

ENGENHARIA: A MÁQUINA QUE CONSTRÓI O FUTURO

VOLUME XI



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Frederico Celestino Barbosa

Engenharia: a máquina que constrói o futuro

11^a ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

11ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Frederico Celestino
B238E Engenharia: a máquina que constrói o futuro

/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2024

27 f.: il

DOI: 10.37423/2024.edcl995

ISBN: 978-65-5367-542-1

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. desenvolvimento 2. projeto 3. construção I. Barbosa, Frederico Celestino II. Título

CDU: 620

<https://doi.org/10.37423/2024.edcl995>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

MSc Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Frederico Celestino Barbosa

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc. Plínio Ferreira Pires

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

MSc Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Gabriela Cristina Borborema Bozzo

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

Dr. Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

MSc Carlos Eduardo De Oliveira Gontijo

Dr. Rodrigo Couto Santos

Dra. Milena Gaion Malosso

PHD Marcos Pereira Dos Santos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	5
INTERSEÇÃO ENTRE A REALIDADE VIRTUAL E O LIGHT STEEL FRAMING (LSF): REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
Wesley Eunathan Fernandes Lima	
Ricardo Augusto dos Santos Horta	
Clarisse Lima Simões	
Regis Alkmim Mota	
Luciana Silva Villela	
DOI 10.37423/240809235	
 CAPÍTULO 2	 14
ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS AERODINÂMICAS DE UM MODELO VEICULAR	
REFERÊNCIA: CORPO DE AHMED	
Maria Fernanda Francischinelli Fuchs	
Odailton Pereira dos Anjos	
Bruno Arantes Moreira	
DOI 10.37423/240809240	

Capítulo 1



10.37423/240809235

INTERSEÇÃO ENTRE A REALIDADE VIRTUAL E O LIGHT STEEL FRAMING (LSF): REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Weslley Eunathan Fernandes Lima

*Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais*

Ricardo Augusto dos Santos Horta

*Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais*

Clarisse Lima Simões

*Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais*

Regis Alkmim Mota

Faculdade Rio Sono-Riso

Luciana Silva Villela

Universidade Federal de Lavras



Resumo: O objetivo dessa pesquisa é levantar a produção bibliográfica envolvendo a aplicação da simulação em realidade virtual (RV) e os sistemas construtivos industrializados, mais especificamente o *Light Steel Frame*(LSF). Tal pesquisa se faz importante devido ao fato dos sistemas construtivos industrializados não serem desenvolvidos em sua integralidade nas disciplinas acadêmicas dos cursos relacionados a indústria da construção civil. Além disso, a desqualificação da mão de obra configura-se como uma das principais barreiras para a sua disseminação no país. Utilizou-se da pesquisa bibliográfica, nas bases de dados: Scopus, Web of Science e Google Scholar, para levantamento desses estudos. A pesquisa identificou a inexistência de trabalhos que apresentavam interfaces entre a realidade virtual e o *Light Steel Frame*. Dentre os principais resultados relacionados ao LSF estão os trabalhos que apontam as barreiras para sua implementação no Brasil, além das vantagens e desvantagens desse sistema construtivo. No tocante à RV, as pesquisas concentram-se em demonstrar a possibilidade de imersão da tecnologia e suas aplicações na segurança do trabalho. Diante disso, trabalhos que utilizam a RV como estratégia para difusão do LSF configuram-se como lacuna de pesquisa ainda não explorada.

Palavras-chave: Light Steel Framing. Realidade Virtual. Revisão bibliográfica.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil representa para o país um dos grandes motores propulsores de seu desenvolvimento econômico, geração de emprego e renda. Além disso, representa um dos agentes principais no enfrentamento do déficit habitacional brasileiro.

No Brasil, o déficit de moradias cresceu 7% em apenas dez anos, de 2007 a 2017, atingindo a marca de 7,78 milhões de unidades habitacionais em 2017 (ABRAIN, 2018). A disseminação de sistemas construtivos industrializados coloca-se como uma alternativa para o combate a esse déficit, na medida em que atua como um dos catalisadores do processo de industrialização da construção civil brasileira. Sua consolidação pode fornecer moradias de melhor qualidade, mais sustentáveis e menor custo, além de atingir uma maior quantidade de beneficiários (SANTIAGO, 2008; CAMPOS, 2014).

Nesse contexto, o *Light Steel Frame* (LSF) é um sistema construtivo que viabiliza esse processo de industrialização, dentro da construção civil brasileira. Além disso, a construção em *Light Steel Frame* pode se tornar uma alternativa que favorece o crescimento urbano de forma sustentável, pela utilização do aço, que pode vir a contribuir para uma menor geração de resíduos, já que estes podem ser reaproveitados através de métodos de reciclagem, além da rapidez na execução da obra (MENDES, 2021).

O LSF, é amplamente utilizado nos Estados Unidos, Japão, Canadá, desde o século XX (CAMPOS, 2014). Quando comparado a esses países, no Brasil, o LSF pode ser considerado um sistema construtivo inovador, tendo em vista sua recente utilização. Diferente desses países, o Brasil ainda se encontra restrito a métodos construtivos convencionais que geram uma grande quantidade de resíduos durante sua execução e colocam o país numa condição de atraso em relação aos países supracitados em se tratando de construções sustentáveis (MORAIS, 2020; SANTOS, 2020).

