante a pesquisa. Com isso, surgem perguntas que buscam: diagnosticar a situação dos alunos (agora na visão do docente) diante da problemática e suas dificuldades em assimilar os conteúdos; identificar os recursos didáticos anteriormente empregados nas aulas de Estruturas de Aço e sua conexão com o componente curricular; consultar o docente sobre os resultados por ele observados, relativos à utilização da impressão 3D na abordagem dos conteúdos no âmbito do componente curricular; e sua opinião quanto ao uso de tecnologias emergentes para atendimento das demandas atuais do ensino acadêmico.

Em outra etapa, houve a escolha das peças e posterior modelagem e impressão 3D. Inicialmente, foram estudadas juntamente com o docente do componente curricular, as peças mais relevantes que poderiam ser impressas e que viessem a auxiliar na dinâmica da aula e entendimento das situações apresentadas. Esse estudo resultou na definição de 6 peças, posteriormente modeladas e impressas. Foram elas: uma conexão de base de pilar em perfil I, quatro ligações entre vigas e pilares também em perfis I e uma conexão entre barras do tipo dupla cantoneira.

A modelagem 3D foi realizada com o auxílio do *software* Trimble SketchUp Pro 2017, cuja interface é apresentada na Figura 05. Após modelados, os sólidos foram exportados para o formato STL, por meio do plugin chamado SketchUp STL. Além deste, no Trimble SketchUp Pro 2017, ainda foi instalada a extensão CleanUp³, com o intuito de realizar

limpezas e otimizações nos modelos, tornando assim mais rápida a solução de problemas que poderiam comprometer a impressão.

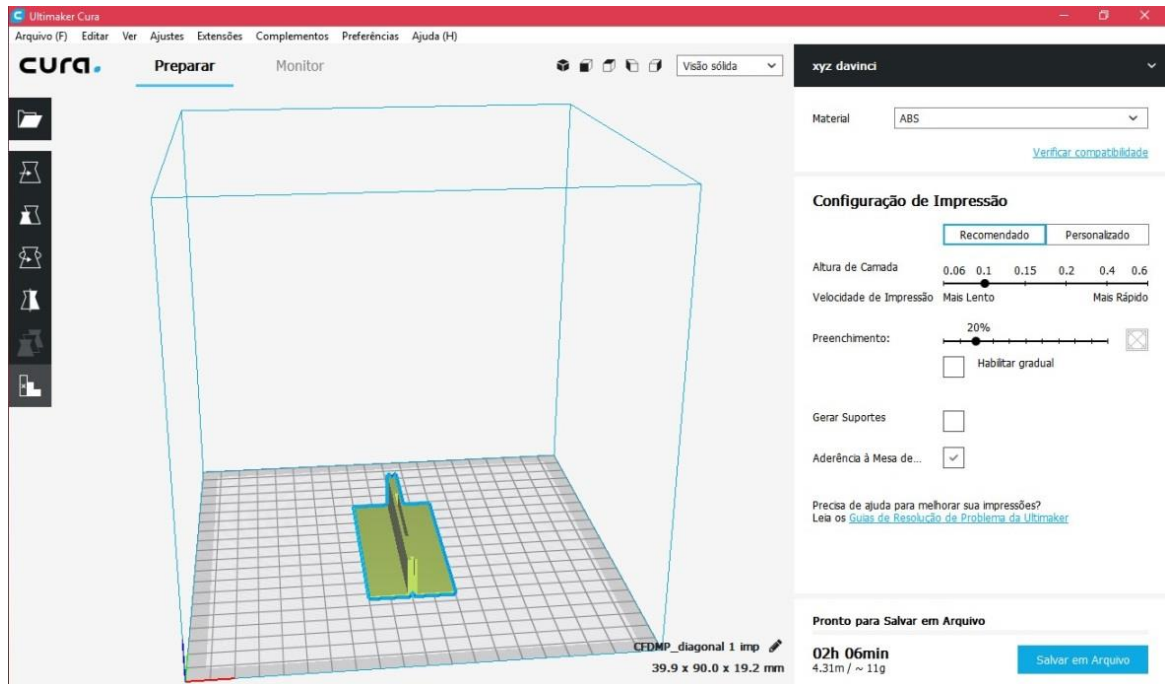
Figura 05: Interface do Trimble SketchUp Pro 2017.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

Com os arquivos salvos no formato STL, seguiu-se para execução do fatiamento das peças, para que fosse possível a sua leitura e impressão através da máquina impressora. Tal fatiamento foi conseguido com o auxílio de outro *software*, o Ultimaker Cura 3.3.1. A interface deste está exibida na Figura 06 a seguir. É importante ressaltar que o *software* também foi utilizado para configurar todos os parâmetros que implicam durante o funcionamento da máquina de impressão.

Figura 06: Interface do software Ultimaker Cura 3.3.1.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

O Ultimaker Cura permite adicionar o modelo da impressora a ser utilizada e suas características como número de extrusores, área de impressão, ponto de partida do extrusor, tipo de material adotado, diâmetro do filamento de material, entre outros. A partir destes dados cadastrados pelo usuário e das configurações de impressão, ajustadas também no próprio *software*, já é informado o tempo estimado de extrusão e a quantidade de material a ser consumida.

Podem ser utilizadas as ferramentas básicas do *software*, como ajuste de escala do objeto, ajuste da posição do objeto na mesa de impressão, rotacionar ou espelhar, assim como ferramentas mais específicas da impressão, a exemplo da altura das camadas de impressão, densidade de preenchimento do interior do objeto, temperatura do material e da mesa de impressão, velocidade do extrusor, habilitar geração de suportes para partes instáveis do objeto e o tipo de aderência do mesmo com a mesa de impressão, além de ajustes para usuários mais avançados. Os parâmetros básicos utilizados na máquina para realização deste trabalho foram os exibidos no Quadro 01.

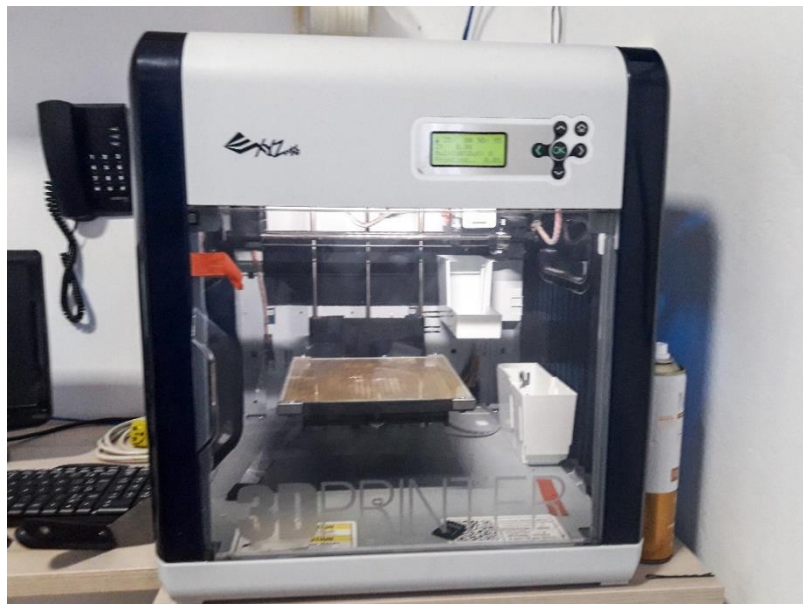
Quadro 01: Parâmetros básicos utilizados na máquina de impressão 3D.

PARÂMETRO	VALOR UTILIZADO
Altura da camada (mm)	0,15
Densidade do preenchimento (%)	90
Temperatura do material de impressão (°C)	210
Temperatura da mesa de impressão (°C)	95
Velocidade de impressão (mm/s)	60
Gerar suportes	Habilitado
Tipo de aderência à mesa	<i>Raft</i> ³

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

O fatiamento do objeto gera um arquivo no formato GCODE, transferido então para a impressora 3D que fará a extrusão conforme as especificações do arquivo. A máquina impressora utilizada trabalha com a tecnologia FDM e o modelo é o XYZ Da Vinci 1.0, correspondente ao apresentado pela Figura 07. Esta impressora possui um extrusor e seu volume de impressão é cúbico com lado de 20 cm.

Figura 07: Impressora XYZ Da Vinci utilizada.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

³ Método de nivelamento da base da mesa de impressão 3D que gera um suporte abaixo dos objetos. É bastante utilizado para materiais com pouca aderência.

O material utilizado foi o Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) em um filamento de 1,75 mm e o tempo de impressão e consumo de material variou de acordo com o volume das peças. De acordo com a fabricante Printalot (2016), o ABS é um polímero resistente ao impacto, comumente empregado na indústria automotiva (para-choques, espelhos, interior, etc), na fabricação de brinquedos (Lego), aparelhos, e em impressões 3D. Este material é caracterizado por ser duro e rígido, muito resistente à abrasão, e sua superfície é facilmente tratável, por meio de lixas, tintas e outros. O mesmo é solúvel em acetona podendo, obter com ela um aspecto mais brilhante ou mesmo promover colagem.

Feita a impressão e a retirada dos produtos fabricados pela XYZ Da Vinci, algumas peças necessitaram ainda de ajustes de forma devido a imperfeições advindas do processo de extrusão e remoção da máquina, esses ajustes foram executados com lixas (comumente utilizadas em paredes). Como elas também foram impressas em partes separadas, posteriormente fez-se necessária a colagem das partes para se obter o objeto de forma íntegra. Na colagem usou-se cola instantânea ®Tek Bond.

O acabamento final das peças foi obtido, após sua limpeza, e revestimento superficial com tinta *spray* na coloração cromado com duas demãos. Apenas a peça correspondente a conexão entre perfis dupla cantoneira não recebeu o tratamento com pintura, pois a intenção foi permitir que ela fosse montada ou desmontada a depender da proposta de apresentação na aula, esse processo iria gerar atrito entre as peças e possivelmente levaria à remoção da tinta no encaixe. Os materiais relacionados nesta finalização estão exibidos na Figura 08 a seguir:

Figura 08: Materiais empregados no acabamento das peças.

