LUMEN ET VIRTUS
ISSN: 2177-2789

TECNOLOGIA DIGITAL E EDUCAÇÃO DISRUPTIVA: UM CASO APLICADO PARA A ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES

https://doi.org/10.56238/levv16n44-005

Data de submissão: 06/12/2024 **Data de publicação:** 06/01/2025

Gustavo Vaz de Mello Guimarães
Professor, Instituto Politécnico/UFRJ, Macaé, Brasil
E-mail: guimaraes@macae.ufrj.br

Cibele Santana dos Santos
Discente, Instituto Politécnico/UFRJ, Macaé, Brasil
E-mail: cibelesantanads@gmail.com

Necésio Gomes Costa
Professor, Instituto Politécnico/UFRJ, Macaé, Brasil
E-mail: guimaraes@macae.ufrj.br

Rodrigo Caride Gomes
Mestrando e Engenheiro Civil, NIDES/UFRJ, Macaé, Brasil
E-mail: rodrigocaride@gmail.com

Luemy Avila Santos Silva
Educador Maker, SEMED – Pref. Municipal de Macaé, Brasil
E-mail: luemyeducinovar@gmail.com

Roberto Mendonça de Lemos Junior
Educador Maker, SEMED – Pref. Municipal de Macaé, Brasil
E-mail: rmlemosjunior29@gmail.com

Rafael de Luna Gonçalves
Educador Maker, SEMED – Pref. Municipal de Macaé, Brasil
E-mail: rafael.lgoncalves@gmail.com

Carlos Vinicius de Souza de Oliveira
Discente, Instituto Politécnico/UFRJ, Macaé, Brasil
E-mail: viniciusdso09@gmail.com

RESUMO

A quebra dos paradigmas da maneira de ensinar vem sendo cada vez mais necessária para formação de estudantes, pois a implementação de métodos de ensino mais interativos, práticos e colaborativos é fundamental para o desenvolvimento de habilidades críticas, criativas e adaptativas, essenciais para a plena formação acadêmica. Vale destacar que as novas diretrizes curriculares nacionais da engenharia (DCNs) recomendam que os cursos de graduação em engenharia devem proporcionar aos seus egressos técnicas adequadas de observação, compreensão, registro e análise das necessidades dos usuários e de seus contextos sociais, culturais, legais, ambientais e econômicos. Além disso, formular, de maneira ampla e sistêmica, questões de engenharia, considerando o usuário e seu contexto, concebendo

soluções criativas, bem como o uso de técnicas adequadas. Neste ambiente, esta atividade busca apresentar os efeitos de uma experiência disruptiva em uma disciplina eletiva do Curso de Engenharia Civil. Utilizando a cultura Maker e manufaturas aditivas (impressão 3D) foram fabricados e testados diferentes espaçadores destinados a elementos de fundação. com o intuito de encontrar relações entre o percentual de preenchimento e carga de ruptura à compressão. Os resultados permitem observar o impacto de algumas variáveis de impressão na resistência à compressão dos espaçadores, além de fornecer informações quantitativas para a produção alternativa e autônoma de espaçadores com maiores exigências de cobrimento.

Palavras-chave: Educação. DCNs. Cultura Maker. Impressão 3D. Fundações.

1 INTRODUÇÃO

A educação vem passando ao longo das últimas décadas por um grande processo de transformação, resultado principalmente do surgimento de novas tecnologias, que tem revolucionado as experiências de vida e comunicação. Dentro deste contexto é preciso quebrar paradigmas pedagógicos e a educação disruptiva surge, justamente, com o propósito de beneficiar o processo de aprendizado na sociedade contemporânea.

As pesquisadoras Macedo e Sapunaru (2016) trazem a perspectiva histórica da engenharia sempre atrelada a interesses militares, seja no reconhecimento e descrição de mapas, terras, topografias ou na fortificação, defesa e outras construções.

A École Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC) foi a primeira escola de ensino formal de engenharia criada na França em 1747 e formava construtores. De acordo com Macedo e Sapunaru (2016) a ENPC é a que mais se assemelha com as atuais escolas de engenharia.

No Brasil, as autoras trazem que a Real Academia é a precursora da Escola Politécnica da UFRJ e do Instituo Militar de Engenharia (IME). A Real Academia tinha como objetivo a formação de uma elite militar para o desenvolvimento das ciências exatas e tinha o seu estatuto baseado na École Polytechnique de Paris. (MACEDO; SAPUNARU, 2016).

Segundo Abed (2014), as instituições educacionais na sua maioria são orientadas pela valorização do que foi definido como conhecimento e a transmissão dos conteúdos considerados como validos. Tendo como política educacional a transferência dos conteúdos programáticos nas diferentes disciplinas curriculares por um professor detentor de conhecimento e um aluno não detentor.

Assim durante anos as instituições de ensino de uma forma geral, são estruturadas em currículos que se demonstram impróprios para o enfrentamento das situações problemas locais (FREIRE, 1987).

Em 2019, o Ministério da Educação (MEC) do Brasil, através da Câmara de Educação Superior do Conselho Nacional de Educação (CNE), revisou as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) dos cursos de Engenharia, abrindo caminho para mudanças significativas no sistema de ensino.