Apesar das vantagens apresentadas, esse sistema construtivo ainda enfrenta, no Brasil, dificuldades de disseminação. Dentre essas dificuldades, destacam-se a falta de mão de obra qualificada e o domínio da técnica construtiva pelos profissionais da construção civil (LANCELLOTTI, 2015; HANDA E FONTANINI, 2019).

A desqualificação da mão de obra, no entanto, não é uma dificuldade exclusiva do LSF, mas da construção civil brasileira como um todo. De acordo com a pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), 74% das empresas construtoras apontam esse problema. Conforme apontado por Oliveira (2013), a utilização de mão de obra desqualificada foi responsável por um atraso

de 40 anos na arquitetura brasileira e na indústria da construção civil. Como resultado disso, de acordo com Oliveira (2013), foram entregues habitações com erros construtivos, baixo nível de execução e nenhuma tecnologia empregada na sua elaboração.

Diante desse contexto, algumas estratégias e metodologias de aprendizagem ativa podem contribuir para a qualificação dos diversos agentes envolvidos no LSF. Dentre elas, esse artigo explora a realidade virtual como sendo um recurso capaz de tornar a experiência de aprendizagem mais imersiva.

A realidade virtual (RV) é uma tecnologia que usa computadores, *software* e *hardware* periférico para gerar um ambiente simulado para seu usuário, sendo esse ambiente baseado ou não em um ambiente real (WANG *et al.*, 2018). Sendo assim, esse trabalho tem como objetivo levantar os principais conceitos e pesquisas relacionadas ao *Light Steel Frame* (LSF) e à realidade virtual.

2. METODOLOGIA

O método de pesquisa usado nesse trabalho foi a pesquisa bibliográfica. Segundo Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa bibliográfica deve ser elaborada a partir de material já publicado como livros, revistas, publicações em periódicos e artigos científicos, monografias, dissertações, teses, material cartográfico, internet, com o objetivo de colocar o pesquisador em contato direto com todo material já escrito sobre o assunto da pesquisa. Silva (2015) aponta que esse método de pesquisa também pode ser definido como estudo exploratório.

Nessa pesquisa, utilizou-se, inicialmente, as bases de dados: Scopus, Web of Science e Google Scholar. Ao utilizar a *string* de busca: *((augmented reality or virtual reality) and (light steel framing))*, não foi encontrado nenhum trabalho, indicando a inexistência de pesquisas anteriores que associassem os três termos nas bases supracitadas.

Dado o insucesso no retorno de trabalhos com a *string* anterior, optou-se por uma nova pesquisa, nas mesmas bases, associando cada descritor à construção civil, de modo a mapear as pesquisas existentes relacionadas especificamente ao campo da engenharia civil. Além dessa pesquisa nas bases, foi realizada uma busca usando os descritores: *light steel framing*, realidade virtual e construção civil, no Google Scholar, de modo a ampliar os resultados de já desenvolvidos.

Tendo em vista que a pesquisa relaciona-se com os processos de implementação do LSF no Brasil, além das bases citadas acima, os anais de eventos nacionais: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção (SBTIC) e Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC) foram consultados de modo a identificar pesquisas sobre o assunto.

Diante das pesquisas encontradas, foram compilados os principais trabalhos já desenvolvidos sobre o *light steel framing* e as aplicações da realidade virtual na construção civil, de modo a identificar as principais tendências e lacunas de pesquisa. Outro aspecto observado foi a existência ou não de trabalhos que relacionassem os dois temas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. LIGHT STEEL FRAMMING (LSF)

Segundo Rodrigues e Caldas (2016), existem dois conceitos básicos relativos ao Sistema *Light Steel Framing* (LSF): *Frame* é o esqueleto estrutural projetado para dar forma e suportar a edificação, sendo constituído por componentes leves – os perfis formados a frio (PFF) e *framingé* o processo pelo qual se unem e vinculam esses elementos. O LSF também pode ser entendido como um sistema construtivo de concepção racional (CASSAR, 2019), podendo ser compreendido como um sistema que se utiliza do uso de perfis de aço galvanizado formados a frio, com características esbeltas para composição da estrutura, permitindo que se aproveite melhor o espaço interno, vãos e aumento da área útil (ROCHA, 2017).

Chan e Fontanini (2017) apontam como principais vantagens da utilização do LSF o rápido retorno financeiro, maior área útil, flexibilidade, alívio de carga nas fundações, garantia de qualidade, organização do canteiro de obras, reciclagem e preservação do meio ambiente. Mendes (2021) destaca o LSF como um método mais sustentável, por apresentar alto padrão de qualidade e utilização de materiais recicláveis, baixo consumo de água e menor consumo de recursos naturais.

A pesquisa desenvolvida por Handa e Fontanini (2019) destacam alguns empecilhos para disseminação do LSF no Brasil. Sendo eles: o desconhecimento do público sobre o sistema; o aspecto cultural, no qual os brasileiros optam por sistemas construtivos tradicionais; o custo direto mais alto do sistema construtivo LSF quando comparado ao sistema tradicional, resultado da baixa demanda do mercado para a tecnologia, que utiliza diversos componentes importados; o viés político/ econômico uma vez que as inovações ficam restritas a certos pontos isolados do país, como regiões com melhores índices de desenvolvimento onde há incentivos sociais e monetários para a manutenção das bases produtivas.