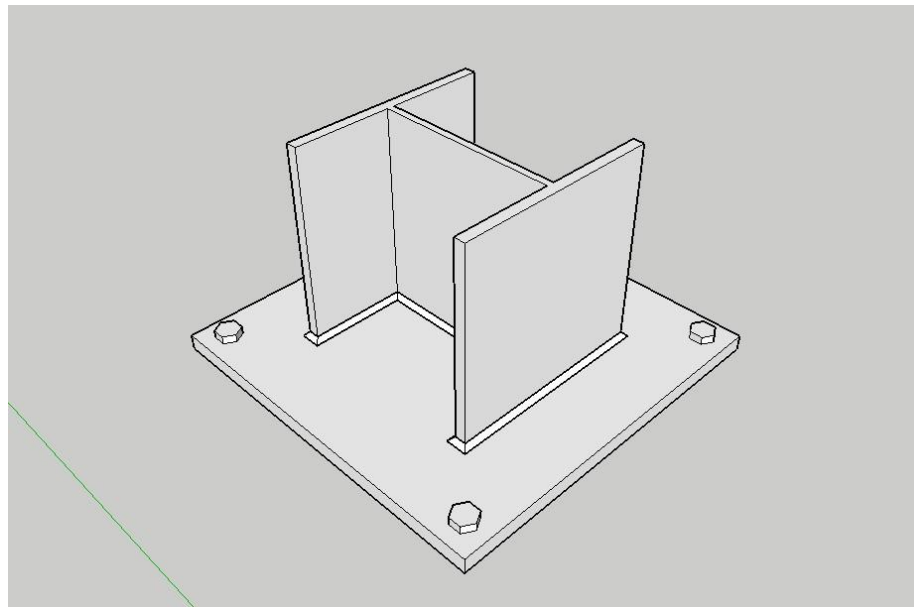


Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

Neste momento do trabalho, o recurso didático já estava pronto. Então, o prosseguimento foi dado com a utilização experimental das peças em sala de aula. Durante esta etapa, o professor do componente curricular Estruturas de Aço levou às suas aulas as peças impressas, conforme o assunto programado para cada data. Desta forma, houve a busca pela complementação da didática do professor com as impressões.

O recurso didático foi aplicado ao longo da segunda unidade do componente curricular, principalmente na explicação dos assuntos “Análise global das estruturas” e “Dimensionamento de barras comprimidas”. A primeira peça utilizada foi a representação de uma base de pilar com perfil metálico em I conectado a uma base de concreto por meio de uma chapa de base e quatro chumbadores, como mostra a Figura 09.

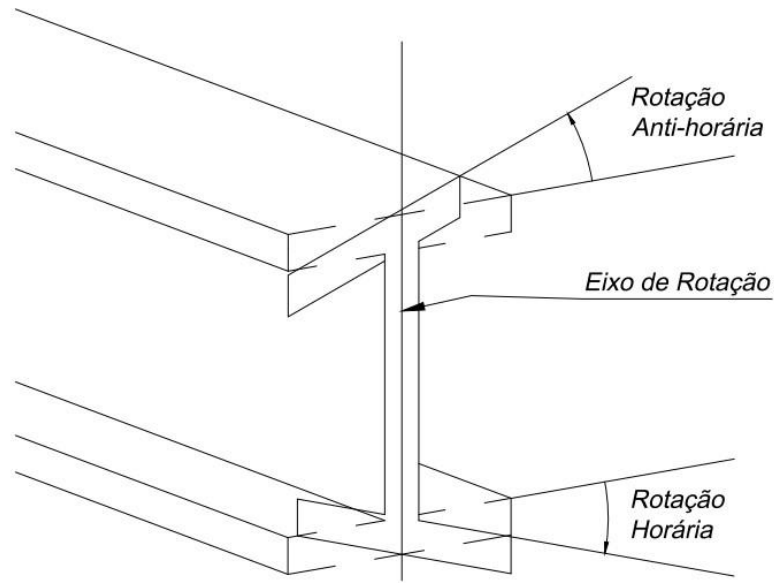
Figura 09: Modelo - base de pilar.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

A Figura 09, busca auxiliar na explicação do comportamento de perfis metálicos contidos em uma extremidade por uma chapa de base, submetidos à compressão axial. Durante o dimensionamento destes elementos comprimidos surge a necessidade, por vezes, de verificar a flambagem por torção. A chapa de base impede o giro por torção e o empenamento da seção. Conforme ilustrado na Figura 10, quando uma seção sofre torção uniforme, todos os pontos da seção estão livres para sofrerem movimentos longitudinais (Teoria de Saint-Venant). Estes movimentos provocam o empenamento da seção transversal do pilar. Quando há restrição ao empenamento, ocorre a torção não uniforme.

Figura 10: Empenamento da seção na flambagem por torção.



Fonte: Adaptado de Silva, 2008.

As seções transversais duplamente simétricas, como é o caso do perfil I mostrado na Figura 10 podem apresentar flambagem por flexão em relação aos eixos principais de inércia, além da flambagem por torção em relação ao seu eixo longitudinal. (FAKURY et. al., 2016).

A carga crítica de flambagem (N_{ϵ}) segundo os eixos citados, segundo a carga crítica de Euler, é dada por:

$$N_{\epsilon x} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2} \quad (01)$$

$$N_{\epsilon y} = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_y L_y)^2} \quad (02)$$

$$N_{\epsilon z} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right] \quad (03)$$

Onde, E corresponde ao Módulo de Elasticidade do aço, I é a inércia em relação a um dos eixos principais da seção transversal, r_0 é o raio de giração polar, G é o seu módulo de elasticidade transversal e J é o momento de inércia à torção. Temos ainda C_w , chamado de coeficiente de empenamento, que de forma semelhante a inércia, pode ser simplificada como valor da resistência de a seção sofrer empenamento. Assim, quanto maior o C_w , mais difícil a seção sofrer o empenamento.

Percebemos que N_x pode ser calculado em cada eixo do elemento que se deseja dimensionar, levando em consideração o comprimento de flambagem da barra (l) em relação àquele eixo, que pode ser calculado da seguinte maneira, exemplificando para o eixo x:

$$l_x = K_x * L_x \quad (04)$$

Onde L_x é o comprimento destravado da barra em relação ao eixo x e K_x é o coeficiente de flambagem por flexão em relação ao eixo x. De forma genérica, o comprimento de flambagem de uma barra é dado pelo produto de K e L, sendo que o coeficiente K possui valores teóricos determinados para várias condições de contorno geralmente presentes no dimensionamento.

O coeficiente de flambagem por flexão (K_x ou K_y) pode ser obtido pela tabela fornecida pela ABNT NBR 8800:2008, ilustrada na figura 11:

Figura 11: Coeficiente de flambagem por flexão

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem						
Valores teóricos de K_x ou K_y	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio	 Rotação e translação impedidas Rotação livre, translação impedida Rotação impedida, translação livre Rotação e translação livres					

Fonte: ABNT NBR 8800, 2008.

Enquanto para a obtenção do coeficiente de flambagem por torção (K_z), a mesma norma técnica faz a seguinte recomendação:

O coeficiente de flambagem por torção, K_t , função das condições de contorno, deve ser determinado por análise estrutural, ou, simplificada, tomado igual a:

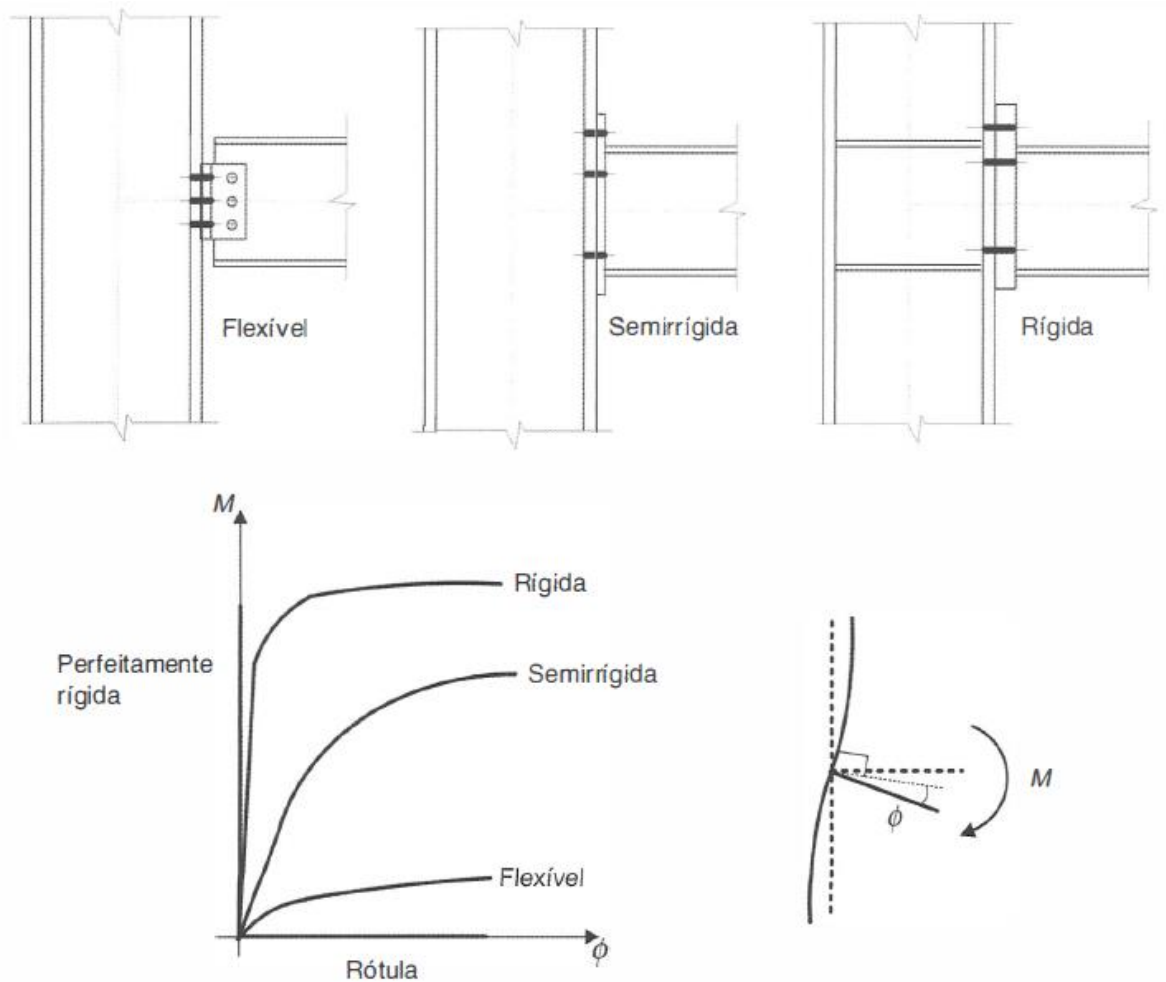
- a) 1,00, quando ambas as extremidades da barra possuírem rotação em torno do eixo longitudinal impedida e empenamento livre;
- b) 2,00, quando uma das extremidades da barra possuir rotação em torno do eixo longitudinal e empenamento livres e, a outra extremidade, rotação e empenamento impedidos. (ABNT NBR 8800, 2008, pg. 125)

Fakury et. al. (2016) também informa que para impedir a ocorrência do empenamento nas extremidades das barras da estrutura, devem ser utilizados elementos com resistência e rigidez adequada para que não haja também, deslocamentos longitudinais. Um dos elementos que podem ser utilizados para isso é o da Figura 09. Logo, a peça desta figura pode demonstrar este conceito de seção com empenamento e rotação impedidos na base do pilar e pode ainda ser mencionado o fato da outra extremidade se encontrar livre, possibilitando tanto empenamento, quanto rotação livres. Neste caso os coeficientes de flambagem por flexão seriam iguais a 2,0 e o coeficiente de flambagem por torção seria igual a 2,0 também.