Hoje com o constante desenvolvimento tecnológico e a rápida evolução do conhecimento, é importante o desenvolvimento de habilidades para lidar com essa velocidade de mudança, sendo inclusive um dos pontos importantes das novas DCNs. Os engenheiros devem ser cada vez mais capazes de se preocupar com a complexidade e a inserção dos seus projetos na sociedade, tomando ciência e analisando todos os impactos sejam eles históricos, culturais, ambientais ou sociais e buscando que sejam positivos. Para isso deve sempre aprender e dialogar com os diferentes atores presentes nos seus projetos. Assim, as universidades brasileiras têm até 2024 para implementar essas diretrizes em seus currículos.

As novas DCNs, estabelecidas pela Resolução CNE/CP nº 2/2019, trazem algumas inovações importantes, tais como:

- Formação Ampla: A ênfase é na formação integral do egresso, que deve contemplar aspectos técnicos, científicos e também éticos e sociais;
- Competências e Habilidades: As diretrizes priorizam o desenvolvimento de competências que vão além do conhecimento técnico, incluindo habilidades como resolução de problemas, trabalho em equipe e comunicação;
- Integração de Disciplinas: Incentiva a interdisciplinaridade, promovendo a integração entre diferentes áreas do conhecimento e incentivando abordagens mais práticas e contextualizadas;
- Experiência Prática: Valoriza a formação prática e a interação com a realidade do mercado de trabalho, sugerindo estágios e atividades práticas durante a formação;
- Educação Sustentável: Aborda a importância da sustentabilidade e das questões ambientais na formação dos engenheiros;
- Inovação e Tecnologia: Reconhece a necessidade de preparar os egressos para um ambiente tecnológico em constante mudança, com foco em inovação.

A engenharia de fundações possui diversas peculiaridades. Geralmente, em um projeto de fundações, dois aspectos devem ser verificados: geotécnicos e estruturais.

Os aspectos geotécnicos estão associados a dois requisitos: (i) segurança adequada com relação a ruptura do sistema solo-fundação e (ii) recalques compatíveis com o deslocamento da superestrutura. A parte estrutural está relacionada ao dimensionamento dos elementos de fundação, incluindo a especificação da qualidade do concreto e das seções das peças. A partir disso, é possível calcular a armadura, levando em consideração o tipo de aço utilizado.

A NBR 6122/2022 – Projeto e execução de fundações – faz menção a NBR 6118/2023 – Projeto e estruturas de concreto – sobre as recomendações para o dimensionamento estrutural das fundações.

O cobrimento da armadura é a distância mínima entre a superfície do concreto e o aço. Ele é essencial para proteger a armadura contra corrosão e garantir a aderência entre o concreto e o aço. A NBR 6118/2023 estabelece diferentes requisitos de cobrimento nominal dependendo do tipo de estrutura e da classe de agressividade ambiental, de acordo com a tabela 1.

Tabela 1 – Cobrimentos nominais da armadura de acordo com a NBR 6118.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV[3]
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje[2]	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido[1]	Todos	30	35	45	55

[1] Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

[2] Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

[3] Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Observa-se que as prescrições da NBR 6118/2023 não especificam as fundações. Apenas fazem menção as estruturas convencionais de concreto armado ou protendido, como: laje, viga e pilar. Com relação a classe de agressividade ambiental, a tabela 2, as apresenta em função do tipo de ambiente e o risco de deterioração da estrutura nos projetos.

Tabela 2 – Classes de agressividade ambiental para projetos de estruturas de concreto, de acordo com a NBR 6118.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana[1), 2)]	Pequeno
III	Forte	Marinha[1)]	Grande
		Industrial[1), 2)]	
IV	Muito forte	Industrial [1), 3)]	Elevado
		Respingos de maré	

[1)] Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

[2)] Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

[3)] Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

A pratica de projetos de fundações mostra que nestes casos o cobrimento costuma ser superior a 4 cm devido ao contato com o solo. Diversos projetos de fundações superficiais (e.g.: sapatas ou radiers) recomendam cobrimentos mínimos de 5 cm e, para fundações profundas (e.g.: estacas ou tubulões), cobrimentos de até 7,5 cm veem sendo aconselhados recentemente.

Tradicionalmente são utilizados espaçadores de plástico para garantir que os cobrimentos da armadura recomendados nos projetos sejam atingidos durante a execução das fundações. O método mais comum para a fabricação desses espaçadores é a injeção de plástico, onde a resina plástica é derretida e injetada em moldes que dão forma ao espaçador. Após o resfriamento, os espaçadores são desmoldados.

A Figura 1 apresenta alguns tipos de espaçadores de plástico utilizados para garantir o cobrimento da armadura durante a execução de estruturas de concreto.

Figura 1 – Espaçadores de plástico injetado para a armadura.



Lobo (2022), Carvalho (2023) e Pinto (2024) relatam que nos últimos anos existe uma dificuldade em adquirir (pronta-entrega) espaçadores que permitem as fundações terem cobrimentos nominais maiores que 5 cm no mercado da região norte fluminense.

Nesse contexto, ao integrar as novas DCNs e a abordagem da educação disruptiva, a engenharia civil pode introduzir novas práticas para execução das estruturas, como por exemplo a utilização de impressão 3D para a fabricação de espaçadores específicos para armaduras de fundações.

2 EDUCAÇÃO DISRUPTIVA

A disrupção pode ser entendida como a interrupção ou ruptura brusca de algo. Sendo assim, o termo, que aparenta ter um significado complexo, é, na verdade, bem fácil de entender.