Com relação à barreira de desconhecimento do LSF, de acordo com Oliveira e Souza (2015), apenas 14% das faculdades de arquitetura e 2% das faculdades de engenharia civil possuíam pelo menos uma

disciplina exclusiva e obrigatória para o ensino de sistemas construtivos industrializados. A conclusão desses autores dialoga com Handa e Fontanini (2019).

3.2. REALIDADE VIRTUAL

A realidade virtual(RV)é uma tecnologia que usa computadores, *software* e *hardware* periférico para gerar um ambiente simulado para seu usuário, sendo esse ambiente baseado ou não em um ambiente real (WANG *et al.* , 2018).

A RV apresenta muitos benefícios para construção civil relatados na literatura, uma vez que a utilização de elementos virtuais transcende a representação simbólica possibilitando a ágil antecipação de problemas e a previsão de possíveis interferências (ECHS; ROBERTA; ARANHA, 2023).

No tocante à realidade virtual (RV), diversas pesquisas têm apontado as potencialidades da utilização dessa tecnologia em treinamentos relacionados à identificação de risco e segurança do trabalho.

Essas pesquisas demonstraram a efetividade da aplicação de simulações usando RV, evidenciando o potencial imersivo, atrativo e positivo na aprendizagem dos usuários (SACKS; PERLMAN; BARAK, 2013; LE *et al.*, 2015; ZHAO; LUCAS, 2015; LI *et al.*, 2018; ECHS; ROBERTA; ARANHA, 2023)

Enquanto recurso utilizado para treinamento de sistemas construtivos, poucas pesquisas foram encontradas, e de modo ainda mais escasso para o treinamento de sistemas construtivos industrializados, como é o caso do LSF.

4. CONCLUSÃO

Após o desenvolvimento desse trabalho percebeu-se que ainda não existe uma interseção entre as temáticas, LSF e realidade virtual. Tendo em vista que não foram encontrados trabalhos nas bases de dados quando formulada uma *string* de busca com os dois descritores.

Entretanto, a pesquisa bibliográfica possibilitou a identificação das principais temáticas relacionadas aos dois temas e a construção civil. No tocante ao LSF, os trabalhos estão concentrados em mostrar o panorama nacional de disseminação dessa técnica construtiva, apontando pontos positivos de sua utilização, mas sobretudo as barreiras para a sua difusão. Com relação a essas barreiras, destaca-se, em várias pesquisas, o desconhecimento do sistema construtivo por parte de profissionais da construção civil.

No que se refere à realidade virtual, destacam-se aplicações na construção civil, tais como no treinamento em segurança do trabalho e visualização de projetos. Isso demonstra o potencial da RV em aplicações relacionadas à emissividade do usuário.

Portanto, em pesquisas posteriores pode ser explorado o impacto que a realidade virtual apresentaria no treinamento em LSF aos profissionais e alunos de engenharia civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INCORPORADORAS IMOBILIÁRIAS (ABRAINC).

Análise das Necessidades Habitacionais e suas Tendências para os Próximos Dez Anos. 2ª Versão 17 de out de 2018. Disponível em: <https://www.abrainc.org.br/wp-content/uploads/2018/10/ANEHAB-Estudo-completo.pdf>. Acesso em: 05/11/2023.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). Agenda estratégica 2019/2022. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/uploads/>

CAMPOS, Patricia Farrielo de. Light Steel Framing: uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento. 2014. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

CASSAR, B.C. Análise comparativa de sistemas construtivos para empreendimentos habitacionais: Alvenaria convencional x Light Steel Frame. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 2018. 2018.

CHAN, D.K.; FONTANINI, P.S.P. . Análise do uso do sistema light steel frame na construção civil. in: anais do workshop de tecnologia de processos e sistemas construtivos, 2017. Anais eletrônicos... Campinas, GALOÁ, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). Falta de trabalhador qualificado na indústria da construção. Brasil, 2013.

ECHS LUCENA, Arthur Felipe; ROBERTA FAZINGA, Wanessa; ARANHA SAFFARO, Fernanda. Uso de realidade virtual e aumentada no ensino de segurança do trabalho na graduação. GeSec: Revista de Gestão e Secretariado, v. 14, n. 9, 2023.

HANDA, D.K. C; FONTANINI, P.S.P. Barreiras de implementação do sistema light steel framing no Brasil. in: anais do II workshop de tecnologia de processos e sistemas construtivos, 2019. Anais eletrônicos... São Paulo, ANTAC, 2019.

LANCELLOTTI, Ana Carolina de Oliveira. Possibilidades e dificuldades de uso do Light Steel Frame no Brasil. Revista Especialize On-line Ipog, Goiânia, v. 1, n. 11, p. 1-21, jul. 2016.

LE, Q.T.; PEDRO, A.; LIM, C.R.; PARK, H.T.; PARK, C.S.; KIM, H.K. A framework for using mobile based virtual reality and augmented reality for experiential construction safety education. International Journal of Engineering Education, v. 31, n. 3, p. 713-725, 2015.

LI, X.; YI, W.; CHI, H-L.; WANG, X.; CHAN, A. P. C. A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. Automation in Construction, v. 86, p. 150-162, fev. 2018.