Para explicar os conceitos abordados com as próximas peças 3D, primeiramente, classificaremos os tipos de ligações utilizadas no projeto de estruturas metálicas. Existem três tipos de ligações, segundo Pfeil (2009), as rígidas, as flexíveis e as semirrígidas, como é ilustrado na Figura 12.

As ligações rígidas são as que têm rigidez suficiente para manter praticamente constante o ângulo entre as peças para qualquer carga, até atingir o momento resistente da ligação, ou seja, a rotação relativa entre peças é quase nula. As ligações flexíveis permitem a rotação relativa entre as peças com um comportamento próximo de uma rótula, transmitindo pequenos momentos fletores de uma peça à outra. E as ligações semirrígidas possuem o comportamento intermediário entre os dois casos anteriormente descritos. Vale lembrar que dificilmente uma ligação será perfeitamente rígida ou rotulada, pois estas são situações ideais. (PFEIL, 2009).

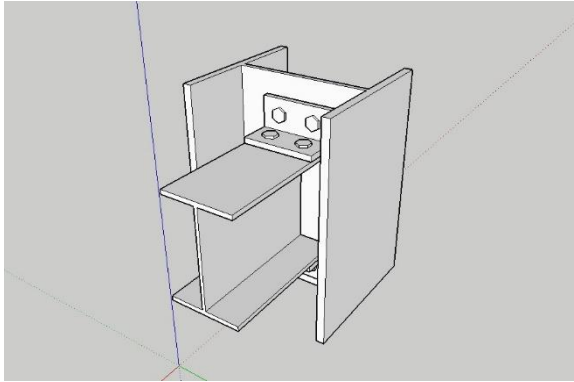
Figura 12: Classificação das ligações quanto ao seu comportamento momento M x rotação ϕ .



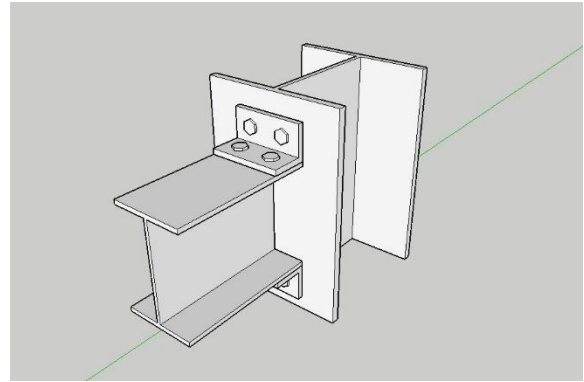
Fonte: Pfeil, 2009.

Na utilização das ligações entre vigas e pilares fabricadas via impressão 3D, evidenciamos o nível de rigidez em 4 tipos de ligações típicas do projeto de estruturas de aço, conforme observa-se na Figura 13, a seguir. Na Figura 13a mostramos uma ligação flexível (sem impedimento à rotação da viga e consequentemente sem transferência de momento fletor para o pilar); na Figura 13b, vê-se um dos tipos de ligação semi-rígida; na Figura 13c, temos uma ligação também semi-rígida, porém com um pouco mais de interação entre a viga e o pilar; e na Figura 13d, o tipo de ligação mais rígida.

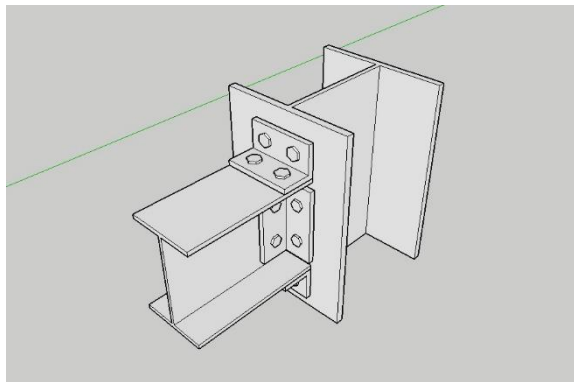
Figura 13: Ligações viga-pilar.



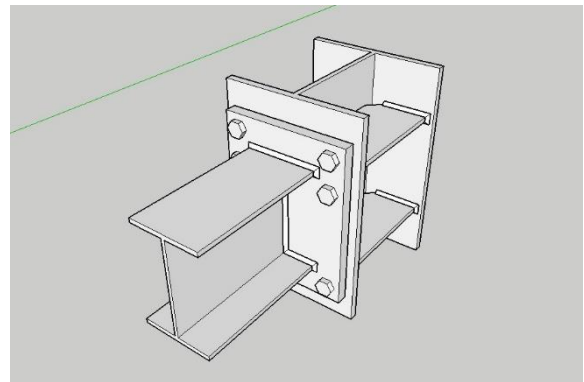
a) Modelo – ligação flexível.



b) Modelo – ligação semi-rígida 1



c) Modelo – ligação semi-rígida 2.



d) Modelo – ligação rígida.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

O tipo de ligação apresentado na Figura 13a é bastante recorrente pois por transmitir pouquíssimos momentos fletores da viga para o pilar, possibilitam o dimensionamento dos pilares somente submetidos ao esforço de compressão axial. Já as ligações semi-rígidas são menos usuais pois a porção de momento fletor transmitida pela ligação é muito variável e difícil de ser determinada. E a ligação rígida, da forma como é exibida na Figura 13d é também consideravelmente adotada em projetos, pois restringe em 90% ou mais a rotação do nó.

É importante conhecer bem estes tipos de ligações, pelas quais os membros da estrutura se incorporam ao conjunto para fazer sua adequada concepção. Segundo Santos (1977), a concepção inadequada de uma conexão possibilita o surgimento de esforços secundários, que colocarão em risco a estabilidade do conjunto. O autor acrescenta que uma única conexão incorreta pode arruinar totalmente uma obra, sendo este erro mais corriqueiro que problemas relacionados a cargas atuantes excessivas.

Portanto para realizar a análise estrutural de uma estrutura metálica ou mista é imprescindível que se conheça os tipos de conexões existentes nos pórticos, para assim determinar os diagramas corretos de esforços normais, cortantes e de momento fletor. Percebe-se, no entanto, que existem diversos tipos de ligações além dos apresentados na Figura 13, pois uma simples alteração na disposição dos elementos, como ocorre da Figura 13a para a 13b resulta em uma rigidez diferenciada.

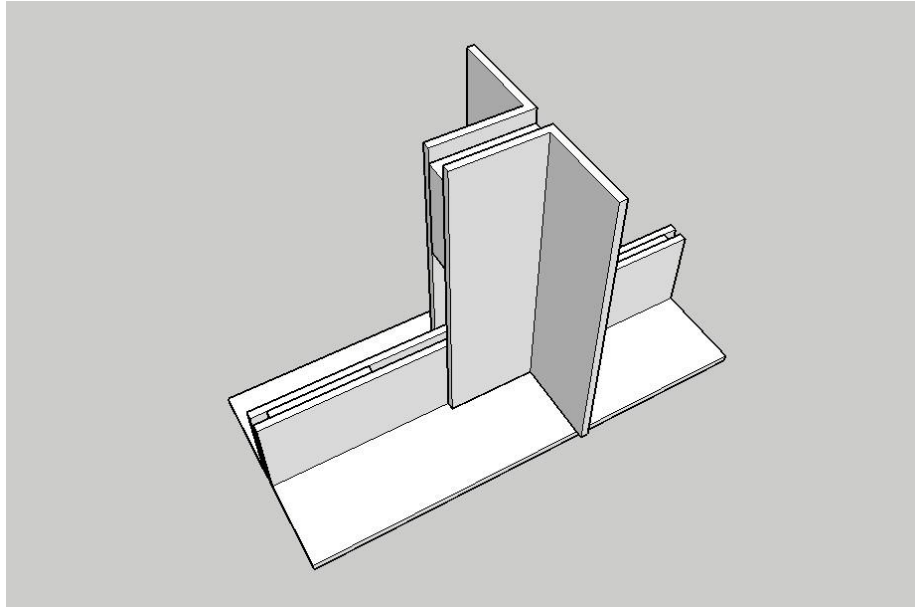
No caso mencionado, a diferença de rigidez se dá devido a contribuição da alma do pilar na rigidez da ligação. Da forma que é executada na Figura 13b, é utilizado o eixo de maior inércia da alma do pilar para aplicação dos momentos fletores, tornando as rotações relativas menos intensas. O inverso ocorre na ligação de Figura 13a, então as rotações relativas ocorrem com maior facilidade.

A ABNT NBR 8800: 2008, prevendo a utilização de diversas soluções pelos projetistas, determina a forma de considerar a rigidez dessas ligações de maneira genérica:

Na análise estrutural elástica, uma ligação viga-pilar pode ser considerada rotulada se $S_i \leq 5,0 E I_v/L_v$ e pode ser considerada rígida se $S_i \geq 25 E I_v/L_v$ (ver 6.1.2.2), onde S_i é a rigidez da ligação, correspondente a 2/3 do momento resistente de cálculo da ligação, simplificada denominada rigidez inicial, e I_v e L_v são o momento de inércia da seção transversal no plano da estrutura e o comprimento da viga conectada à ligação, respectivamente. A rigidez S_i pode ser determinada, na ausência de Norma Brasileira aplicável, de acordo com o Eurocode 3 Part 1-8 ou com base em resultados experimentais. (ABNT NBR 8800, 2008, pg. 63)

A Figura 14 a seguir corresponde à última peça confeccionada durante a pesquisa, a qual corresponde a uma conexão entre barras do tipo dupla cantoneira, montadas com espaçadores longitudinais. Na verdade, esta é dividida em duas partes, já que cada dupla cantoneira é separável e possui características um pouco distintas, podendo exemplificar diferentes situações de projeto.

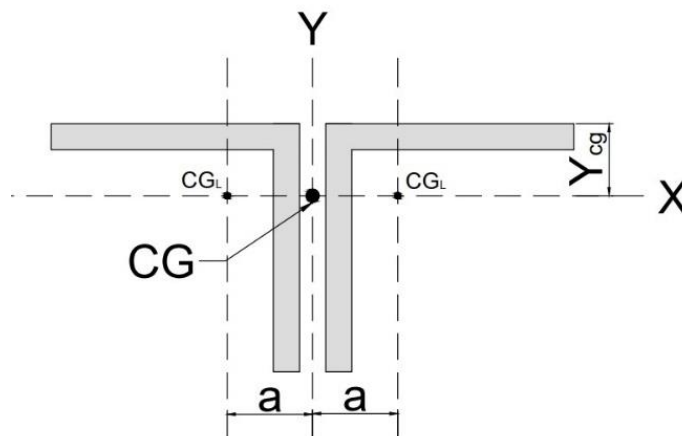
Figura 14: Modelo – conexão entre cantoneiras.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

Um dos conceitos que podem ser abordados a partir destas peças é o de raio de giração da seção transversal das duplas cantoneiras. Consideremos então, uma dupla cantoneira disposta nos eixos cartesianos como mostra a Figura 15.