A educação disruptiva nada mais é do que a transformação passada pelo processo de ensino e aprendizado, que vem simplificando, aperfeiçoando e modificando a dinâmica de ensino e a estrutura de aprendizado.

O modelo tradicional de ensino, centrado na figura do professor como detentor do saber, vem sendo questionado ao longo das últimas décadas, principalmente com a chegada de novas gerações de jovens, que já nascem dentro de um modelo social onde a revolução tecnológica domina.

Um britânico, Ken Robinson, expoente pensador da educação, buscou comparar a evolução que o mundo passou nos últimos 50 anos tendo como referência a sociedade e a educação. Enquanto que a sociedade passou por uma transformação profunda, a educação permaneceu com a mesma estrutura do século passado.

Assim, para chegar a estas novas gerações de crianças, era necessário o surgimento de novas abordagens educacionais e novas práticas pedagógicas.

A educação disruptiva bate nessa tecla e prega principalmente a necessidade de transformar as formas convencionais e tradicionais de educação.

2.1 VANTAGENS

Essas novas abordagens educacionais promovem muitos benefícios para professores e alunos, e dentre as suas vantagens, pode-se destacar:

- Personaliza a experiência educacional e estimula a diversidade

Um dos conceitos principais das novas práticas de ensino é o de personalização da experiência educacional. Cada aluno é um indivíduo peculiar, com as suas necessidades pessoais e com seu potencial diferente de todos os outros.

A educação disruptiva busca se afastar desse modelo tradicional que trata o estudante como algo padronizado.

Assim, professores e educadores buscam criar práticas com o uso de tecnologias que beneficiem cada aluno de uma forma diferente, variando de acordo com a necessidade de cada um deles.

- Aprendizagem cada vez mais multidisciplinar

  O pensamento atual promove a ideia de que tudo pode estar interligado, a matemática com a história, a geografia com a física, a biologia com a química.

  Assim, a formação pedagógica dos alunos deve ser desenvolvida a partir desta ideia de multidisciplinaridade, que é uma das bases da educação disruptiva. A tecnologia, nesse sentido, só tem a contribuir.

- Conhecimento prático

  Não que a teoria não seja importante, mas a educação disruptiva promove um modelo de ensino baseado em atividades práticas que visam oferecer conhecimento de forma mais direta e independente. Ou seja, o aluno tem em mãos todas as ferramentas para adquirir conhecimento, cabendo ao professor a função de intermediar, auxiliar e ajudar o aluno.

- Revolução digital e otimização de processos

  A educação disruptiva apresenta novos modelos de gestão pedagógica, aperfeiçoando grande parte dos processos de gestão educacional.

  Utilizar sistemas de inteligência para gerir toda a parte burocrática ou técnica favorece muito este novo modelo de educação, pois o tempo que era desperdiçado pelos professores em tarefas técnicas agora é direcionado para a produção de mais conteúdos e atividades práticas de conhecimento.

- Estimula habilidades do futuro

  Uma das funções primordiais do processo educacional sempre foi a de preparar nossas crianças para o futuro. Bem, a educação disruptiva por definição já apresenta esta ideia, já que suas dinâmicas que envolvem o uso de tecnologias e meios de comunicação proporcionam aos alunos esse conhecimento necessário para ter sucesso no mercado de trabalho.

  Uma série de habilidades, como inteligência emocional, capacidade de pensar de forma crítica e uma fácil adaptação às necessidades são promovidas dentro de uma estrutura de ensino atual, que busca dar ao estudante mais independência, autonomia e escolhas.

2.2 DESAFIOS

É evidente que nem tudo são flores quando o assunto é educação disruptiva. Por mais que seu conceito seja colocado como uma evolução e uma transformação profunda nas práticas pedagógicas, há ainda muitos desafios e obstáculos.

- Realidade virtual

  A realidade virtual já vem sendo considerada uma das grandes parceiras deste novo modelo de ensino. Tecnologia que simula uma nova realidade, ela favorece o aluno na prática escolar, e facilita o entendimento de assuntos, gerando mais interação, engajamento e sentimento de curiosidade no processo de ensino.

- Realidade aumentada

  A realidade aumentada também tem sido muito utilizada nas salas de aulas ou nas práticas pedagógicas. A tecnologia, que insere elementos virtuais em ambientes reais, facilita e dá uma nova dimensão para o processo de aprendizado.

- Gamificação

  A gamificação ganhou uma nova abordagem com a revolução tecnológica, e hoje é utilizada para facilitar o ensino de crianças e jovens, gerando mais engajamento e entendimento dos conteúdos oferecidos pelos educadores.

- Cultura maker

  Uma cultura muito difundida entre os admiradores da educação disruptiva, a cultura maker é baseada no faça você mesmo, ou seja, no aluno como dono de sua experiência pedagógica.

  Nesse caso, a função do professor é oferecer os instrumentos e as ferramentas para que o estudante consiga de modo independente e autônomo desenvolver suas habilidades e adquirir novas informações e novos conhecimentos.

- Ensino híbrido

  O ensino híbrido é um bom exemplo de como a educação evoluiu e se transformou com as novas tecnologias.

  Hoje em dia o professor e os alunos não são reféns somente da sala de aula física e as práticas pedagógicas podem ser feitas tanto com o uso de espaços físicos definidos, quanto em espaços virtuais ou espaços diversos.