MENDES, G. F. Índice Global de Impacto dos métodos construtivos Light Steel Frame e alvenaria convencional. 2021. 67f. Monografia (Graduação Engenharia Ambiental). Escola de Minas-Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021

OLIVEIRA, A. B. De F. Inserção de sistemas construtivos industrializados de ciclo aberto estruturados em aço no mercado da construção civil residencial brasileira. 2013. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

OLIVEIRA, A.B, SOUZA, H. Sistemas construtivos industrializados nos cursos de graduação em arquitetura e engenharia civil do Brasil. Revista de Ensino de Engenharia, v. 34,n.2, 2015.

ROCHA, A. C. Análise Comparativa de Planejamento e Custo de Fachadas de Edifício de Múltiplos Pavimentos Com as Tecnologias Tradicional E com Chapas Delgadas Estruturadas em Light Steel Framing. São Paulo ,2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

RODRIGUES, F.C; CALDAS, R.B “Steel Framing”: Engenharia. Instituto Brasileiro de Siderurgia, Centro Brasileiro de Construção em Aço. Rio de Janeiro, 2016.

SANTIAGO, A.K. O uso do sistema Light Steel Framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não estrutural. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Ouro Preto–UFOP. Ouro Preto, 2008.

SANTOS, Eder dos. Et al. Estudo sobre os métodos construtivos Light Steel Frame e alvenaria convencional. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 11, Vol. 21, pp. 16-42. Novembro de 2020. ISSN: 2448-0959.

SACKS, R.; PERLMAN, A.; BARAK, R. Construction safety training using immersive virtual reality. Construction Management and Economics, v. 31, n. 9, p. 1005–1017, set. 2013.

SANTIAGO, A.K; FREITAS, A.M.S.; CASTRO, R.C.M – “Steel Framing”: Arquitetura. Instituto Brasileiro de Siderurgia, Centro Brasileiro da Construção em Aço. Rio de Janeiro, 2012.

WANG, P.; WU, P.; WANG, J.; CHI, H-L.; WANG, X. A critical review of the use of virtual reality in construction engineering education and training. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 15, n. 6, p. 1204, 8 jun. 2018.

ZHAO, D.; LUCAS, J. Virtual reality simulation for construction safety promotion. International Journal of Injury Control and Safety Promotion, v. 22, n. 1, p. 57–67, 2 jan. 2015.

Capítulo 2



10.37423/240809240

ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS AERODINÂMICAS DE UM MODELO VEICULAR REFERÊNCIA: CORPO DE AHMED

Maria Fernanda Francischinelli Fuchs

Universidade Federal da Grande Dourados

Odailton Pereira dos Anjos

Universidade Federal da Grande Dourados

Bruno Arantes Moreira

Universidade Federal da Grande Dourados



Resumo: O estudo das características aerodinâmicas em modelos simplificados utilizados como referência na indústria automobilística vem sendo crucial para o desenvolvimento de novos designs e tecnologias em veículos. Este estudo determinou experimentalmente o coeficiente de arrasto para um protótipo veicular, conhecido como corpo de Ahmed. Os ensaios foram conduzidos em um túnel de vento, onde uma célula de carga foi integrada internamente ao modelo, permitindo medições mais confiáveis, sem comprometer sua geometria original. Os resultados mostraram que as medidas experimentais eram mais precisas para velocidades de escoamento do fluido acima de 5 m/s, permitindo obter valores do coeficiente de arrasto entre 0,31 e 0,42.

Palavras chaves: Aerodinâmica, Corpo de Ahmed, Coeficiente de Arrasto, Força de Arrasto, Número de Reynolds.

1. INTRODUÇÃO

O estudo das características aerodinâmicas de veículos tem sido uma área de pesquisa amplamente explorada, principalmente por sua importância na eficiência energética e no desempenho dos veículos.

A aerodinâmica é importante na indústria automotiva, pois afeta diretamente o desempenho, a segurança e eficiência energética dos veículos (Castejon, 2011).

Entre os modelos utilizados para tais estudos, o corpo de Ahmed se destaca como um modelo simplificado que captura as principais características aerodinâmicas de um carro típico (Ahmed, 1984). O modelo de corpo de Ahmed foi proposto em 1984 e apresenta a vantagem de ser simples, mas ainda assim representa as características básicas da geometria veicular.

O corpo de Ahmed tem sido utilizado para analisar como as modificações na forma do automóvel podem impactar seu desempenho aerodinâmico. Desde então, tal modelo tem sido usado por muitos pesquisadores como uma referência para estudar a resistência ao ar e os fenômenos associados aos escoamentos traseiros dos veículos.

O escoamento traseiro é caracterizado por uma região de recirculação que se forma atrás do modelo e que tem uma grande influência no arrasto total (Almeida, 2022). Diversas pesquisas têm se concentrado nessa área e sugerem diferentes técnicas para minimizar a resistência do ar nesta região.

No que diz respeito à simulação computacional, várias abordagens têm sido utilizadas para estudar o escoamento ao redor do corpo de Ahmed. Por exemplo, Krajnović e Davidson (2005) realizaram simulações numéricas para investigar a estrutura do fluxo em torno do corpo de Ahmed com ângulo traseiro de 25 graus. Eles descobriram que a estrutura do vórtice é altamente sensível à geometria traseira.

Estudos experimentais, embora em bem menores quantidades, também foram realizados para analisar as características aerodinâmicas do corpo de Ahmed. Strachan et al. (2007) usaram medições de velocidade por anemometria a laser para investigar a estrutura do vórtice traseiro. Os autores encontraram uma forte correlação entre a estrutura do vórtice e a resistência aerodinâmica.