Figura 15: seção transversal de uma dupla cantoneira



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

De acordo com Hibbeler (2005), podemos utilizar o Teorema dos Eixos Paralelos para determinar a inércia da seção transversal em torno do eixo y (I_y) somando a inércia correspondente de cada uma das cantoneiras (I_{yL}) com uma parcela que multiplica a área da

cantoneira (A_L) pela distância (a) entre o centro de gravidade da cantoneira isolada ao quadrado e o conjunto através da equação 05:

$$I_Y = 2 * (I_{YL} + A_L * a^2) \quad (05)$$

Da equação, podemos perceber que quanto maior for a distância a , maior será a inércia da seção transversal em relação ao eixo y . E a distância a pode ser maior ou menor a depender da chapa espaçadora que estará entre as duas cantoneiras simples. No modelo da figura X, uma das duplas cantoneiras possui chapa espaçadora mais espessa que a outra, possibilitando demonstrar esta característica para os discentes.

Associado à inércia, pode ser destacado também o efeito sobre o raio de giração da seção em relação ao eixo y (r_y), visto que este raio de giração também aumenta, com o aumento da espessura da chapa espaçadora, vide a equação a seguir apresentada por Hibbeler (2005):

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (06)$$

Onde A é a área total da seção transversal.

As chapas espaçadoras podem gerar outras influências no dimensionamento das barras solicitadas axialmente. Geralmente são muito empregadas para reduzir o comprimento destravado das barras dupla cantoneira em relação ao eixo longitudinal (z), tornando-as menos esbeltas. A esbeltez (λ) das barras de aço, devem ser limitadas nos dimensionamentos à compressão, de acordo com o estabelecido pela ABNT NBR 8800:2008, veja:

$$\lambda < 200 \quad (07)$$

Sendo λ calculado em relação a qualquer eixo da barra, pela equação X:

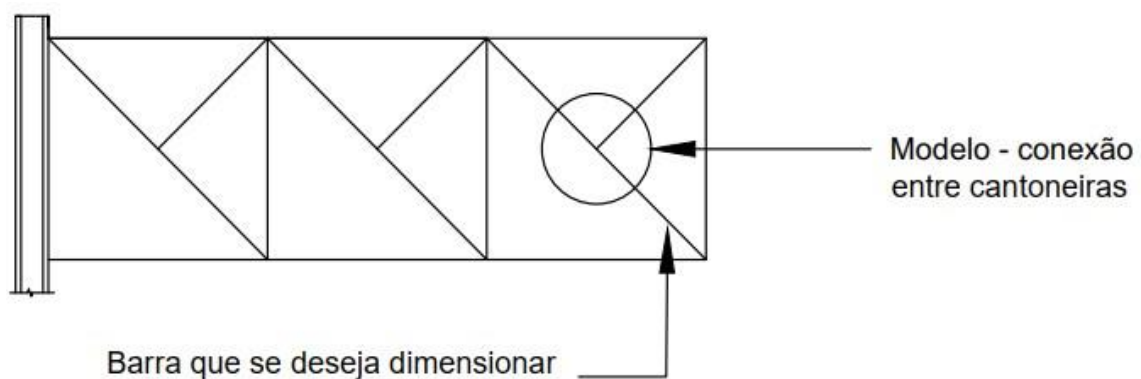
$$\lambda = \frac{l}{r} \quad (08)$$

Outra limitação estabelecida pela ABNT NBR 8800:2008 é que o índice de esbeltez de qualquer perfil, entre duas chapas adjacentes, não seja superior a 1/2 do índice de esbeltez da barra composta:

$$\lambda_z = \frac{l_z}{r_z} < \frac{1}{2} * \left(\frac{l}{r} \right)_{max. conjunto} \quad (09)$$

Ainda com relação ao índice de esbeltez, as peças fabricadas com o modelo da figura X por serem encaixáveis, podem auxiliar no desenvolvimento de exemplos de cálculos ao se dimensionar à compressão uma barra de treliça de forma semelhante a que pode ser vista na Figura 16 abaixo, representada simplificada:

Figura 16: Treliça plana de exemplo.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

Neste exemplo a barra diagonal tem o seu comprimento de flambagem em relação ao eixo x reduzido pela metade devido ao travamento ocasionado pela ligação da barra que a encontra na metade do seu vão. Consequentemente, a sua esbeltez também cai pela metade quando se fala em relação ao eixo x. Em relação ao eixo y, porém o comprimento de flambagem e a esbeltez da diagonal permanecem os mesmos com ou sem a presença da barra que produz o travamento.

E para a finalização do estudo, após a realização deste processo de fabricação e posterior utilização do recurso didático junto à turma do componente curricular Estruturas de Aço no semestre 2018.1, foram aplicadas ainda, as entrevistas mencionadas anteriormente. Estas entrevistas foram conduzidas pelo autor de forma semiestruturada, com a participação de 6 discentes (quantidade em que já pôde se verificar a saturação das informações fornecidas pela amostra) e também do docente.

Consequentemente, estes dados receberam a devida análise e as entrevistas que haviam sido gravadas em áudio foram digitadas para mais rápida identificação e comparação das respostas coletadas. Analisados e com suas discussões feitas, estes dados são apresentados no capítulo seguinte, que concilia as opiniões dos entrevistados com pensamentos de outros autores desta mesma área de pesquisa.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 A problemática e suas consequências no processo ensino-aprendizagem

Executadas todas as etapas descritas anteriormente, pode-se destacar vários aspectos do processo ensino- aprendizagem do componente curricular Estruturas de Aço na UFERSA – CMPF, verificados diretamente com os participantes da turma no semestre 2018.1 (lembrando que as impressões 3D foram implementadas somente após a primeira avaliação escrita dos alunos). E para iniciar esta discussão, será tratado sobre a constatação da problemática abordada, assim como a razão de sua existência.

Em relação a isto, podemos afirmar que, de fato, muitos alunos possuem esta dificuldade em visualizar, analisar e interpretar representações 2D durante as atividades do componente curricular em estudo, seja durante exemplos ou exercícios de dimensionamento, assim como nas avaliações de desempenho estudantil. Quando questionados sobre isto, todos os alunos consultados afirmaram já haver passado por esta situação em algum momento.

Um dos entrevistados relata que no início do componente curricular, que é um período que há menor conhecimento sobre as estruturas por parte do aluno e quando não era utilizada a tecnologia da impressão 3D, esta dificuldade era a maior enfrentada: “Bem no começo da disciplina (*sic*) a minha maior dificuldade era de interpretar o que estava sendo desenhado, o tipo de estrutura que ele estava tentando mostrar”.

Os desenhos a que se refere o participante são executados pelo professor na lousa, com boa qualidade segundo a opinião dos alunos, mas ainda assim, os mesmos possuem dificuldades em relacionar o desenho com a à estrutura real, a partir de sua imaginação. Portanto, a qualidade do desenho na lousa não seria o que leva às dúvidas por parte dos discentes.

Quando se fala sobre o motivo da existência desta problemática, alguns afirmam que é algo que está associado ao próprio conteúdo do componente curricular que envolve conceitos complexos que podem ser confundidos nos eixos coordenados das estruturas, a exemplo dos comprimentos de flambagem. Enquanto isto, outros associam principalmente à falta de convivência do discente com as estruturas metálicas, ou seja, para eles, trabalhar com este tipo de estrutura seria algo novo e os próprios perfis utilizados seriam desconhecidos em sua forma real.

Questionados sobre sua experiência com as construções em estruturas de aço, os participantes demonstram pouca intimidade ou convivência com as mesmas. As experiências

relatadas se reduzem a visitas em obras compostas deste material durante estágio curricular ou somente no próprio componente curricular Estruturas de Aço, em que o docente promoveu uma visita técnica em uma obra do tipo.

Isto mostra que a situação apontada por Karling (1991) se aplica no componente citado, uma vez que com o pequeno ou nenhum contato dos alunos com a estrutura metálica real, um recurso didático como a impressão 3D, torna-se a principal forma de interação do discente com a estrutura propriamente dita. Eleva-se assim a importância da utilização de recursos que permitam a devida aproximação entre as teorias e as situações reais.

No geral, a dificuldade de acesso a estas obras se deve ao fato de que existem poucas construções projetadas com estruturas metálicas na região em que se situa o Centro Multidisciplinar Pau dos Ferros, pois nas obras locais, segundo os entrevistados, predominam estruturas de concreto armado, exceto em coberturas de postos de gasolina, ginásios poliesportivos e outros. Mesmo os alunos que moram em outras cidades de pequeno porte, afirmam que é difícil conseguir acesso a estruturas desse tipo.

De acordo com Fonseca (2015) a utilização de estruturas de aço como tecnologia construtiva encontra-se em desenvolvimento no mercado de engenharia civil brasileiro e representa cerca de 15% do universo do setor de edificações no Brasil. Este valor já é bastante considerável, porém em cidades pequenas, ainda é notável a prevalência das estruturas de concreto armado.

Além disso, o docente do componente ressalta um ponto que pode inclusive prejudicar o aprendizado do discente, ao mencionar que há também dificuldade de encontrar entre as poucas construções em aço existentes, alguma adequadamente concebida e que disponha do projeto estrutural para consulta, não podendo então ser utilizadas como exemplo para o aprendizado deste.

Caso o discente venha a analisar uma estrutura mal concebida e a tome como referência para o seu aprendizado, isto pode levá-lo a cometer erros similares no futuro e mesmo não assimilar as situações de projeto discutidas no componente curricular corretamente, por divergirem do observado em campo.

E dada a existência da dificuldade por parte do aluno em entender as representações 2D de forma rápida e efetiva, problema este observado pelo docente tanto durante suas aulas, como também durante as avaliações escritas, resolvemos verificar também o impacto deste aspecto no desempenho acadêmico dos participantes da entrevista.

Neste caso, todos os discentes entrevistados afirmaram que pode haver sim um impacto negativo decorrente da má interpretação das representações 2D. O participante 02

comenta que para resolver as questões de prova, é necessário entender todas as características da estrutura, onde haverá flambagem, torção, travamentos, etc. O discente por vezes, recorre a objetos ao seu alcance como a régua, na tentativa de representar perfis de aço. O docente concorda com a afirmação do participante, para ele, só se consegue resolver o problema quando há esta compreensão da estrutura, então o discente só consegue mostrar o que aprendeu se ao menos superar esta dificuldade.