  Este modelo híbrido, que mescla essas duas perspectivas, vem sendo muito utilizado por escolas que trabalham com este conceito de educação disruptiva.

- Lifelong learning

  O conceito de lifelong learning vem sendo utilizado nas novas abordagens educacionais e promove a ideia de que o conhecimento deve ser absorvido ao longo da vida e não somente

em um momento específico, em uma fase específica da vida. Este conceito vem ganhando adeptos e é mais um exemplo de como a educação vem se aperfeiçoando.

- Machine learning

  O Machine Learning é uma tecnologia que também terá uma função bem relevante dentro da educação disruptiva. Ele trará modificações significativas para o processo de aprendizagem e para a sociedade como um todo, pois contribui diretamente, junto ao aluno, com o aprendizado contínuo por meio de intervenções práticas de forma mais inteligente e produtiva.

- Metodologias ativas

  Parte do conceito de que o professor não é mais o centro do processo pedagógico, mas sim o próprio estudante. Será o aluno o responsável pela sua experiência de aprendizado, cabendo ao professor ser um mediador e um tutor desta nova jornada de ensino.

  Os métodos ativos acontecem na prática, e incentivam os alunos a buscarem conhecimento de forma autônoma, com a orientação de um professor, mas nunca como um mero espectador.

2.3 EPÍLOGO CONTEMPORÂNEO

Pode-se concluir que as mudanças que aconteceram no mundo nestes últimos tempos afetaram a sociedade de forma profunda, mas demorou a afetar os processos pedagógicos.

A partir desta reflexão se construiu a necessidade da educação se atualizar e se aperfeiçoar, buscando atingir um público que agora domina as novas tecnologias e que não aceitava mais aquele formato de ensino baseado na figura do professor sentado na sala de aula pronto para oferecer conhecimento.

O conhecimento agora está em todas as partes e as tecnologias são fundamentais para que informações sejam geradas a todo o instante. O professor agora é mediador e o aluno dono de sua experiência educacional.

A educação disruptiva parte desta ruptura com o antigo modelo de educação e apresenta para o aluno uma nova era de aprendizado.

3 CASO PRÁTICO

3.1 TÓPICOS ESPECIAIS DE FUNDAÇÕES

A disciplina eletiva de Tópicos Especiais de Fundações da UFRJ/Macaé conta com uma ementa ampla, sendo que sua proposta principal é analisar e estudar casos não convencionais já abordados nas disciplinas obrigatórias Fundações 1 (superficiais) e Fundações 2 (profundas).

Como a disciplina é oferecida no último período e é eletiva, o número de alunos é reduzido, permitindo a introdução de uma abordagem diferenciada no processo educacional. Dessa forma, e amparado pelas novas DCNs, os alunos, em grupo ou individualmente, são incentivados a pesquisar e elaborar trabalhos sobre temas específicos para publicação em revistas ou congressos.

Dentre as inovações aplicadas nesta disciplina eletiva estão a cultura *maker*, as metodologias ativas, aprendizado por projeto e o ensino híbrido. GOMES (2022) menciona que essas novas formas de "ensinar e aprender" podem realmente transformar a educação na engenharia.

A última pesquisa realizada na disciplina foi voltada para identificar os tipos de dispositivos utilizados no mercado norte fluminense do Estado do Rio de Janeiro de execução de fundações para garantir o cobrimento das armaduras.

Algumas obras em Rio das Ostras, Macaé e Campos dos Goytacazes foram visitadas e monitoradas para entender as necessidades e as práticas adotadas durante a execução de fundações, tanto superficiais (radier) como em fundações profundas (estacas hélice contínua).

A figura 2 mostra uma fundação em radier, em uma obra em Rio das Ostras com a utilização de um espaçador improvisado, pois não foi possível encontrar no mercado especializado local um espaçador que atendesse aos requisitos do projeto geotécnico. Ainda na figura 2 apresenta-se uma obra em Campos dos Goytacazes com execução de fundações em estacas do tipo hélice contínua onde foram utilizados espaçadores de plástico injetado comprados em São Paulo.

Figura 2 – Exemplos de execução de fundações com espaçadores.



3.2 UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE IMPRESSÃO 3D

A impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva, é uma tecnologia inovadora de produção de objetos tridimensionais por deposição de material em camadas sucessivas de um modelo digital (virtual), possuindo assim potencial alternativo do modo de fabricação de produtos personalizados, de difícil acesso ou geometrias complexas.

Assim, com o auxílio da equipe multidisciplinar de educadores *Makers* do laboratório #inovareaprender da SEMED – Prefeitura Municipal de Macaé, e o direcionamento do docente da disciplina eletiva Tópicos Especiais de Fundações, foi possível que a discente, sem conhecimentos prévios, desenvolvesse a capacidade de atuar de maneira autônoma e executar vários experimentos, ampliando seu conhecimento prático.

Os testes realizados pela discente, a partir da aplicação da cultura *maker*, foram compostos de diversas impressões 3D em materiais distintos através do uso da impressora *Creality CR-10 SE* do Laboratório de Engenharia Civil do Instituto Politécnico da UFRJ/Macaé. A figura 3 apresenta os primeiros contatos da discente com a impressora 3D do laboratório.

Figura 3 –Primeiros contatos da discente com a impressora 3D.



Além disso, pôde-se aprender sobre os programas necessários para sua operação e da variação da qualidade final e resultados da impressão devido a vários fatores como configurações da impressora, tipo de filamento, calibração, ambiente e manutenção.