Na literatura verifica-se os trabalhos envolvendo a análise aerodinâmica do corpo de Ahmed, foram desenvolvidos geralmente utilizando simulações numéricas. Estudos experimentais existem em uma quantidade bem menor, sendo que, tais estudos, geralmente estavam associadas as imprecisões relacionadas a influência da geometria e aos atritos associados as células de cargas.

Neste contexto, este trabalho, determinou experimentalmente o coeficiente de arrasto experimentalmente para um modelo veicular simplificado, conhecido como corpo de Ahmed. Para isso, uma célula de carga foi integrada diretamente ao modelo, possibilitando a medição do coeficiente de arrasto sem modificar a sua geometria.

A maior compreensão das características aerodinâmicas relacionadas ao escoamento externo através do corpo de Ahmed permite auxiliar no desenvolvimento de designs inovadores e mais eficientes em termos energéticos.

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo, buscar maiores informações sobre os parâmetros aerodinâmicos relacionados ao escoamento externo para um modelo veicular simplificado, de referência para a indústria automobilística: o corpo de Ahmed.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

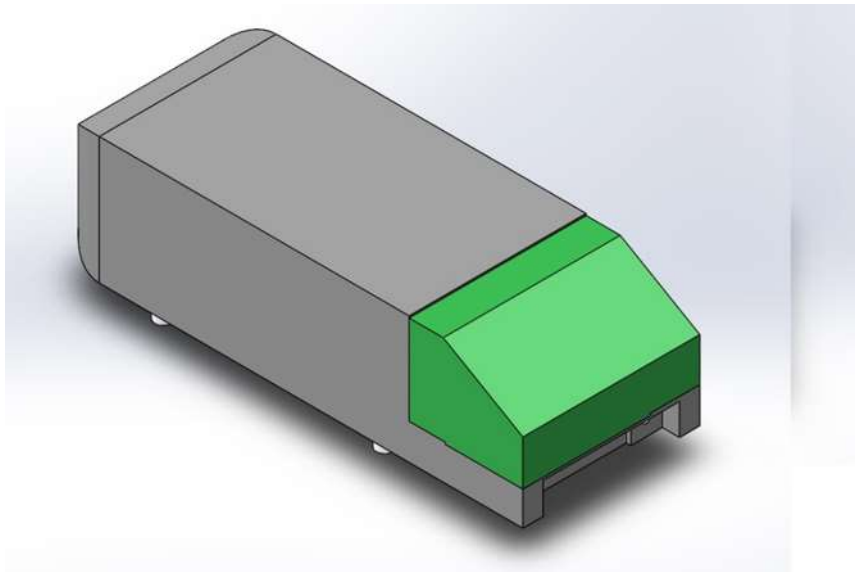
- Desenhar em software CAD e imprimir em uma impressora 3D o modelo de Ahmed.
- Desenvolver um aparato experimental que integra a célula de carga ao corpo de Ahmed para determinação da força de arrasto em um túnel de vento.
- Calcular e avaliar o coeficiente de arrasto para diferentes velocidades do ar.

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Neste trabalho foi desenvolvida uma geometria em software CAD, com posterior impressão em uma impressora 3D do modelo de Ahmed em escala 1:16.

De forma a obtenção de medidas experimentais mais confiáveis, o corpo de Ahmed foi desenvolvido com a célula de carga integrada internamente ao corpo, de forma que não houvesse alteração na geometria do modelo. Além disso, a parte em verde do desenho, pode ser removido, portanto, pode-se colocar qualquer inclinação sem a necessidade de imprimir novamente um novo corpo (Figura 1).

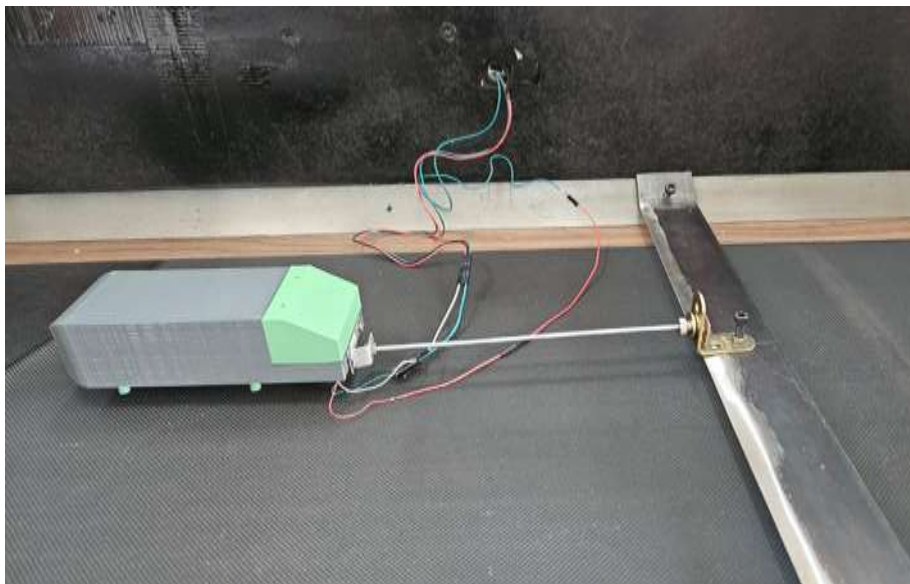
Figura 1- Desenho do corpo de Ahmed



Fonte: Autoria Própria

Os experimentos foram realizados em um túnel de vento para a determinação do coeficiente de arrasto para o corpo de Ahmed. Para isso, o modelo foi cuidadosamente fixado na seção de testes do túnel de vento por meio de uma barra roscada, que estava conectada a uma célula de carga (Figura 2).