Outros discentes, como o participante 04, possuem a visão de que além do impacto sobre as notas do discente, há também um prejuízo relacionado à habilidade de realizar a concepção das estruturas e este considera de grande importância para o discente, no âmbito do componente curricular, adquirir essa capacidade de entendimento dos projetos e do funcionamento da estrutura em si.

Esta importância pode ser traduzida diante do objetivo do componente curricular, que indiretamente requer estas habilidades do educando:

Apresentar ao aluno conceitos de dimensionamento dos principais elementos estruturais de aço submetidos à tração, compressão, flexão simples e composta. O dimensionamento e verificações são feitas considerando o Método dos Estados Limites Últimos. Além disso, são apresentados detalhes típicos de estruturas metálicas e a forma como devem ser apresentados para execução em uma obra. (PGCC, 2018, p. 01).

Ainda se tratando das consequências que nossa problemática de estudo pode vir a ocasionar, citamos também a má utilização do tempo de aula, disponível para a apresentação dos conteúdos previstos para o componente curricular. Neste ponto, o docente aponta que a depender do tipo de exercício realizado em sala de aula, ou seja, quando a resolução depende muito da visão tridimensional da estrutura, há recorrência de interrupções durante sua resolução, para esclarecimento de dúvidas dos discentes sobre a composição da própria estrutura, ao invés do conteúdo proposto para a aula. Isto leva o docente a buscar outras formas de representar o problema, por meio de fotos semelhantes, por exemplo, o que ainda não soluciona tão facilmente a dúvida.

Para que fossem explanados e discutidos de forma apurada todos os conteúdos indicados na ementa do componente curricular, o docente considera que necessitaria de uma carga horária maior à atual (60 horas), podendo facilmente dividir estes conteúdos em 2 componentes, totalizando uma carga horária de 120 horas. Assim, atualmente, mesmo filtrando alguns conteúdos, o cronograma exige uma aula planejada para um ótimo aproveitamento de todo o tempo. Entretanto, quando o aluno não entende a representação do

problema logo de início, há várias interrupções solicitando nova explicação e promovendo o atraso na aula.

A seguir podemos consultar o Conteúdo Programático do Componente Curricular Estruturas de Aço (PGCC) na UFERSA-CMPF:

- Generalidades;
- Critérios de dimensionamentos e cargas;
- Propriedades;
- Introdução ao estudo dos perfis de chapa dobrada a frio;
- Dimensionamento de perfis laminados;
- Dimensionamento de barras tracionadas;
- Dimensionamento de barras comprimidas;
- Dimensionamento de barras fletidas;
- Dimensionamento de barras submetidas à solicitação composta (Flexocompressão e Flexotração);
- Ligações.

5.2 Identificação dos recursos didáticos utilizados pelo docente

Tulio (2013) acredita que é uma atribuição dos profissionais da educação, buscar por alternativas para tornar o ensino mais atraente para os educandos, levando-os a enxergar o ambiente escolar como um espaço onde ele possa construir o conhecimento baseado tanto nos recursos didáticos usuais, como também em recursos tecnológicos, os quais estão presentes em muitos segmentos de nossa vida.

Com isso, uma das alternativas que o docente do componente curricular Estruturas de Aço utiliza para otimização de sua aula e melhor assimilação dos conteúdos por parte dos discentes, é o uso de recursos didáticos diversos, os quais foram identificados - alguns deles, também caracterizados - durante esta pesquisa. Vejamos abaixo a listagem destes recursos:

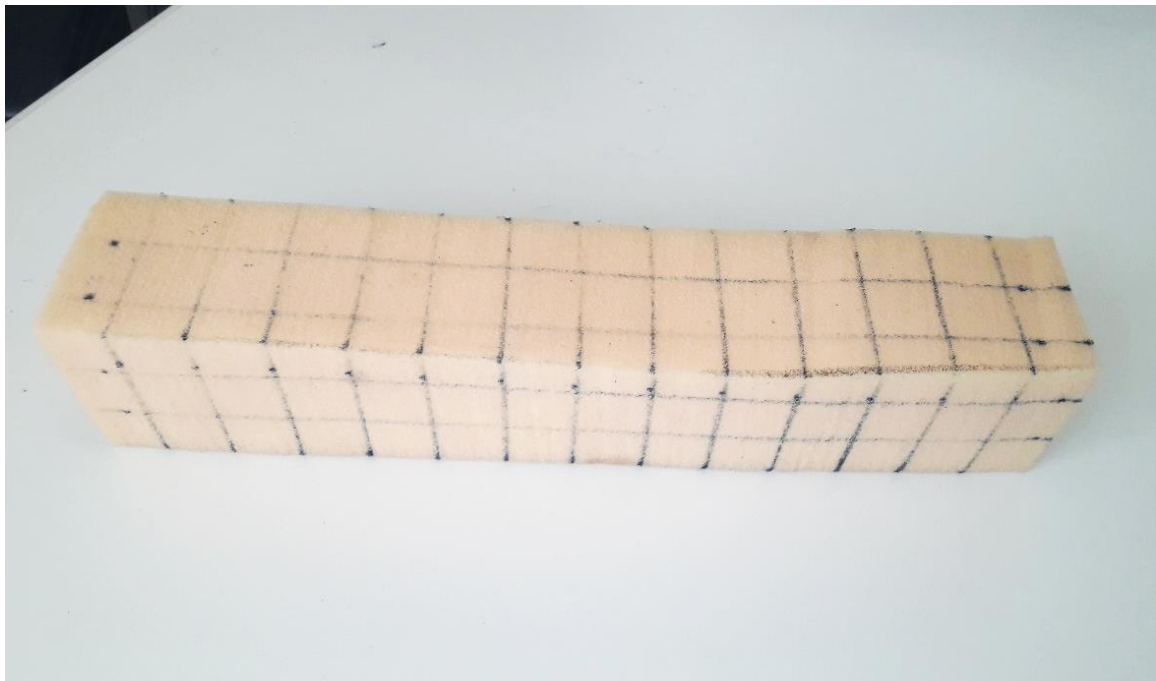
- A própria voz;
- Quadro-branco;
- Ilustrações, sob a forma de desenhos, gravuras e fotografias;
- Projeções de *slides*;
- Vídeos via portal *web*;
- Materiais impressos, como apostilas e catálogos;

- *Softwares*;
- Modelos estruturais.

Logo, percebe-se uma diversidade de recursos integrantes da didática do docente, que vão dos mais elementares a outros bem mais sofisticados, como softwares, vídeos e modelos estruturais. Destaque especial será dado aos modelos estruturais, que são instrumentos que possuem emprego bastante específico para este componente curricular e demais componentes relacionadas à Engenharia de Estruturas. São eles:

- a) Espuma gradeada: É uma barra prismática composta por espuma, com linhas gradeadas desenhadas sobre sua superfície (Figura 17). Possui finalidade ampla, conseguindo apresentar conceitos envolvidos com torção e flexão em barras. Ao submeter a espuma à flexão, pode se ver claramente como ela se encurva, quais fibras são tracionadas ou comprimidas e a linha neutra da peça. Na torção, percebe-se que algumas seções sofrem deslocamentos diferentes, o que faz com que a peça sofra empenamento, deixando de ser a torção uniforme de Saint-Venant. Sua utilização é mais voltada para exemplificar o processo de flexão que de torção.

Figura 17: Espuma gradeada.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

- b) Pórtico com régua acoplada: A concepção do objeto foi elaborada pelo docente, pensando em uma barra carregada à compressão que pudesse ser trabalhada com várias

vinculações nas suas extremidades (Figura 18). É utilizada para expor conceitos de flambagem e Efeitos de 2ª ordem, principalmente no componente curricular de Resistência dos Materiais II, componente do ciclo básico da Engenharia Civil, mas também está presente em certos momentos no componente Estruturas de Aço.

Figura 18: Pórtico com régua acoplada.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

- c) Pórtico de espuma: Material reaproveitado, que provavelmente foi a embalagem de algum produto, e simula um pórtico com dois pilares e uma viga (ver a figura 19). Serve para demonstrar o comportamento da ligação rígida de entre a viga e os pilares. Outras aplicações seriam voltadas para explicação de estabilidade lateral, conceitos de ações e segurança. Utilizado principalmente nos componentes curriculares de Mecânica das Estruturas II, Resistência dos Materiais II e Estruturas de Concreto Armado.

Figura 19: Pórtico em espuma.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

- d) Treliça de palitos de churrasco: Recurso cedido por discentes participantes de uma competição de pontes construídas com palitos de churrasco (Figura 20), promovida pela UFERSA. Auxilia ao abordar o conceito de flambagem de barras no plano da treliça ou fora do seu plano. Conceito este, segundo o docente, bastante abstrato para os discentes que estão fazendo este estudo pela primeira vez. Dificilmente o objeto é levado para a sala de aula por ser uma estrutura grande, com cerca de 1 metro de comprimento, mas sempre que os discentes buscam o docente em sua sala para solucionar dúvidas relacionadas, há essa complementação.

Figura 20: Treliza de palitos de churrasco.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

Por último, temos ainda como modelos estruturais, as peças confeccionadas via impressão 3D que são aquelas já caracterizadas no capítulo anterior deste trabalho. Estas peças são utilizadas exclusivamente no componente Estruturas de Aço e servem como representação de detalhes de projeto usuais neste tipo de estrutura: ligações entre vigas e pilares de perfis I duplamente simétricos, ligação de base de pilares em blocos de coroamento de concreto armado por meio de chapas de base e conexões entre perfis do tipo dupla cantoneira, usual na execução de treliças metálicas.

5.3 Impressões 3D e suas influências

Logo nas etapas iniciais deste trabalho, as impressões 3D foram uma alternativa bem recebida pelo docente de Estruturas de Aço para complementação de sua didática, pois ele já vinha notando há algum tempo o entrave de alguns discentes na resolução de certos exercícios, com dúvidas atreladas não ao processo de dimensionamento, mas sim da compreensão da estrutura.

Esta característica, foi bastante importante para o prosseguimento e correta implementação do recurso didático no processo ensino-aprendizagem dos discentes do semestre letivo 2018.1 da UFRSA-CMPF. Graças a isto pôde-se realizar a impressão das

peças consideradas mais relevantes para o entendimento dos conceitos do componente e planejar de forma mais assertiva em quais aulas, em quais momentos e juntamente com que outros instrumentos as impressões iriam atuar.

Segundo a opinião dos participantes da entrevista, quando questionados sobre a forma como o recurso foi utilizado durante aulas, todos julgaram que foi de maneira adequada ao aprendizado, complementando as teorias abordadas e aproximando o aluno da situação real. Podemos perceber esta aprovação na fala do participante 3, que relata: “Foi no momento ideal, ele pegou as estruturas já juntamente com o conteúdo, associando”.