Os materiais utilizados na pesquisa foram os filamentos de ácido polilático (PLA) e o filamento de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), embora existam muitos outros tipos. Estes dois materiais se diferenciam em características como resistência, durabilidade, custo e aspectos ambientais, como toxicidade e consumo de energia durante a impressão. A figura 4 apresenta um rolo de filamento em PLA e outro em ABS.

Figura 4 – Filamentos utilizados.



Para impressão, foi utilizado o site *Thingverse* para obtenção do modelo na extensão *STL* (*Stereolithography file*) e, em seguida, o *software Ultimaker Cura* versão 5.8.1, o qual converte o modelo 3D em um arquivo *G-code* que pode ser decodificado pela impressora. No *software*, também é possível ajustar os diversos parâmetros e configurações que influenciam diretamente na qualidade final dos produtos. Os parâmetros empregues no fatiamento estão listados na Figura 5.

Figura 5 – Parâmetros de impressão.

Bico de 0,4mm
Draft - 0,2mm

QUALIDADE		PAREDES		SUPERIOR/INFERIOR	
Altura de Camada	0,2 mm	Espessura de Parede	0,8	Camadas Superiores	3
Altura da Primeira Camada	0,3 mm	Número de Filetes da Parede	2	Camadas Inferiores	3
Largura de Extrusão	0,3 mm	Penetração da Parede Externa	0,05 mm	Padrão Superior/Inferior	Linhas
Largura de Extrusão da Parede	0,3 mm	Largura Mínima de Filete da Parede	0,3 mm		
Largura de Extrusão do Preenchiment	0,3 mm	Expansão Horizontal	0,0 mm		
VELOCIDADE		**PERCURSO**		**REFRIGERAÇÃO**	
Velocidade de Impressão	60 mm/s	Habilitar Retração	(Marcado)	Habilitar Refrigeração de Impressão	(Marcado)
Velocidade de Preenchimento	60 mm/s	Velocidade de Retração	40 mm/s	Velocidade da Ventoinha	100%
Velocidade de Percurso	120 mm/s	Salto Z Ao Retrair	(Desmarcado)		

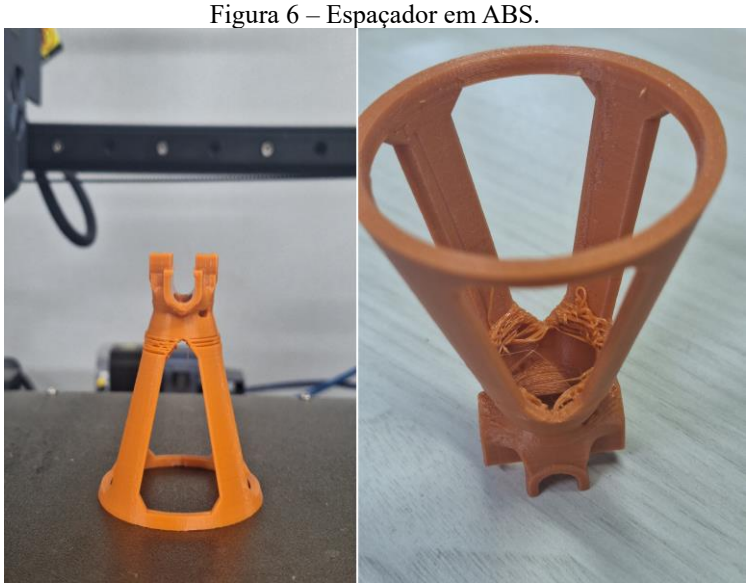
PREENCHIMENTO		MATERIAL	
Densidade do Preenchimento		Temperatura de Impressão	195°C
Padrão do Preenchimento	Cúbico	Temperatura da Mesa de Impressão	60°C
Conectar Linhas de Preenchimento	(Desmarcado	Fluxo	100%
Direções de Filetes de Preenchiment	[ ]		
Espessura da Camada do Preenchimento	0,2 mm		
SUPORTE		**ADERÊNCIA À MESA**	
Gerar Suporte	(Desmarcado	Tipo de Aderência da Mesa de Impressão	Nenhuma

3.2.1 dificuldades encontradas

Ao tentar reproduzir o modelo com o material ABS, que é superior ao PLA em relação às propriedades mecânicas, ocorreram problemas de descolamento das camadas e acúmulo de filamento na parte interna, conforme ilustrado na Figura 6. Isso ocorreu porque o uso do ABS não é recomendado

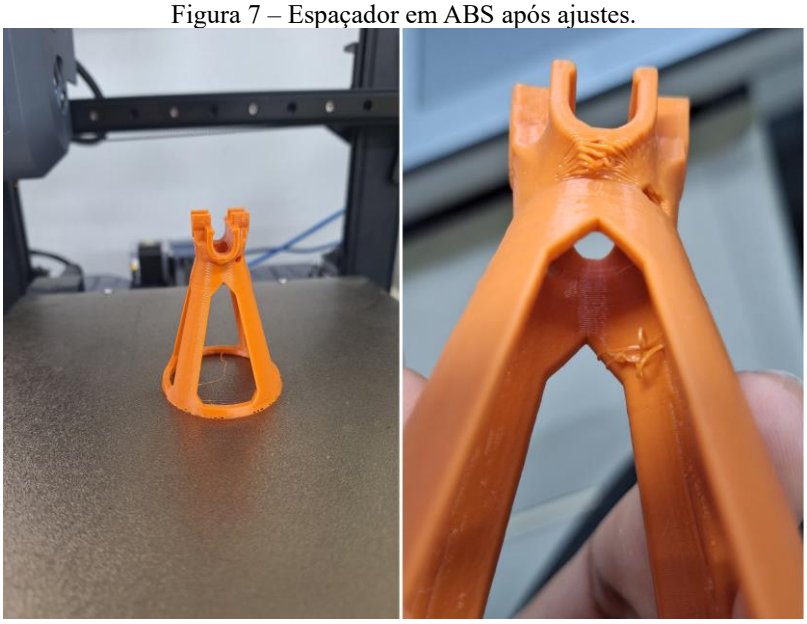
para impressoras abertas, porque as oscilações da temperatura ambiente podem prejudicar o processo de impressão.

Figura 6 – Espaçador em ABS.



Após pesquisas, realizaram-se alguns ajustes nas configurações, resultando em uma impressão em ABS com menos falhas visuais, conforme a Figura 7. Entretanto, não se obteve um resultado satisfatório, o que poderia afetar, além do aspecto visual, as propriedades mecânicas, tornando-o inviável para a fabricação dos espaçadores, que devem suportar certa carga do peso de concreto.

Figura 7 – Espaçador em ABS após ajustes.



Durante o processo de aprendizagem, ocorreram também erros no trabalho com PLA, conforme Figura 8a, sugerindo que a temperatura da mesa utilizada, de 210ºC, estava alta. A Figura 8b mostra uma interrupção na impressão devido à quebra de um trecho do filamento, o que pode ter sido causado

por excesso de umidade, pois uma característica de materiais poliméricos é o de serem higroscópicos, ou seja, absorvem a umidade do ar.

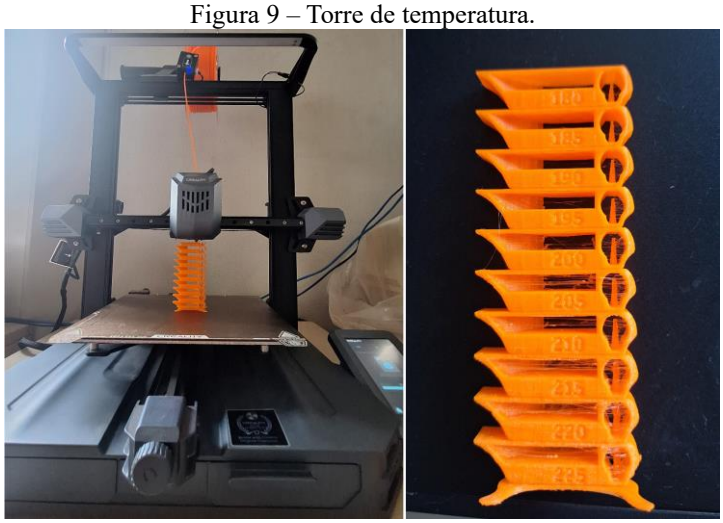
Figura 8 – Problemas de impressão em PLA.



(a) (b)

Para resolver o problema da temperatura da mesa, foi realizada uma impressão de teste chamada torre de temperatura (ilustrada na Figura 9), configurada para ser impressa com variações de temperatura em uma mesma impressão. Essa torre serve para avaliar visualmente diferentes temperaturas do filamento e determinar a temperatura ideal para a impressão, que foi fixada em 195ºC.

Figura 9 – Torre de temperatura.



3.2.2 a utilização do pla

Após os testes iniciais percebeu-se, através da cultura *Maker*, que o material ideal para se trabalhar com o tipo de impressora do laboratório de Engenharia Civil seria o PLA que é um termoplástico biodegradável e não tóxico. Assim, foram impressos quatro tipos de espaçadores do mesmo modelo, variando apenas a densidade de filamento utilizada (10%, 30%, 60% e 100% de preenchimento).

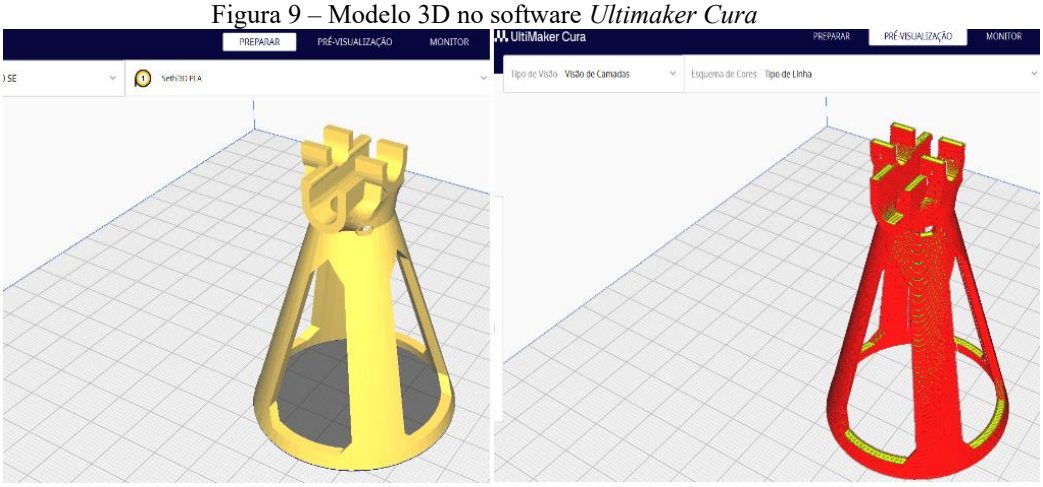
O programa *Ultimaker Cura* permite saber de antemão o tempo e a quantidade de material a ser gasto durante a impressão. A tabela 3 apresenta o peso e o comprimento de filamento tipo PLA, além do tempo de impressão de cada espaçador, associados a densidade de material utilizado.

Tabela 3 – Características de impressão dos espaçadores em PLA.

Densidade	10%	30%	60%	100%
Peso (g)	6	7	8	9
Comprimento (m)	1,93	2,23	2,66	3,17
Tempo (min)	45	52	59	67

A Figura 9 apresenta o modelo 3D dos espaçadores projetados no *Software Ultimaker Cura* para 5 centímetros de cobrimento da armadura de fundações superficiais em sapata ou radier.

Figura 9 – Modelo 3D no software *Ultimaker Cura*



A figura 10 mostra a sequência de impressão dos espaçadores em PLA, sendo realizada, na impressora do laboratório de Engenharia Civil do Instituto Politécnico da UFRJ/Macaé. Uma das ilustrações apresenta os espaçadores com as quatro densidades utilizadas. Vale destacar que visualmente não é possível perceber a diferença entre eles, assim foi necessário utilizar uma etiqueta de identificação para cada um deles.

Figura 10 – Sequência de impressão dos espaçadores em PLA.



3.3 ENSAIOS DE COMPRESSÃO NAS PEÇAS FABRICADAS

Para verificar a influência da porcentagem de preenchimento nas propriedades mecânicas dos espaçadores, foram realizados ensaios de resistência à compressão simples nas amostras com 10%, 30%, 60% e 100% de preenchimento.

Para determinação da velocidade de aplicação da carga (deslocamento da garra móvel), seguiu-se a norma ASTM D695 - Método de teste padrão para propriedades compressivas de plásticos rígidos. A norma américa estabelece que a velocidade padrão do ensaio deve ser 1,3 ± 0,3 mm/min para plásticos rígidos, tanto não reforçados quanto reforçados, com espessura desde 1 até 14 mm.

Os espaçadores impressos foram ensaiados na Máquina Universal de ensaios EMIC do laboratório de Engenharia Mecânica do Instituto Politécnico da UFRJ/Macaé, com uma velocidade de 1 mm/min. Importante mencionar que a prensa utilizada registra os esforços de compressão e os deslocamentos associados a eles.

A Figura 11 apresenta a prensa automatizada do laboratório da Engenharia Mecânica e uma das amostras posicionada para início do ensaio de compressão.

Figura 11 – Ensaio à compressão dos espaçadores



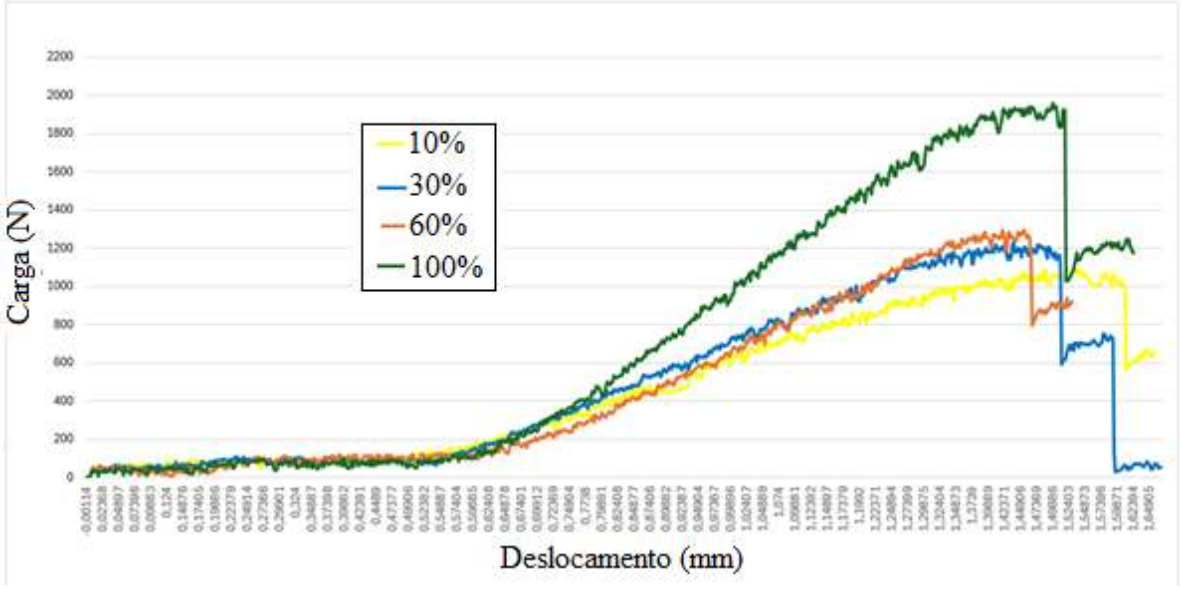
A Figura 12 mostra alguns dos espaçadores após o ensaio de compressão, onde já havia sido comprovada a ruptura dos mesmos durante o teste.

Figura 12 – Corpos de provas rompidos à compressão



A figura 13 apresenta as curvas carga versus deslocamento dos espaçadores em PLA com preenchimentos de 10%, 30%, 60% e 100%.

Figura 13 – Gráfico Carga vs Deslocamento para diferentes porcentagens de preenchimento.



A Tabela 4 apresenta um resumo para os quatro espaçadores, de densidades distintas, da carga máxima atingida e seu deslocamento correspondente. Além do tempo que cada ensaio demorou até atingir a ruptura.

Tabela 4 – Dados obtidos na realização do ensaio à compressão simples

Densidade	10%	30%	60%	100%
Carga máxima suportada (N)	1088,70	1229,65	1299,26	1962,45
Deslocamento na ruptura (mm)	1,55	1,44	1,46	1,51
Tempo de ensaio (seg)	100,4	100,6	90,4	94,8

Os resultados indicaram que, quanto maior a porcentagem de preenchimento, maior é a resistência à compressão dos espaçadores. Os tempos de realização dos ensaios e os deslocamentos até atingir a ruptura não sofreram grandes influencias da variação da densidade das peças ensaiadas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Através de uma metodologia disruptiva, com base na cultura *Maker*, foram impressos com tecnologia digital 3D quatro espaçadores de armadura de plástico tipo PLA com densidades de preenchimento de 10%, 30%, 60% e 100%.

Ensaios de compressão simples realizados em laboratório forneceram resultados que mostraram que os espaçadores com 100% de preenchimento atingiram cargas de compressão de valores quase que o dobro dos espaçadores com 10% de preenchimento.

Em relação a quantidade de filamento (peso) e o tempo de impressão, outras variáveis muito importantes, os espaçadores com 100% de preenchimento superaram os espaçadores com 10% de preenchimento em cerca de 50%.

Desta forma, pode-se concluir que caso haja necessidade de se obter um espaçador para uma armadura de fundação superficial que necessite de suportar mais peso, vale a pena investir em uma maior a densidade de preenchimento da peça.

Com efeito, ao final da pesquisa, pode-se dizer que a fabricação desses dispositivos com a impressora 3D pode ser uma alternativa para a dificuldade de encontrá-los no mercado com o cobrimento adequado para os elementos de fundação.

Por outro lado, vale destacar que os cursos de engenharia podem criar um currículo que prepare os estudantes para os desafios contemporâneos da engenharia de fundações. Isso inclui o uso de tecnologias emergentes, sustentabilidade e metodologias ágeis de projeto.

Essa conexão fortalece a formação do engenheiro, tornando-o mais adaptável e inovador. À medida que a indústria da construção evolui, engenheiros bem treinados não apenas aplicarão conhecimentos técnicos, mas também se destacarão na criação de soluções inovadoras e sustentáveis.

Essas diretrizes visam garantir que os engenheiros formados estejam melhor preparados para os desafios contemporâneos e contribuam de forma significativa para a sociedade. Importante destacar, que durante o aprendizado e o ensinamento, as dificuldades que surgiram ajudaram a compreender a importância de estudar os parâmetros causadores de erros e minimizar seus efeitos, buscando melhores resultados e uma maior compreensão sobre as incertezas que surgem na impressão 3D.

Por fim, pode-se concluir que, para além do ganho de conhecimento sobre engenharia de fundações, essencial à formação do engenheiro, foi alcançado um conhecimento prático e personalizado através de um ensino mais atrativo, ativo e significativo mediante uso de novas tecnologias e metodologias contemporâneas.

REFERÊNCIAS

ABED, Anita Lilian Zuppo. O Desenvolvimento Das Habilidades Sócio emocionais Como Caminho Para a Aprendizagem e o Sucesso Escolar de Alunos da Educação Básica–São Paulo abril de 2014.

ASTM D925 - 15: *Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE MANTENEDORES DE ENSINO SUPERIOR. Comissão das Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Resolução CNE/CES nº 02, de 24 de abril de 2019 (alterada pela Resolução CNE/CES nº 01, de 26 de março de 2021). Dispõe sobre as DCNs que devem ser observadas pelas Instituições de Educação Superior (IES). Brasília, 2019.

CARVALHO (2023) – Comunicação pessoal.

Coonectse. Educação disruptiva: O que é? Quais Vantagens? Conceitos e Exemplos. Coonectse, s.d.. Disponível em: https://coonectse.com.br/blog/educacao/educacao-disruptiva. Acesso em: 15 set. 2024.

FREIRE, P. Pedagogia do Oprimido. Rio de Janeiro: Paz e Terra. 1987.

GOMES, R.C. - Metodologias de Ensino para Mecânica dos Solos e Geotecnia – Visão Tradicional e Contemporânea: Estudo de Caso a Partir de uma Pesquisa Exploratória, Trabalho de Conclusão de Curso – UFRJ/Macaé – 2022.

LOBO (2022) – Comunicação pessoal.

NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2023.

NBR 6122: Projetos e Execução de fundações. Rio de Janeiro, 2022.

MACEDO, G. M; SAPUNARU, R. A. Uma breve história da engenharia e seu ensino no brasil e no mundo: foco minas gerais. REUCP, Petrópolis, Volume 10, n° 1, p. 39-52 ISSN 2318-0692, 2016.

PINTO (2024) – Comunicação pessoal.