Figura 2- Aparato experimental



Fonte: Autoria própria

Vale mencionar que a célula de carga era responsável por medir a força gerada pelo arrasto do corpo, e estava integrada a uma balança de precisão para a leitura dos dados. A balança ficava localizada externamente ao túnel de vento (Figura 3).

Figura 3- Balança de precisão



Fonte: Autoria própria

Durante o experimento, a velocidade do vento foi variada para simular diferentes condições de escoamento. À medida que as correntes de vento incidiam sobre o corpo de Ahmed, o arrasto gerado resultava em uma força que era transmitida à célula de carga. Esta força foi registrada em quilogramas pela balança de precisão e, posteriormente, convertida em Newtons para permitir a análise dos dados. Com base nas medições da força de arrasto e levando em consideração a densidade do ar, a velocidade do vento e a área frontal do corpo de Ahmed, foi possível calcular o coeficiente de arrasto do modelo. Esse valor é fundamental para compreender o desempenho aerodinâmico do corpo em diferentes condições de escoamento do ar.

A metodologia empregada permitiu obter resultados precisos e confiáveis, fornecendo uma análise detalhada do comportamento aerodinâmico do corpo de Ahmed. Esse tipo de estudo é essencial para o desenvolvimento de modelos aerodinâmicos e a otimização de projetos em engenharia, permitindo a redução de resistência ao ar e, conseqüentemente, a melhoria da eficiência energética de veículos e estruturas.

Para o cálculo do coeficiente de arrasto, foi utilizada a seguinte Equação (1):

$$C_D = \frac{F_D}{A \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}} \quad (1)$$

em que C_D é o Coeficiente de Arrasto, F_D é a Força de Arrasto, A é a Área da seção transversal (constante), ρ é a Densidade do ar atmosférico (constante) e v é a velocidade de escoamento do ar. Os seguintes parâmetros foram utilizados para o cálculo de C_d por meio da Equação (1): a densidade do ar atmosférico de $\rho=1,2754 \text{ kg/m}^3$ e a área da seção transversal de $A=0,00277 \text{ m}^2$.

Para cálculo do Número de Reynolds, tomando como constantes: a densidade do ar atmosférico ($1,2754 \text{ kg/m}^3$), o comprimento característico ($D=167,02 \text{ mm}$) e a viscosidade cinemática do ar a 20°C ($0,00001506$) e utilizando A Equação (2):

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (2)$$

em que Re é Número de Reynolds, ρ é a Densidade do ar atmosférico, v é a velocidade do ar, D é o comprimento característico e μ é a viscosidade do ar a 20°C

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 FORÇA DE ARRASTO

Com a realização do experimento foram levantados os dados dispostos na Tabela 1, onde consta, a rotação é a rotação do túnel em rpm (variável controlada). O registro da velocidade foi obtido por meio do tubo de Pitot ligado a um anemômetro e para a leitura da massa foi utilizada uma balança de precisão. Na Tabela 1 consta também os valores calculados para a força de arrasto, calculada a partir da massa obtida.

Tabela 01 – Dados obtidos experimentalmente

Rotação (rpm)	Velocidade (m/s)	Massa (g)	Força de Arrasto (N)
100	2,12	0,5	0,004905
150	2,57	0,6	0,005886
200	3,39	1,2	0,011772
250	4,14	1,8	0,017658
300	4,8	1,4	0,013734
400	6,25	2,6	0,025506
500	7,85	3,5	0,034335
600	9,34	6,4	0,062784
700	10,97	8,8	0,086328
800	12,53	10,1	0,099081
900	14,07	14,7	0,144207
1000	15,65	18,6	0,182466

1100	17,15	22	0,21582
1200	18,7	25,1	0,246231

Fonte: Autoria própria

Para uma melhor análise dos resultados, o Gráfico 1 apresenta os resultados da força de arrasto em função da velocidade de escoamento do fluido.

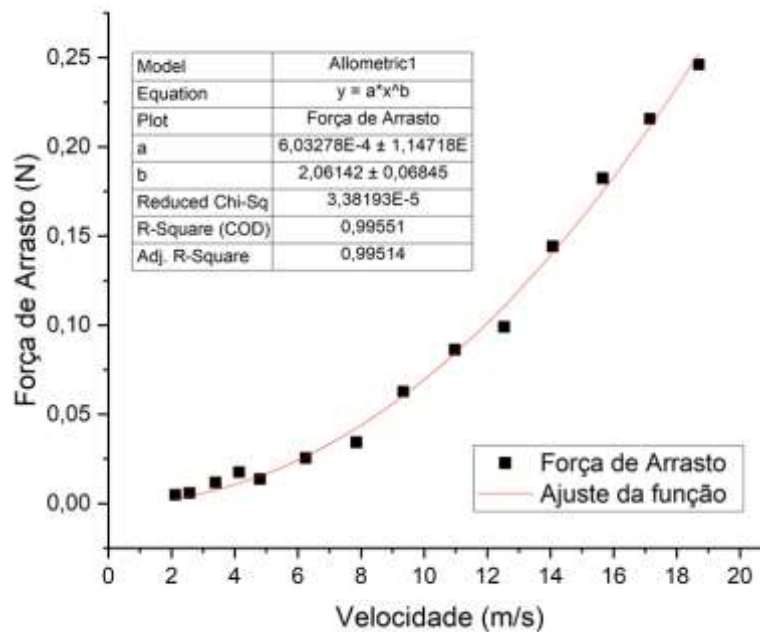
É possível observar no Gráfico 1 que a força de arrasto aumentou de maneira exponencial em relação a velocidade do fluido, conforme função não linear ajustada. Tal informação é de grande importância, pois, mostra que a contribuição do consumo de combustível em relação ao arrasto, aumenta de forma quadrática com a velocidade.