É importante destacar isso, porque como menciona Tulio (2013), os recursos tecnológicos apenas auxiliam o professor em suas aulas, e se este não realizar um bom planejamento, definir os objetivos a ser atingidos e tiver uma sequência didática para trabalhar o conteúdo proposto, os recursos serão apenas um simples material que não proporcionou o conhecimento pleno no processo ensino-aprendizagem.

Além disso, a implementação não descartou o uso de outros recursos anteriormente existentes conjuntamente, pois o professor fazia a exposição do conteúdo no quadro-branco, em seguida utilizava o modelo 3D impresso para mostrar a forma como uma ligação, por exemplo, era executada e ainda complementava a visão do aluno com registros fotográficos de situações práticas similares. Os discentes exploravam então três sentidos, que eram a audição (explicação da teoria), visão (registros fotográficos e peças) e tato (toque nas peças). As peças foram ainda utilizadas durante algumas aulas de monitoria do componente curricular, buscando facilitar a solução de dúvidas dos estudantes, posteriores à aula comum.

Segundo o pensamento de Ferreira (1975, *apud* Barbosa, 2001), os sentidos são responsáveis pela ligação entre o homem e o mundo exterior. Assim, para os fins de efetivar a aprendizagem, é interessante criar um ambiente que permita estimular o maior número de sentidos possível. Estudando os cinco mais importantes sentidos do homem, cientistas concluíram que a visão é o que apresenta maior possibilidade de aprendizagem, seguido da audição, olfato, tato e paladar, respectivamente.

Com isso, o docente nota uma evolução no aprendizado dos alunos que conseguiram ter maior contato com os elementos 3D. Ele afirma que discentes viram as peças na monitoria, além da sala de aulas, superaram as dúvidas básicas que existiam antes, como por exemplo, perguntas de como era feita a ligação de uma viga em um pilar. Agora, após o uso do recurso, ele diz que responde a perguntas mais elaboradas que as anteriores.

E na opinião dos estudantes entrevistados, as peças realmente os auxiliaram na assimilação de conteúdos e visualização da estrutura e suas interações, assim todos eles

acharam pertinente o emprego do recurso no componente curricular. Evidenciamos a fala do participante 04 e do participante 02 que ratificam a afirmação:

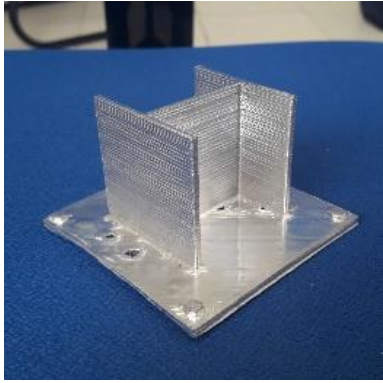
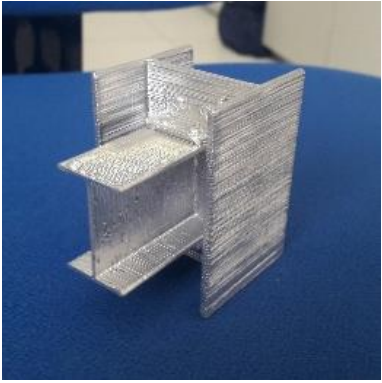
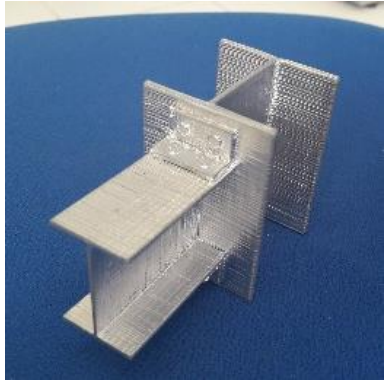
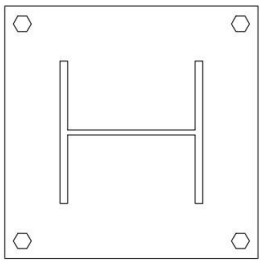
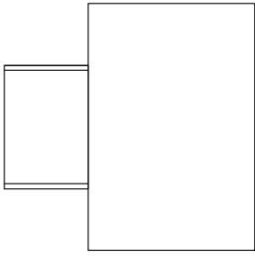
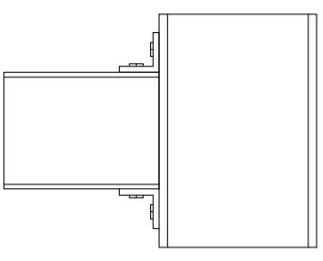
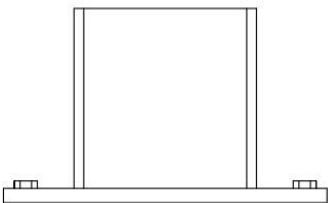
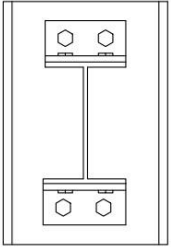
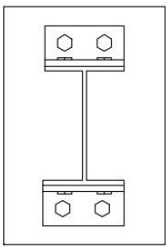
Com certeza me auxiliaram, por que a partir da impressão 3D você tem uma noção real de como aquela estrutura é. Apesar de ser em dimensões reduzidas, você visualiza qual é o perfil que está sendo utilizado e diversos outros entendimentos. (Fala do Participante 04).

Com certeza, principalmente quando ele levou e estava mostrando os tipos de ligações que tinha nas peças, que eu não conseguia visualizar aí quando ele mostrava que a viga estava parafusada na alma e na mesa, com a peça você conseguia ver bem direitinho, mas sem elas, teve uma vez até que eu fiquei perguntando: não estou entendendo, não estou entendendo... (Fala do Participante 02).

O participante 5, por sua vez, percebe o auxílio dos objetos tridimensionais, a partir da perspectiva de que a visão e o toque nas peças, possibilita uma melhor fixação da ideia do que quando é feita apenas sua descrição ou um desenho.

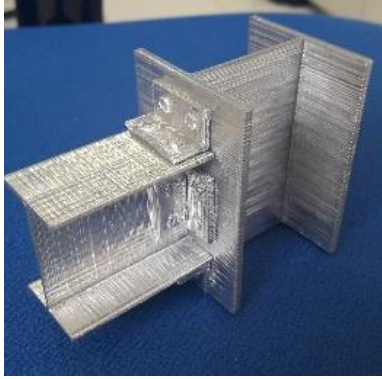
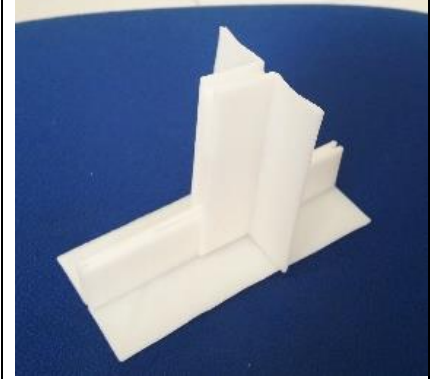
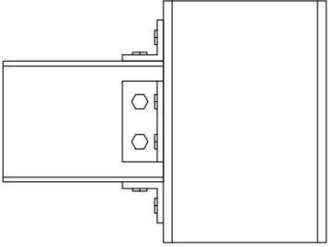
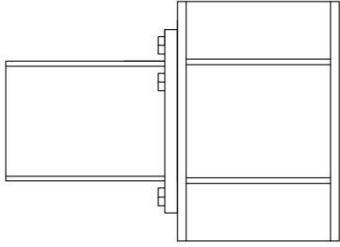
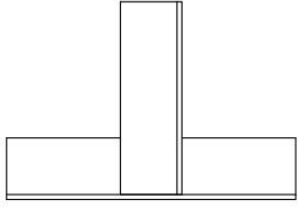
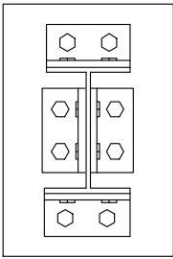
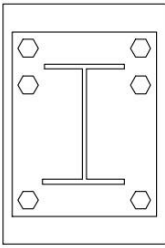
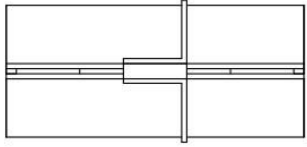
Para que o leitor possa perceber a diferença existente entre as representações 2D clássicas, consagradas no detalhamento de estruturas metálicas, e as representações obtidas mediante a tecnologia de impressão 3D durante a realização deste trabalho, elaboramos o Quadro 2a seguir, com a foto da peça e suas representações em distintos planos cartesianos.

Quadro 2a: Comparação entre representações 2D e 3D.

Peças		
Base de pilar	Ligação flexível	Ligação semi-rígida 1
		
		
		

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

Quadro 2b: Comparação entre representações 2D e 3D.

Peças		
Ligação semi-rígida 2	Ligação rígida	Conexão entre cantoneiras
		
		
		

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

À primeira vista, já se nota que para o entendimento de uma conexão completa da estrutura é necessária sua representação 2D em dois planos diferentes, pois sem isto, algumas informações podem ficar ocultas no desenho. Em algumas situações de detalhamento, cortes adicionais devem ser feitos para permitir o entendimento do problema. Em segundo lugar, destacamos a possibilidade de o discente, ao adquirir o contato com a peça tridimensional, girá-la da forma que preferir, visualizando a estrutura da perspectiva que desejar, analisando cada detalhe rapidamente.

Conforme explica Guarnier (2009), é comum aos profissionais da área de estruturas metálicas, a ideia de se trabalhar com problemas tridimensionais complexos, pois, dentro de uma estrutura de aço, as ligações sempre incluem elementos que se interceptam, originados de

diferentes direções. Assim, as tarefas de solução para tais geometrias dos detalhes da ligação e produção dos desenhos de fabricação são sempre problema a ser solucionado.

Ainda segundo o autor, o avanço da modelagem 2D e 3D de estruturas metálicas provou ser uma das soluções mais viáveis para vencer tais dificuldades. O poder da modelagem 3D é notório, já que o modelo é, nesta perspectiva, uma completa descrição de todas as peças de aço, parafusos, soldas, etc., que constituem o todo ou parte da estrutura de aço que será modelada. E a estrutura representada é real, em escala, dentro do computador.

Nesse contexto, em relação ao uso do recurso didático, o principal ponto positivo indicado durante as entrevistas, foi a capacidade das peças proporcionarem uma visão mais realística das estruturas metálicas; de aproximar o discente daquela realidade. Além disso, foi mencionado que elas auxiliaram na identificação dos perfis metálicos da estrutura, na compreensão de conceitos de torção, flambagens, momentos, formas de ruptura da estrutura, execução de soldas e parafusamentos. As dimensões, formas, a estrutura e seu funcionamento, também ficaram mais claras a partir da implementação do recurso didático.

Fatores como a disposição do aluno para o estudo do componente curricular, também foram indiretamente afetados pelo recurso, pois estes dizem que a partir do momento em que se entende mais facilmente o conteúdo, o aprendizado em geral flui melhor, gerando assim maior disposição para a resolução de exercícios, além de um maior envolvimento nas aulas e com os assuntos abordados. Corroborando com esta opinião, Nicola e Paniz (2016) afirmam que quando um recurso utilizado demonstra resultados positivos no processo ensino-aprendizagem, o aluno torna-se mais confiante, capaz de se interessar por novas situações de aprendizagem e de construir conhecimentos mais complexos.

A única ressalva apontada pelos discentes em relação à forma como as impressões 3D foram utilizadas e as deficiências em geral do processo, é que segundo eles, poderia se extrair mais proveito ainda, se o recurso houvesse sido utilizado com maior frequência no decorrer do semestre letivo, nas aulas, assim como nas monitorias.

Um número maior e mais variado de objetos impressos também seria bem recebido pelos discentes, havendo a sugestão inclusive de o professor levar às aulas, pórticos e estruturas completas confeccionados com a tecnologia de prototipagem rápida. Estas opiniões evidenciam mais ainda a aceitação, assim como a melhoria no processo ensino-aprendizagem, obtida com este trabalho.

5.4 O papel das tecnologias na formação

A tecnologia de impressão 3D, assim como muitas outras vem adentrando nas universidades, alterando as relações e as formas de aprendizado tradicionais, assim, é conveniente comentar e identificar a percepção dos discentes e dos docentes atuais em relação à importância que essas tecnologias desempenham na formação de futuros profissionais. Portanto, este foi mais um dos questionamentos feitos durante a pesquisa e que será discutido a seguir.

Na opinião dos alunos, o uso das tecnologias mais atuais ainda é pouco comum na universidade, nesse sentido, eles acreditam que deveria haver maior engajamento das instituições na promoção do uso tecnológico nas metodologias de ensino atuais. Limitações, como as apresentadas neste estudo, relacionadas à escassez de obras construídas em estruturas de aço, poderiam então ser contornadas com o emprego de tecnologias alternativas que aproximem o aluno daquela realidade, assim como muitas outras aplicações que poderiam facilitar o aprendizado.

Esta é uma ideia compartilhada pelo próprio MEC (2008, apud Silva et al., 2017); para este, embora ao longo dos anos os recursos didáticos tradicionais venham sendo cada vez mais incorporados à prática pedagógica dos educadores, faz-se necessário mais inovações por parte dos professores a fim de complementar o aprendizado. Ainda reforçando, Silva et al. (2017) citam que, atualmente, boa parte dos alunos tem acesso a diversos recursos tecnológicos, então é necessário, mais do que nunca, que os docentes tomem conhecimento dos mesmos para buscar complementos interessantes às aulas expositivas, muitas vezes seguidas de um único recurso que é o livro didático.

Em entrevista, o Participante 04 afirma ser muito importante inserir estas novas tecnologias, tanto para o aprendizado do aluno, como para a vida profissional. Para ele, é possível assimilar muito melhor o conteúdo e de forma mais rápida, além de aprimorar sua visão dos problemas com o uso adequado desse tipo de metodologia. Como profissional ele considera importante, pois estando a par destas tecnologias, o indivíduo pode desenvolver produtos e técnicas novas; e com o domínio da tecnologia ele também estará à frente de diversos concorrentes do mercado, em termos de atualização.

Mesmo o uso de *softwares*, que por vezes gera opiniões diversas no campo da engenharia, na visão dos alunos, é um recurso que parece essencial durante a graduação, visto que já é algo bastante presente no mercado e os estudantes necessitam buscar meios externos de se qualificar para fazer a manipulação das ferramentas disponíveis. O Participante 02, por

exemplo, afirma que o emprego destes *softwares* é uma maneira do profissional ser mais preciso e assertivo em seus projetos.

Enquanto isto, o docente do componente curricular Estruturas de Aço acredita que apesar da importância de inserir novas tecnologias no ensino superior, é preciso também valorizar os métodos e recursos tradicionais. Como justificativa ele coloca em sua fala: “Acredito que as tecnologias que utilizávamos há cerca de 10 anos trazem um exercício consigo, que é o de fazer com que o engenheiro de estruturas interprete a estrutura antes mesmo de ela ser concebida”. Com esta afirmação, ele explica que ao projetar uma ligação, por exemplo, ela além de ser simplesmente um encaixe, possuirá um sentido físico/mecânico na estrutura, que deve ser previsto pelo projetista.

No caso das impressões 3D, ele acha interessante utilizar em aula, por que facilita o entendimento da geometria, entretanto é uma de suas preocupações o fato dos estudantes terem dificuldades em entender a representação bidimensional. Acrescenta também, que se houver uma substituição do detalhamento 2D para o 3D pode ser que, no futuro, os projetistas não consigam mostrar seus projetos da forma clássica, por que ninguém entenderá o projeto executivo se não entender problemas 2D e não seria viável trabalhar sempre com projetos 3D nas obras.

Dessa forma, o profissional deve possuir as duas visões para desenvolver suas atribuições plenamente. E o diferencial para a formação destes futuros engenheiros, se daria então, pelo fato de os alunos captarem a tecnologia apresentada, adotando na sua vida profissional e usufruindo de vantagens como a de facilitar a identificação de problemas antes da fase de execução da obra.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É notório, o rápido avanço que as tecnologias têm adquirido atualmente, juntamente com o progresso científico e comercial associado às suas utilizações nas mais diversas atividades humanas. Essas tecnologias buscam, nada mais que a inovação, otimização, a melhoria e a facilitação dos processos existentes, de forma a trazer maior qualidade de vida aos indivíduos.

E, hoje, já existem tecnologias para auxiliar em praticamente todas as atividades humanas. A impressão 3D como tratou-se ao longo deste trabalho, possui uma pluralidade de aplicações, alguns autores as consideram até mesmo infinitas. Entre elas, este estudo relaciona o ensino superior e o conhecimento da engenharia de estruturas, sugerindo a impressão 3D como ferramenta de facilitação do processo ensino-aprendizagem do componente curricular Estruturas de Aço e obtendo resultados verdadeiramente positivos.

Conforme os dados que foram aqui expostos, pode-se fazer certas afirmações constatadas com a turma do componente no semestre 2018.1. Primeiramente, verificou-se que a problemática identificada pelos pesquisadores é real, os discentes consultados confirmam a dificuldade enfrentada no entendimento de certas representações 2D, corriqueiramente frequentes no detalhamento de estruturas de aço.

Em segundo lugar, percebeu-se que, quando utilizadas de forma planejada, nos momentos adequados e de acordo com os objetivos da aula estabelecidos pelo docente em seu plano didático, as impressões 3D constituem uma poderosa ferramenta facilitadora do aprendizado do componente curricular apontado.

A utilização das peças confeccionadas durante o estudo possibilitou aos discentes consultados uma aproximação da realidade dos projetos de estruturas metálicas durante as aulas, que são predominantemente teóricas, auxiliando na superação de uma das causas das dúvidas relatadas, a escassez de obras com estruturas de aço na região. O próprio docente percebe este cenário e ressalta que as dúvidas relacionadas à montagem das estruturas reduziram dentre os alunos que analisaram bem as peças levadas à aula e monitoria.

A aprovação por parte dos discentes foi tamanha, que os mesmos sugerem que sejam utilizadas mais peças fabricadas com esta tecnologia durante as aulas, abordando outros conceitos que não foram contemplados com esta primeira aplicação. Assim como afirmam vários autores, vemos que os recursos tecnológicos podem sim, ser bem aproveitados no processo ensino-aprendizagem e servem como um diferencial para as aulas, proporcionando

maior aproveitamento dos alunos em relação aos conteúdos e fornecendo um estímulo a mais para os estudos.

A impressão 3D é só uma das tantas tecnologias que dispomos atualmente e o aluno possui acesso a muitas destas outras tecnologias em sua própria vivência, logo eles anseiam por uma maior inserção das mesmas sobre o ambiente universitário. Para eles esta é uma forma de qualificar melhor o estudante para o mercado de trabalho, já que tais ferramentas já estão presentes no seu segmento de atuação, e isso gera uma atualização profissional.

Coincidentemente, um dos entrevistados afirmou já ter trabalhado com impressão 3D anteriormente enquanto membro de um projeto de extensão da universidade, e vê a tecnologia como algo bastante acessível nos dias de hoje, ressaltando que a própria UFERSA possui o maquinário necessário para fabricação de objetos 3D e que aplicações como a deste trabalho beneficiam docentes, discentes e a própria Instituição.

Entretanto, com certeza houve algumas dificuldades enfrentadas no período de realização do trabalho. Quando se refere à tecnologia empregada, sabe-se que esta requer um certo conhecimento prévio dos *softwares* de modelagem, assim como dos *softwares* que fazem a preparação dos arquivos para a impressão e a própria modelagem deve ser realizada atenciosamente com a preocupação de como serão fabricadas. Nesse sentido, os modelos não devem possuir falhas, excessos ou sobras e, às vezes, os objetos devem ser impressos em partes que, depois, são coladas.

Durante a utilização, o docente ressalta que algumas das peças foram mais fáceis de inserir na aula que outras. Ligações semi-rígidas, como são menos usuais na prática e sofrem giros relativos, também pareceram menos didáticas que as demais, para ilustrar a interação estrutural entre viga e pilar.

Em trabalhos futuros, poderiam ser ampliadas as peças utilizadas em sala de aula, além de prever o auxílio em outros componentes curriculares no âmbito da engenharia de estruturas, como Mecânica das Estruturas, Resistência dos Materiais e Estruturas de Concreto Armado. A diversidade de materiais com os quais as impressoras 3D funcionam, também possibilita explorar as propriedades mecânicas dos objetos impressos, o que poderia tornar ainda mais didático o recurso.

Portanto, todos os objetivos propostos para este trabalho foram alcançados com sucesso e o mesmo contribui com a complementação dos conhecimentos multidisciplinares existentes, relacionando a educação e a engenharia de estruturas. Professores e alunos de outras instituições, além da UFERSA, se beneficiam com a apresentação de um recurso didático comprovadamente capaz de atenuar uma das dificuldades presentes no processo

ensino-aprendizagem do componente curricular Estruturas de Aço. Interessados na aplicação de impressões 3D também encontram aqui conceitos e procedimentos importantes para fabricação de objetos, bem como sugestões de uso.

Talvez, ainda exista alguma resistência de docentes que não conhecem a impressão 3D, em acreditar que ela é um instrumento facilitador do processo ensino-aprendizagem, porém, sentimos cada vez mais a presença destas e outras tecnologias nas atividades em geral e com este trabalho trazemos comprovações de sua efetividade. Sendo assim, não se deve ignorar a sua relevância no ensino superior.

REFERÊNCIAS

- 3D PRINTING INDUSTRY. History of 3D Printing. Disponível em: <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginnersguide/history> Acesso em: 04 ago. 2018.
- AGUIAR, Leonardo de Conti Dias. **Um processo para utilizar a tecnologia de impressão 3d na construção de instrumentos didáticos para o ensino de ciências**. 2016. 226 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Educação Para A Ciência, Faculdade de Ciências, Bauru, 2016.
- ANDERSON, C. **Makers: A nova revolução industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- ASSIS, M. C. **Metodologia do trabalho científico**. 2008 Disponível em: http://biblioteca.virtual.ufpb.br/files/metodologia_do_trabalho_cientifico_1360073105.pdf Acesso em: 11 ago. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2008. 237 p.
- BARBOSA, Paulo Osmar Dias. **Recursos didáticos aplicados nos cursos de qualificação profissional**: um estudo de caso no CEFET-PR. 2001. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- BRIGHENTI, Josiane et al. **Metodologias de ensino-aprendizagem: uma abordagem sob a percepção dos alunos**. 2015.
- CASTRO, Adriana Almeida de; MICHALKA, Camilo. O uso da estrutura de aço na arquitetura como alternativa para o desenvolvimento sustentável da construção civil brasileira. I Conferência latino-americana de construção sustentável, 2004, São Paulo. Disponível em: ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP0298d.pdf. Acesso em: 03 jun. 2018.
- CRUMP, S. S. **Apparatus and method for creating three-dimensional objects**. U.S. Patent n. US 5121329 A, 30 out 1989, 9 jun. 1992.
- DAMIS, Olga Teixeira. **Repensando a didática**. 28. ed. Campinas: Papirus, 2010.
- FAKURY, Ricardo Hallal; SILVA, Ana Lydia R. Castro e; CALDAS, Rodrigo B.. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson, 2016. 496 p.
- FELDKERCHER, Nadiane. Formação de professores, práticas pedagógicas, metodologias de ensino e de aprendizagem: estudos que incitam reflexões. **Rebes**: Rev. Brasileira de Ensino Superior, Passo Fundo, p.1-4, dez. 2015. Trimestral.

FONSECA, Carolina; Estrutura metálica é aposta na construção. Centro Brasileiro da Construção do Aço (CBCA). 2015. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticias-detalhes.php?cod=7072>>. Acesso em 03 de Jun.2018.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GLASER, B.; STRAUSS, A. **The discovery of grounded theory**: Strategies for qualitative research. New York: Aldine Publishing Company, 1967.

GUARNIER, Christiane Roberta Fernandes. **Metodologias de detalhamento de estruturas metálicas**. 2009. 399 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

HIBBELER, Russel C. **Estática: mecânica para engenharia**. 10. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2005.

HULL, C. W. **Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography**. U.S. Patent n. US4575330 A, 8 ago 1984, 11 mar 1986.

JONES, R.; HAUFÉ, P.; SELLS, E.; IRAVANI, P.; OLLIVER, V.; PALMER, C.; BOWYER, A. RepRap—the replicating rapid prototyper. **Robotica**, v. 29, n. 01, p. 177-191, 2011.

KARLING, Argemiro Aluísio. **A Didática Necessária**. IBRASA, São Paulo, 1991.

LIBÂNEO, José Carlos. **Didática**. São Paulo: Cortêz, 1994.

LIMA, Paulo Gomes. Educação, ciência & tecnologia: discussões e travessias. **Laplage em Revista**, Sorocaba, v. 3, n. 2, p.1-4, 10 jun. 2017. Laplage em Revista. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.24115/s2446-6220201732354p.1-4>>. Acesso em: 11 ago. 2018.

MACHADO, Flávia Cristina; LIMA, Maria de Fátima Webber Prado. O Uso da Tecnologia Educacional: Um Fazer Pedagógico no Cotidiano Escolar. **Scientia Cum Industria**, Caxias do Sul, v. 5, n. 2, p.44-50, 27 set. 2017. Universidade Caxias do Sul. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v5iss2p44>>. Acesso em 11 ago. 2018.

MARTINS, Vitor Hugo Carvalho. **Impressão 3D: uma abordagem de produção mais limpa?**. 2017. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, Universidade de Minho, Braga, 2017.

MONTEIRO, Marco Túlio Ferreira. **A impressão 3D no meio produtivo e o design**: um estudo na fabricação de joias. 2015. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

MORAN, José Manuel. Novas tecnologias e mediação pedagógica. 6. ed. Campinas: Papirus, 2000.

NICOLA, Jéssica Anese; PANIZ, Catiane Mazocco. A importância da utilização de diferentes recursos didáticos no ensino de biologia. Infor, Inov. Form., Rev. NEaD-Unesp, São Paulo, v. 2, n. 1, p.350-375, 2016. ISSN 2525-3476.

PACHECO, Adriano. **3 indícios que o uso da impressora 3D na construção civil brasileira é iminente**. 2018. Disponível em: <<http://maisengenharia.altoqi.com.br/estrutural/impressora-3d-na-construcao-civil-brasileira/>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

PEIXOTO, Joana; ARAÚJO, Cláudia Helena dos Santos. Tecnologia e educação: algumas considerações sobre o discurso pedagógico contemporâneo. **Educ. Soc.**, Campinas, v. 33, n. 118, p.253-268, mar. 2012.

PFEIL, W.; PFEIL, M. Estruturas de Aço–Dimensionamento Prático de Acordo com a ABNT NBR 8800: 2008. **Editora LTC, 8ª. Edição, Rio de Janeiro**, 2009.

PIZA, Isabella Faria. **Roteiro de modelagem estrutural utilizando a tecnologia bim, desde a modelagem no revit até a análise estrutural no robot**. 2017. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017.

PORTO, Thomás Monteiro Sobrinho. **Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil**. 2016. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

PRINTALOT, Filamentos para impressora 3D. **Catálogo de produtos**. Argentina, 2016. Disponível em : < http://www.3dprinting.com.br/wp-content/uploads/2016/06/PrintaLot_brochure-ENE16_br-1.pdf > Acesso em: 11 ago. 2018.

REZENDE, Paulo Emílio de. **Integração projeto-produção no processo de desenvolvimento de projeto: uma alternativa para melhoria da qualidade no setor da construção de OAE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SANTOS, A. F. dos. **Estruturas metálicas: projeto e detalhes para fabricação**. Mc Graw-Hill do Brasil, 1977.

SILVA, Andressa da Costa Manholer et al. A importância dos recursos didáticos para o processo ensino-aprendizagem. **Arquivos do Mudi**, v. 21, n. 02, p.20-31, 2017. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ArqMudi/article/view/38176/pdf>>. Acesso em: 01 set. 2018.

SILVA, Edson Lubas; SILVA, Valdir Pignatta. **Dimensionamento de perfis formados a frio conforme NBR 14762 e NBR 6355**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2008. 119p. – (Série Manual de Construção em Aço).

TULIO, Mariliz. Recursos didáticos e sua importância para as aulas de geociências no 6º ano do ensino fundamental (Colégio Estadual Antonio e Marcos Cavanis/Castro-PR). **Os Desafios da Escola Pública Paranaense na Perspectiva do Professor PDE**, Paraná , n. 1, 2013.

Disponível em:

<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2013/2013_uepg_geo_artigo_mariliz_tulio.pdf>. Acesso em: 01 set. 2018.

UFERSA, Universidade Federal Rural do Semi- Árido. **Programa Geral de Componente Curricular: Estruturas de Aço**. Pau dos Ferros-RN, 2018.

UFERSA, Universidade Federal Rural do Semi- Árido. **Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Civil**. Pau dos Ferros-RN, 2017.

VAILLANT, D.; MARCELO, C. **Ensinando a ensinar**. As quatro etapas de uma aprendizagem. Curitiba: Editora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

APÊNDICE A – Roteiro de entrevista para os discentes

- 01- Você possui alguma dificuldade de visualização e entendimento das situações de projetos apresentadas em duas dimensões pelo docente do componente curricular Estruturas de Aço em sala de aula, em exemplos e avaliações?
- 02- Se tem, você acredita que esse tipo de dificuldade pode comprometer o seu rendimento acadêmico no componente curricular?
- 03- Você teve algum contato com estruturas metálicas reais antes ou durante a disciplina, de forma que pudesse compreendidas as formas, tamanhos e ligações das estruturas estudadas?
- 04- A utilização das peças 3D pelo professor em suas aulas lhe auxiliou no entendimento das situações-problema apresentadas? Justificar.
- 05- Essa utilização das peças 3D o motivou a estudar mais para o componente curricular ou a se interessar pela área de conhecimento?
- 06- Na sua opinião, a utilização desse recurso das impressões 3D pode ser aproveitada de outras maneiras ao componente curricular Estruturas de Aço? Se sim, quais?
- 07- Para você, qual a importância de inserir tecnologias emergentes (novas) no processo ensino-aprendizagem?

APÊNDICE B – Roteiro de entrevista para o docente

01- Os seus alunos já relataram dificuldades relacionadas à visualização e entendimento das situações de projetos apresentadas em duas dimensões durante as aulas do componente curricular Estruturas de Aço, durante exemplos e avaliações?

02- Você acredita que esse tipo de dificuldade pode comprometer o rendimento acadêmico dos seus alunos? E o ritmo da aula pode se prejudicar por este fator?

03- Quais os recursos didáticos utilizados atualmente no Componente Curricular Estruturas de Aço, além das impressões 3D? Assinalar.

- A própria voz;
- Quadro-de-giz ou quadro-branco;
- Ilustrações, sob a forma de desenhos, gravuras, pinturas, fotografia;
- Projeções (slides, filmes mudos ou sonoros);
- Objetos, espécimes, modelos;
- Globos e mapas;
- Diagramas, plantas e gráficos estatísticos;
- Cartazes, murais, álbuns seriados;
- Televisão;
- Discos, fitas e vídeos;
- Materiais impressos, como revistas, apostilas, catálogos, etc; e
- Computadores - *software e hardware*.
- Outros:

04- Estes recursos didáticos conseguem suprir as suas necessidades como docente do Componente Curricular Estruturas de Aço?

05- A utilização das peças 3D apresentou resultados positivos no processo ensino-aprendizagem? Justificar.

06- Na sua opinião, a utilização do recurso das impressões 3D se adequa ao componente curricular? (Se sim, de que forma?) (Ou, se não, justificar)

07- Quais foram as maiores dificuldades encontradas ao aplicar o recurso didático (Impressão 3D)?

08- Para você, qual a importância de inserir tecnologias emergentes (novas) no processo ensino-aprendizagem?