Na Equação (1) é apresentada a relação obtida para a força de arrasto em função da velocidade a partir do ajuste não linear dos pontos experimentais.

$$F_D = 6,03.10^{-6}v^{2,06} \quad (3)$$

Sendo, F_D a força de arrasto em Newton e v a velocidade de escoamento do fluido e o seu coeficiente de determinação é de $R^2 = 0,995$. Este resultado mostra que os pontos experimentais se ajustaram a curva relacionada a Equação (3). Observa-se na Equação 3 que a relação entre força de arrasto e a velocidade ocorreu uma taxa de crescimento com expoente de 2, ou seja, conforme previsto pela clássica relação quadrática que relaciona a força de arrasto com a velocidade. Desta forma, quando a velocidade do ar aumentou, ocorreu a elevação da força de arrasto de forma proporcional ao quadrado da velocidade. Isso resulta em um aumento mais rápido e significativo da força de arrasto à medida que a velocidade aumenta.

Gráfico 1- Variação da Força de Arrasto em função da Velocidade



Fonte: Autoria própria

4.2 COEFICIENTE DE ARRASTO

Os resultados da força de arrasto em função da velocidade são mais bem avaliados quando transformados para os parâmetros adimensionais de Coeficiente de Arrasto (Equação 1) e Número de Reynolds (Equação 2). Tais parâmetros possibilitam uma comparação mais precisa dos resultados, reduzindo a influência das dimensões físicas do corpo e proporcionando com mais clareza, os regimes de escoamento que foram estudados durante os experimentos. Tais resultados estão apresentados na Tabela 3 e no Gráfico 2.

Tabela 3- Coeficientes de arrasto

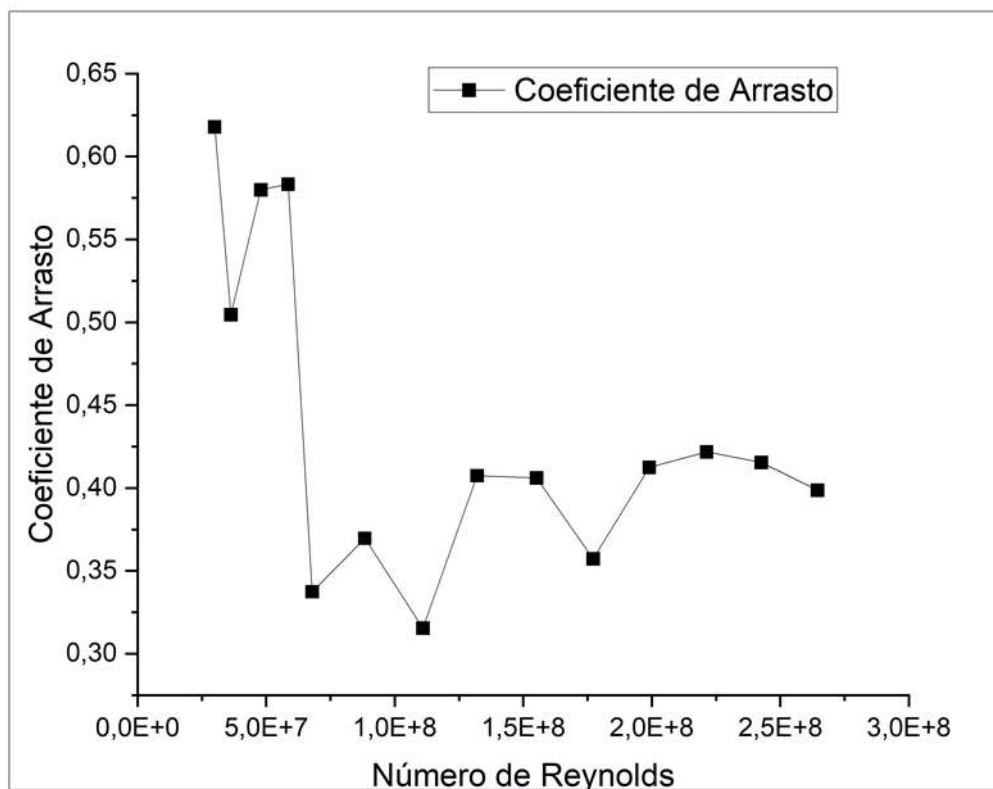
Velocidade (m/s)	Número de Reynolds	Coeficiente de Arrasto (Cd)
2,12	3,00E+07	0,617805
2,57	3,64E+07	0,504473
3,39	4,80E+07	0,579876
4,14	5,86E+07	0,58321
4,8	6,79E+07	0,337442
6,25	8,84E+07	0,369629
7,85	1,11E+08	0,315415
9,34	1,32E+08	0,407417
10,97	1,55E+08	0,40609
12,53	1,77E+08	0,35725

14,07	1,99E+08	0,412366
15,65	2,21E+08	0,421733
17,15	2,43E+08	0,415382
18,7	2,65E+08	0,398606

Fonte: Autoria própria

Observa-se no Gráfico 2 e a partir dos dados da Tabela 1 que a partir de valores de velocidade do fluido de $v=4,8$ m/s ($Re=6,79E+07$), os valores do coeficiente de arrasto foram de 0,31 a 0,42, valores estes próximos aos encontrados na literatura. No trabalho de Varela & Paula (2016), os autores chegaram em valores do coeficiente de arrasto na faixa de 0,45, Ahmed et al. (1984) obtiveram um coeficiente de 0,37, portanto, os dados obtidos neste experimento estão dentro do esperado pela literatura.

Gráfico 2- Coeficiente de Arrasto por Número de Reynolds



Fonte: Autoria Própria

Observa-se também no Gráfico 2 e a partir de dados da Tabela 2 que os valores do coeficiente de arrasto em baixas velocidades (menores que $v=4,8$ m/s) foram de $C_d= 0,5$ a $0,65$, ou seja, superestimaram os valores encontrados na literatura. Essa diferença pode ser explicada por aspectos relacionados a perturbações externas na corrente de ar presente no interior do túnel, que podem ser

mais relevantes nos experimentos quando conduzidos em condições de baixas velocidades. Portanto, o uso do aparato experimental foi indicado para velocidades acima de $v = 4,8 \text{ m/s}$.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram realizadas medidas experimentais do coeficiente de arrasto, de um corpo de referência automobilística, designado de corpo de Ahmed. Tal corpo foi estudado em escala reduzida em um túnel de vento, onde foi possível avaliar as características aerodinâmicas do escoamento ao seu redor.

O desenvolvimento do modelo em escala reduzida foi realizado com sucesso, iniciando-se o desenho de sua geometria em um software CAD, onde o modelo tridimensional foi concebido, mantendo intactas todas as suas características originais, a partir de em uma escala de 1:6. Posteriormente, a impressão 3D do protótipo do corpo de Ahmed foi concretizada, utilizando o filamento PLA. O processo de impressão do modelo seguiu a aplicação de diversos parâmetros, tais como tempo de impressão e quantidade precisa de filamento utilizado.

A utilização de uma célula de carga, integrada internamente ao próprio corpo impresso em 3D, permitiu medidas do coeficiente de arrasto, sem a alteração da geometria do corpo de prova, permitindo assim medidas experimentais mais confiáveis e precisas.

A força de arrasto em função da velocidade de escoamento do fluido apresentou comportamento exponencial, com uma taxa de crescimento com expoente de 2, valor este conforme esperado pela literatura.

Os resultados experimentais mostraram-se mais confiáveis para velocidades do fluido acima de $v = 4,8 \text{ m/s}$, em que foram obtidos valores do coeficiente de arrasto de 0,31 a 0,42, valores estes bem próximos aos previstos na literatura.

Para velocidades de escoamento do fluido abaixo de $4,8 \text{ m/s}$, os valores do coeficiente de arrasto, variaram de 0,50 a 0,62. Tais valores encontrados, superestimaram os valores teóricos. Pode explicar tal diferença, tendo em vista que em velocidades menores existe maior influência de fatores externos que podem perturbar a corrente de ar formada pelo túnel de vento, justificando assim, maiores valores do coeficiente de arrasto.

Os resultados deste estudo experimental podem vir a contribuir para as pesquisas relacionadas à análise aerodinâmica de corpos sólidos, fornecendo informações relevantes para o desenvolvimento

de estratégias destinadas à redução de consumo de combustível em veículos, bem como para o aprimoramento de outras áreas que dependem do conhecimento profundo da interação entre fluidos e sólidos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmed, S. R., Ramm, G., & Faitin, G. (1984). Some salient features of the time-averaged ground vehicle wake. SAE Technical Paper.

Almeida, Evelyn Natalie Aguiar de (2022). Simulações de escoamento ao redor do Corpo de Ahmed via CFD código aberto e comercial. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

Castejon, Danilo Vieira (2011). Métodos de redução do arrasto e seus impactos sobre a estabilidade veicular. Dissertação (Mestrado- Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica e Área de concentração em Aeronaves). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Hucho, W.H. (1987) Aerodynamics of road vehicles: From Fluid Mechanics to Vehicle Engineering. ISBN 9780750612678

Krajnović, S., Davidson, L. (2005). Flow around a simplified car part 1: large eddy simulation. Journal of Fluids Engineering, vol. 127, pp 907-918.

Strachan, R., Knowles K., Lawsons N.J. (2007). The vortex structure behind an Ahmed reference model in the presence of a moving ground plane. Exp. Fluids. Vol. 42, 659-669.

Varela, D. J. C.; Paula, A. V. de. (2016). Análise experimental do escoamento ao redor do corpo de ahmed. PERSPECTIVA, Erechim. v. 40, n.150, p. 85-96.

ENGENHARIA: A MÁQUINA QUE CONSTRÓI O FUTURO

VOLUME XI



conhecimentolivre.org/home



contato@conhecimentolivre.org



[editoraconhecimentolivre](https://www.instagram.com/editoraconhecimentolivre)



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE