

## HYPERLOOP AURORA: O TRANSPORTE DO AMANHÃ, HOJE

**GABRIEL SOUZA DA PAZ** 

*Escola Santa Mônica, Pelotas, RS, Brasil, 96020-220,*

*gabrielsozadapaz@hotmail.com*

**TIAGO AZEVEDO BRAGA** 

*Escola Santa Mônica, Pelotas, RS, Brasil, 96020-220,*

*tiago.fisico@gmail.com*

**SUZANE ROSA RIBEIRO** 

*Escola Santa Mônica, Pelotas, RS, Brasil, 96020-220,*

*suzanedarosaribeiro@gmail.com*

### RESUMO

A humanidade se aproxima perigosamente de um ponto irreversível no que tange às mudanças climáticas. As emissões provenientes de veículos a combustão – criados no século XIX – são um dos principais atores dessa crise. É necessário um novo modal, concebido do princípio, visando os desafios do século XXI. O Aurora – resultado deste trabalho – é um modelo de transporte que parte do conceito de Hyperloop, mas utiliza, para isso, técnicas de mecanismos já consolidadas nos aerobarcos e túneis de vento. Pensado para as demandas futuras, caracteriza-se por ser rápido, autossustentável, elétrico e zero emissões. Protótipos em escala reduzida mostraram-se funcionais e estimativas realizadas indicam velocidades de até 254m/s para uma versão de passageiros e/ou cargas.

**Palavras-chave:** Hyperloop. Aurora. Tecnologia. Transporte. Pneumático.

### HYPERLOOP AURORA: THE TRANSPORT OF TOMORROW, TODAY

#### ABSTRACT

Humanity is dangerously approaching the unavoidable point when it comes to climate change. Emissions from combustion vehicles – created in the 19th century – are one of the main players in this crisis. A new modal is needed, conceived from the beginning, aiming at the challenges of the 21st century. Aurora – the



result of this work - is a transport model that starts with the concept of Hyperloop but uses levitation and propulsion techniques already consolidated in air boats and wind tunnels. Designed for future demands, it is characterized by being fast, self-sustaining, electric and zero emissions. Small-scale prototypes proved to be functional, and estimates made indicate speeds of up to 254m/s for a version of passengers and/or cargo.

**Keywords:** Hyperloop. Aurora. Transportation. Future. Pneumatic.

## INTRODUÇÃO

Procurando solucionar os problemas atuais de transporte, este trabalho tem por objetivo desenvolver um modelo de Hyperloop tecnologicamente mais viável que o original, visando às demandas atuais e futuras, com atenção para o cenário brasileiro e internacional e valendo-se de técnicas diferentes do Hyperloop original, atingindo os principais benefícios desse modal de forma a priorizar a viabilidade imediata, com tecnologia acessível e executável. Além disso, a partir do modelo criado, realizar testes e estimativas de performance, além de elaborar a conjuntura em volta deste sistema. Neste capítulo, ao longo da breve contextualização no cenário dos transportes, poderão ser observados a importância e alguns critérios a ser levados em conta no dimensionamento de um novo modal.

Os modos convencionais de transporte são compostos por quatro tipos, exclusivamente: ferroviário, rodoviário, hidroviário e aéreo – além do dutoviário, que será desconsiderado aqui por se limitar apenas ao transporte de fluidos. Estes modos de locomoção tendem a ser relativamente lentos (ferroviário e hidroviário), caros (aéreo), ou uma combinação dos dois anteriores (rodoviário). Ao longo dos últimos dois séculos, esses meios foram movidos essencialmente pela combustão, projetados para isso, resultando inevitavelmente na emissão de poluentes. Somente o setor de transporte foi responsável por 48,7% das emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil em 2018 (BRASIL, 2018).

Em 2019 a aviação comercial gerou cerca de 915 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (ATAG, 2020). Segundo Dirk Notz e Julienne Stroeve (2016), cada tonelada a mais de CO<sub>2</sub> na atmosfera é responsável pelo derretimento de 3m<sup>2</sup> de gelo ártico. Ou seja, somente em 2019 a aviação comercial foi responsável pelo derretimento de aproximadamente 2.745km<sup>2</sup>, o equivalente à área das cidades do Rio de Janeiro e São Paulo somadas, contribuindo significativamente para o aquecimento global e a extinção de animais que vivem nas calotas polares.

Atualmente, nos transportes, a única fonte de energia escalável e não poluente é a eletricidade, visto que biocombustíveis ainda o são, apesar



de poluírem menos que os de fontes fósseis. O hidrogênio é outro combustível totalmente limpo, mas impraticável com a tecnologia atual, por ser extremamente volátil e de difícil armazenagem. Partindo disso, a seguir estão expostos os principais avanços em tornar elétricos os 4 ramos de transporte existentes:

- *Rodoviário*: No ramo de transportes de carga, o caminhão mais próximo de entrar em produção em série é o Testa Semi<sup>1</sup>, com autonomia máxima de 800km por 180 mil dólares americanos. Já no setor de ônibus rodoviário, o mais avançado é um modelo brasileiro da Marcopolo<sup>2</sup>, o Viaggio 1050 elétrico, com autonomia máxima de 500km. E, para os automóveis de passeio, há alternativas relevantes, já que os veículos elétricos são ótimos para a locomoção urbana, mas para viagens de longo curso se mostram impraticáveis tanto por conta da autonomia, como também pela demora no carregamento.

- *Ferroviário*: Por ser o modal menos poluentes dentre os demais, há pouca preocupação em eletrificar o setor de cargas, havendo poucos avanços nessa área. Já no transporte de passageiros, as antigas máquinas a combustão deram lugar a complexos trens-bala, que não ultrapassam os 300km/h e se limitam a pouco mais de uma dezena de exemplares, exclusivamente na Europa e na Ásia, evidenciando a barreira dessa tecnologia.

- *Aquaviário*: A confiabilidade das baterias, atualmente, torna grandes navios cargueiros inviáveis, porém, avanços têm sido feitos com cargueiros pequenos de transporte costeiro. O primeiro deles, o Yara Birkeland<sup>3</sup>, entraria em funcionamento no final de 2020, no entanto, devido à pandemia de SARS-Cov-2 na Noruega, sua construção foi paralisada.

- *Aéreo*: Esse é o meio que possui os maiores desafios para se tornar elétrico, devido a sua sensibilidade ao peso das baterias, e é o meio mais usado para viagens de longas distâncias. O maior avião comercial elétrico fez seu primeiro voo em 2020, trata-se de um Cessna Gran Caravan adaptado<sup>4</sup>, com alcance de 160km e velocidade máxima de 183km/h. Neste protótipo, os assentos de passageiros deram lugar as baterias.

1 Disponível em: [tesla.com/semi](https://tesla.com/semi). Acesso em: 11 set. 2021.

2 Disponível em: [marcopolo.com.br/marcopolo/comunicacao/noticias/marcopolo-apresenta-onibus-viaggio-1050-eletrico-e-paradiso-1800-double-decker-na-fretamento-2019](https://marcopolo.com.br/marcopolo/comunicacao/noticias/marcopolo-apresenta-onibus-viaggio-1050-eletrico-e-paradiso-1800-double-decker-na-fretamento-2019). Acesso em: 11 set. 2021.

3 Disponível em: [yara.com/news-and-media/press-kits/yara-birkeland-press-kit](https://yara.com/news-and-media/press-kits/yara-birkeland-press-kit). Acesso em: 11 set. 2021.

4 Disponível em: [theguardian.com/world/2020/may/27/worlds-largest-all-electric-aircraft-set-for-first-flight](https://theguardian.com/world/2020/may/27/worlds-largest-all-electric-aircraft-set-for-first-flight). Acesso em: 11 set. 2021.



Segundo Steffen et al. (2018, p. 8254) o mundo está caminhando em direção ao abismo do aquecimento global, estando num “ponto de não retorno” de concentração de CO<sub>2</sub>; em que, se nada for feito, acarretará uma cascata de eventos que irão direcionar a Terra irreversivelmente para o caminho da extinção. Posto que a terraformação ainda é uma hipótese distante, a espécie humana põe em xeque sua própria existência. Segundo Spratt e Dunlop (2019), mudanças são cobradas. E as mudanças que são vistas hoje se limitam à eletrificação de modais concebidos a mais de um século para funcionarem à combustão. Essa limitação tem dificultado o surgimento de veículos para longas distâncias e que superem os 300km/h sem emissão de poluentes. O mundo carece de um transporte com a rapidez de um avião, com a emissão de um automóvel elétrico e a autonomia de um trem.

Porém, se há de fato vontade de mudar nossa matriz energética no âmbito da mobilidade e fazer um investimento realmente massivo em um novo sistema de transporte terrestre, o retorno deve, por direito, ser proporcional em comparação com as alternativas aqui já apresentadas. É preciso investir em algo definitivo, que atenda realmente ao critério ecológico, sem comprometer o traslado de cargas e passageiros.

Foi neste âmbito que a proposta do Hyperloop nasceu em 2013, publicada por Elon Musk, sendo um sistema totalmente diferente dos demais. Consistia em uma cápsula que levita por meios pneumáticos dentro de um tubo parcialmente despressurizado, equipado com sistemas de indução magnética, sendo esses meios - pneumáticos e magnéticos - para levitação e propulsão, respectivamente. Tudo isso reduzia ao máximo o atrito, proporcionando um transporte elétrico e de altíssima velocidade – superior à do som. O Hyperloop é um conceito, não possui patentes nem qualquer tipo de exclusividade, estando aberto a qualquer empresa desenvolver e implementar o seu, assim como as companhias Hyperloop One® e Hyperloop TT® têm feito.

Hyperloop é considerado um conceito de transporte de código aberto. Os autores incentivam todos os membros da comunidade a contribuir para o processo de design do Hyperloop. A interação do projeto por vários indivíduos e grupos pode ajudar a trazer o ‘Hyperloop’ de uma ideia para uma realidade. (MUSK, 2013, P. 2, tradução própria)

Embora solucione vários dos problemas que existam com os transportes, o Hyperloop original cria outros. Emprega tecnologia que utiliza materiais caros, especialmente na levitação e propulsão, as quais são feitas por MagLev, um sistema que necessita de uma complexa forma de refrigeração, além de empregar supercondutores também caros e escassos,



limitando muito sua popularização. Somado a isso, toda essa complexidade e componentes torna sua manutenção difícil, resultando em um maior custo de operação. Estima-se que, ao longo dos anos, a demanda por essa tecnologia e os avanços na área tornem essa modalidade mais barata, possibilitando seu acesso a mais países. Entretanto, não se pode esperar um futuro longínquo para que as mudanças comecem.

O conceito do Hyperloop traz soluções para os problemas do transporte, sendo sua execução o impeditivo - gerador de outros problemas - para atingir tal objetivo. Todavia, um sistema que usasse o mesmo conceito, porém com meios diferentes para alcançar a levitação e propulsão, resolveria várias das dificuldades dessa tecnologia.

Posto isso, nasce a pretensão deste projeto: desenvolver um Hyperloop totalmente diferente dos propostos até hoje. Uma versão que priorize a execução, ao contrário dos demais que dão maior ênfase na velocidade. E, através disso, chegar a uma forma mais viável para uso em escala que mantenha, entretanto, a eficiência e sustentabilidade de um Hyperloop, mas que seja mais barato tanto na instalação quanto na construção. E, assim, criando uma ferramenta não só capaz de mitigar as emissões de poluentes nos transportes, mas também acessível e escalável globalmente. Este artigo focará apenas na versão de passageiros, por ser a mais complexa. Entretanto, o mesmo sistema pode convir a transporte de cargas em um sistema intermodal com containers no lugar dos assentos.

Para isso, além desta breve introdução, o artigo conta com mais seis seções. Na primeira delas, é problematizado o impacto do sistema de transportes atual no meio ambiente e são apresentadas algumas soluções as quais o Aurora propõe apresentar. A segunda seção apresenta o referencial de tecnologias bem consolidadas que serão usadas na levitação e propulsão do projeto. A terceira seção traz as especificações e descrições gerais do modelo proposto de Hyperloop, o Aurora, através de um método bastante simplista deste autor. A quinta seção faz uma análise teórica dos resultados obtidos. A sexta seção apresenta as considerações finais do trabalho.

## **TRABALHOS RELACIONADOS**

### **IMPORTÂNCIA DA PESQUISA NO SETOR**

Há inúmeras pesquisas na área do transporte renovável como previamente abordado na introdução deste trabalho, entretanto, a maioria procura uma forma de contornar os problemas fazendo adaptações nos transportes atuais. Adaptações essas que servem como um atenuante para uma crise climática e econômica mundial, já que, vale lembrar,



o petróleo é um bem finito, uma das fontes de CO<sub>2</sub> diretamente ligada ao aquecimento global, e pilar de diversos setores – especialmente o do transporte - e economias. Sendo assim, mudanças reais neste setor são essenciais para a mitigação das mudanças climáticas, como visto na tabela a seguir.

Setor Energético	1,4
Setor Residencial	8,26
Setor Comercial	0,5
Setor Público	0,38
Setor Agropecuário	7,88
Setor de Transportes	77,64
Setor Industrial	3,94

Tabela 1. Consumo Setorial de Derivados do Petróleo no Brasil em 2019(%).

Fonte: Balanço Energético Nacional, 2020.

Em cidades grandes, como São Paulo, até 90% da poluição atmosférica é causada pelo setor de transportes (BRASIL, 2011). Ou seja, é neste setor que se localiza a espinha dorsal do problema, e é por onde se deve começar, se houver o desejo em reverter o cenário de aniquilação simulado por Spratt e Dunlop (2019). Além disso, segundo Steffen et al. (2018, p. 8254) as mudanças para evitar esse cenário devem acontecer imediatamente, visto que a terra se aproxima de um “ponto de não retorno” de concentração de CO<sub>2</sub>.

Um exemplo danoso dos transportes atuais são as locomotivas, que, apesar de consideradas mais eficientes que outros modais - como o rodoviário -, ainda assim causam um desperdício significativo de energia. Um breve retrato desta ineficiência está no atrito. Os rolamentos de uma locomotiva convencional possuem, em média, um coeficiente de atrito com os trilhos de 0,35, segundo Lundberg (2015). Isso significa que é como se houvesse 35% a mais de peso. Em uma locomotiva de 100 toneladas, por exemplo, com esse coeficiente de atrito, será necessário exercer uma força equivalente a transportar 35 toneladas de cargas a mais para vencer somente o atrito com os trilhos, isso sem considerar o arrasto aerodinâmico, e os atritos nos mancais, interno do motor e entre partes móveis.

Diante de tudo isso, há pela frente grandes desafios: buscar novas alternativas de transporte com fontes de combustível não fóssil; desenvolver tecnologias para a melhor eficiência dos motores, já que os atuais, a combustão, podem chegar a desperdiçar cerca de 80% dessa energia (NASCIMENTO, 2008); e priorizar o transporte das pessoas, não o das máquinas. Esse é um dos caminhos para tornar o transporte mais ecológico. Além do mais, é notável uma certa lacuna no setor de transportes



rápidos que ultrapassam os 300km/h. Correspondente, hoje, há cerca de uma dezena de trens-bala exclusivamente no hemisfério norte – o que, de certa forma, ilustra a barreira tecnológica e financeira desse equipamento – e aos aviões, um ramo no qual as companhias operam no limite entre o prejuízo e lucro, com total dependência do petróleo. A aviação em particular é muito sensível à baixa densidade energética de outras fontes de energia, como as baterias, o que dificulta muito o avanço da eletrificação desse meio. Pode-se destacar, também, a crise que ocorreu durante a Guerra do Golfo, onde o preço do petróleo disparou e, por conseguinte, o querosene de aviação também, o que causou graves consequências a esse setor. Hoje, a aviação é totalmente refém do petróleo, e este, por sua vez, é refém do dólar no Brasil. Vale lembrar: o preço do petróleo no Brasil é cotado em dólar, portanto, variações cambiais afetam todo tipo de combustíveis derivados, desde querosene de aviação à gasolina automotiva. Com o dólar afetando uma área tão estratégica, como o setor de transportes, no Brasil, a sua alta causa um efeito cascata em todo o país, agravando crises. Um exemplo marcante recente foi a “Greve dos caminhoneiros de 2018”.

Esses são alguns dos motivos pelos quais energia e transporte devem ser nossa prioridade máxima nas próximas décadas, necessita-se de sistemas de transporte público em massa e “acessível”. Sistemas que podem movimentar muitos passageiros de maneira eficiente, segura, econômica e empregando energias renováveis.

## HYPERLOOP

Foi para preencher esse espaço que a ideia do Hyperloop nasce. Consiste em um modo de transporte de passageiros e / ou carga, de código aberto, desenvolvido em conjunto por equipes da Tesla Motores e SpaceX, empresas de Elon Musk, que por sua vez foi fortemente inspirado no Vactrain, de Robert Goddard. É composto por um tubo elevado do solo, parcialmente despressurizado, equipado com sistemas de indução eletromagnética – similar aos de canhão eletromagnéticos ‘railgun’ – para a propulsão; e uma cápsula, responsável pelo transporte efetivo, que flutuaria com um sistema MagLev. Este seria o modelo original do Hyperloop.

Conquanto, este modelo original emprega tecnologias de ponta – ainda em desenvolvimento – em seus métodos, impossibilitando seu amplo uso e restringindo essa solução a poucas rotas que compensam. A tecnologia MagLev, usada para a levitação, tem poucos usos práticos fora do campo acadêmico, é um nicho específico, o que a torna muito cara devido ao pouco uso, além de ser complexa. E os indutores de campo eletromagnéticos, usados para a propulsão, necessitam de uma ampla estrutura de indutores ao longo de todo percurso, além de uma fonte de



energia poderosa para alimentá-los e uma linha de transmissão sofisticada ao longo do trajeto para transmitir a alta corrente necessária – ou o uso de centenas de conversores de tensão para corrente. Tudo isso resulta em um sistema de instalação e manutenção caros.

## SUMARIZAÇÃO

É clara a ideia de que qualquer mitigação visando às mudanças climáticas, bem como suas consequências, devem inevitavelmente passar pela busca de um modal mais adequado para o século XXI. Esse modal poderia ser o Hyperloop, no entanto, sua complexidade é uma barreira para tal.

E é por um modal mais sustentável, o qual minimize a atuação do transporte no aquecimento global, que o apresenta trabalho aproveita-se do Hyperloop conceitual para desenvolver uma opção mais adequada de transporte, mantendo os benefícios que essa ideia já traz e solucionando os obstáculos que ela provoca.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Visto que os principais obstáculos para o Hyperloop Original são os métodos usados na propulsão e levitação, busca-se alternativas considerando as tecnologias consolidadas. Substitui-se, neste projeto, a propulsão magnética por um método usado já há muito tempo para o transporte de cartas e pequenos objetos nos correios pneumáticos, o ar comprimido, e para o respaldo mecânico desse sistema em grande escala, há os túneis de vento, aparelhos que geram poderosas correntes de ar em um tubo para análises do comportamento do ar em laboratório, e portanto, possuem motores muito similares, os quais seriam necessários para a instalação desse sistema num Hyperloop. Para a levitação, embora diversos modelos tenham sido considerados, somente um se destaca, devido a ser o único já empregado em transporte além do MagLev, a levitação aerostática. O maior respaldo para o uso desta tecnologia está nos hovercrafts (navios anfíbios que usam a levitação aerostática para andar sobre superfícies marítimas e terrestres) teorizado por Cockerell (1960).

A seguir é exposto a contribuição de cada uma dessas ferramentas para este projeto:

- *Túneis de vento*: dos túneis de vento de circuito contínuo herda-se os poderosos ventiladores responsáveis por prover ventos de até 555km/h (154m/s), como no maior túnel de vento do mundo, no Centro de Pesquisa Langley nos Estados Unidos (USAF, 2021).

- *Correios Pneumáticos*: Este contribui com seu princípio de funcionamento, é a maior referência que se tem do uso da pneumática para o





transporte, por mais que hoje não seja muito comum, já foi muito usada para o transporte de correspondências na Europa<sup>5</sup>.

- *Hovercraft*: dessa herda-se sua tecnologia de bolsões de ar, que reduz drasticamente o atrito com a superfície.

## METODOLOGIA

Em suma, o princípio de funcionamento do Hyperloop Aurora é o mesmo de um Hyperloop Original - um módulo de transporte que flutua dentro de um tubo hermeticamente fechado e viaja a altas velocidades. O que diverge são os métodos usados para isso que são mais comuns e simples de manufaturar e instalar. Nos capítulos subsequentes a este, se encontra especificações e descrições sobre cada um dos principais componentes e características do Hyperloop Aurora.

## TUBO

A função do tubo é guiar o módulo de transporte e conduzir as correntes de ar. É de liga metálica resistente, hermeticamente fechado, com paredes internas revestidas de um material com aspereza mínima, elevado do solo por pilares de aproximadamente 6m de altura - podendo variar dependendo dos obstáculos naturais ao longo da rota - dividido em seções que, devido ao fato de serem pré-fabricadas, são facilmente erguidas e soldadas. Graças a essa elevação, pode facilmente transpor pequenos rios e obstáculos, além de não necessitar de grandes alterações em infraestruturas já existentes, como rodovias e avenidas que cruzam seu caminho, conforme ilustrado na figura a seguir. É importante que as paredes e piso da área de passagem da cápsula sejam revestidas com um material de aspereza mínima, a fim de evitar a perda de força tanto da cápsula quanto das correntes de ar.

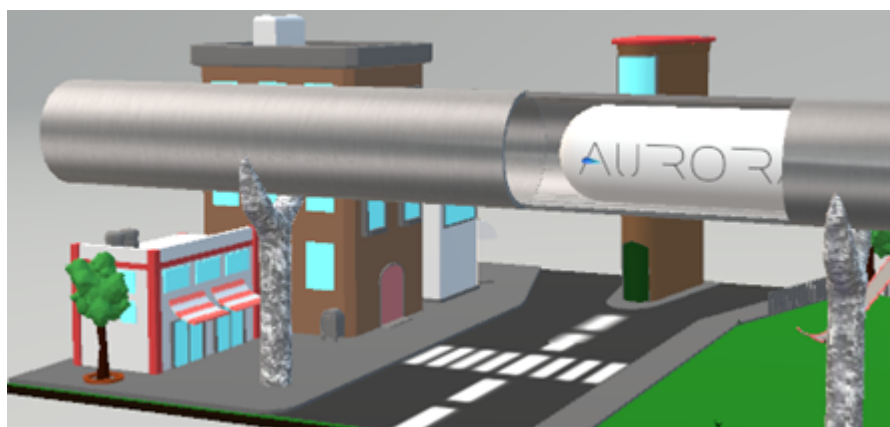


figura 1. Ilustração de implementação no meio urbano.

<sup>5</sup> Disponível em: [pt.wikipedia.org/wiki/Correio\\_pneum%C3%A1tico\\_de\\_Praga](https://pt.wikipedia.org/wiki/Correio_pneum%C3%A1tico_de_Praga). Acesso em: 11 set. 2021.



Seu diâmetro pode variar de acordo com o módulo de transporte e carga transportada em um projeto específico para cada região, no entanto, para uma versão padrão de transporte de passageiros, um diâmetro de 3m a 3,4m é considerado o suficiente para comportar com conforto duas fileiras de poltronas duplas e um corredor central, tamanhos similares a cabine executiva de um Boeing 737.

Devido à cápsula andar em altas velocidades sempre no interior do tubo, torna o transporte mais seguro e silencioso para aqueles ao longo da via, fazendo com que a presença do Aurora seja quase que imperceptível para aqueles ao seu entorno, sem ser pelo meio visual, além de evitar atropelamento de pessoas e animais. O uso do tubo no sistema também torna o transporte imune às condições climáticas adversas e protege a cápsula de transporte da ação dos agentes de degradação provenientes do clima.



figura 2. Ilustração de corte transversal no tubo.

Cada Hyperloop Aurora exigiria um projeto em particular, com algumas dimensões e especificações a serem definidas de rota para rota, de acordo com as condições e demanda em que irá operar.

#### MÓDULOS OU CÁPSULAS DE TRANSPORTE

É o que efetivamente irá se mover e transportar os passageiros e cargas. Ele sempre permanecerá no interior do tubo, os únicos motores presentes serão os usados para gerar o bolsão de ar sob o módulo. Contará com dois pacotes de baterias, um desses sendo backup, usado apenas em emergência. O outro é o pacote principal, composto de baterias recarregáveis e mantido em um compartimento encaixado ao módulo, de modo que possa ser facilmente removido e trocado por outro carregado



nas estações. Ele alimenta todo sistema de suporte aos passageiros e os motores responsáveis pela levitação.

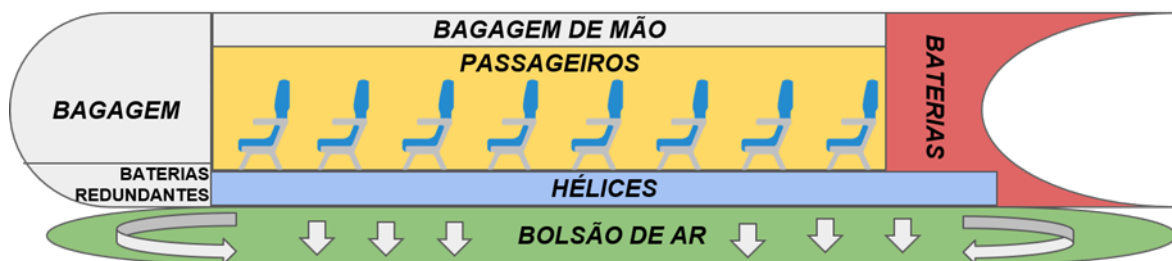


figura 3. Diagrama de possível módulo de transporte do Aurora.

Seu design, visto na Figura 3, é pensado para oferecer o maior conforto para seus usuários, o interior seria muito semelhante ao de um avião comercial em classe executiva com poltronas reclináveis e porta-bagagem.

Na parte traseira, há o módulo com as baterias principais acopladas ao módulo com um formato do interior de um meio cilindro, que prioriza uma maior resistência aerodinâmica para o ar que incide na sua traseira, aproveitando-o melhor em sua locomoção e tornando-o mais eficiente. A aerodinâmica também é pensada de forma a desviar o ar que não será usado para o movimento para as laterais, assim criando uma espécie de efeito solo com as paredes do tubo.

Pode-se fazer uma analogia do módulo com um barco à vela: o módulo seria como um veleiro dentro do tubo, que usaria a força do vento artificial gerado para se locomover.

### PROPULSÃO

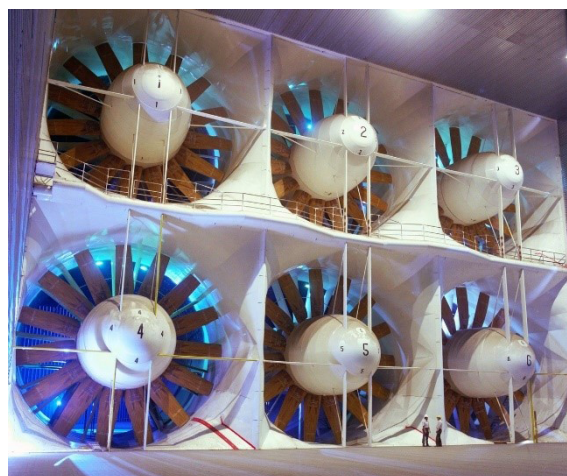
A propulsão do sistema fica a cargo de ventiladores colocados nas extremidades do tubo, que irão gerar rápidas correntes de ar no interior dele, também sendo usadas em modo reverso para frear a cápsula em condições normais de operação. Vale destacar que, desta forma, a resistência aerodinâmica se torna um fator positivo na velocidade<sup>6</sup>, algo inédito nos transportes de médio e grande porte. Sendo uma propulsão não embarcada, torna o sistema leve, ágil e eficiente, já que todo peso dos motores ficará imóvel, não desperdiçando energia para mover máquinas, priorizando, assim, o transporte das pessoas ou apenas o que realmente seja necessário. Pelo motivo dos principais motores estarem localizados somente nas extremidades do tubo ou em pontos estratégicos estáticos, facilita a manutenção e torna muito mais fácil isolar o ruído ao redor, sendo muito silencioso e confortável para aqueles dentro e fora da cápsula.

<sup>6</sup> Até o módulo atingir 254m/s.



figura 4. Motores de túnel de vento do Ames Research Center.

Fonte: NASA



Seriam motores muito similares a esses na figura 4, usados em túneis de ventos. Duas pessoas próximas ao ventilador 5 dão uma noção de escala. Esse, em particular, localizado nos Estados Unidos, no National Full Scale Aerodynamics Complex(NFAC), gera vento de até 555km/h (154m/s), com seis ventiladores alimentados por seis motores de 22.500 cavalos de potência, cada um com diâmetro aproximado de 12m (USAF, 2021). Aplicando a Lei de Boyle, e considerando a pressão do vento como  $0,613v^2$ , de acordo com a NBR 6123, um único motor idêntico a esses seria capaz de gerar, em um tubo de 3,5m do Aurora, correntes de ar de 231m/s.

Como o atrito entre o módulo e a superfície do túnel é bastante reduzido, o movimento linear transferido pelo deslocamento de ar para a cápsula será suficiente para produzir uma aceleração inicial e deslocar o módulo de transporte a altíssimas velocidades.

Apesar da propulsão se assemelhar ao Aeromóvel, por ambos utilizarem correntes de ar para se deslocar, o Aurora destaca-se por se locomover no mesmo compartimento em que o ar é deslocado possuindo, assim, uma maior superfície de arrasto com o ar – proporcionando velocidades maiores -, bem como eliminando o conjunto de vedações existentes no Aeromóvel entre o compartimento o qual conduz o ar e o veículo - que acaba por gerar uma certa resistência ao movimento, ao contrário do Aurora que, com o seu sistema de levitação, tende a gerar resistência mínima ao movimento das correntes de ar.

## FRENAGEM

Há duas formas principais de se frear o módulo de transporte:A principal delas é a inversão do fluxo de ar do tubo. É esta forma que se deve priorizar no uso, por ser mais simples e possuir menor desgaste. Esse tipo de frenagem é ideal para declives acentuados, no entanto dependendo da velocidade e distância dos sistemas de propulsão, pode não ser tão eficiente.



Nesse caso há a outra opção, de variar a pressão do bolsão de ar da cápsula de forma a aumentar ou reduzir o atrito com a superfície.

## CURVAS

O ideal, assim como uma linha férrea, é que o percurso tenha o mínimo de curvas, mas nem sempre isso é possível, portanto, as curvas que existirem deverão possuir um raio bem amplo e a velocidade da cápsula terá de ser reduzida por segurança. O comprimento do módulo de transporte não é um problema já que, devido à rapidez e alta disponibilidade, não haverá necessidade de cápsulas compridas, assim mantendo um comprimento compatível com as curvas.

Ainda é cogitado um sistema de ar comprimido na parede do tubo externa à curva que, através de vários bicos injetores controlados por um refinado computador, injete ar contra a cápsula em pontos estratégicos calculados, permitindo que a cápsula mantenha uma velocidade maior.

## SISTEMA REGENERATIVO

É essencial que as paredes do tubo possuam o mínimo de asperezas possíveis para que não haja a perda da força pneumática, mesmo assim, em percursos de longa distância, é fundamental que haja um sistema regenerativo dessa força para manter rapidez e eficiência.

É ideal que esse sistema seja instalado nas curvas - já que nelas o ar perderá a maior parte da velocidade - e que atue em conjunto com comportas que dividam o trajeto em secções pneumáticas, mantendo, em trajetos longos, o fluxo de ar apenas na secção da cápsula.

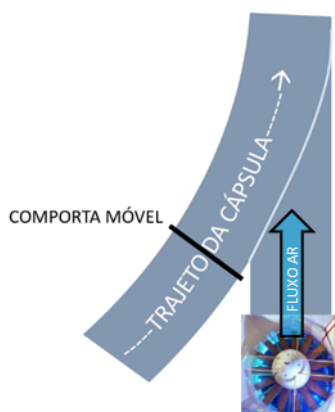


figura 5. Exemplo de sistema amplificador aplicado em uma curva.

Na junção dos dois tubos haverá um guia para manter a curva da cápsula. O motor do sistema amplificador será o mesmo instalado nas extremidades do tubo.



## LEVITAÇÃO

Dentre os vários tipos de levitação (aerostática, magnética, eletrostática, supercondutora, inductrack, acústica, óptica e aerodinâmica), optou-se pela aerostática, pois se mostrou ser a mais viável pelo baixo custo com simples manutenção e confecção. Ela consiste em produzir uma grande região de ar de alta pressão debaixo do objeto a ser levitado, através de um colchão de ar e ventiladores, sistema similar ao usado pelos hovercrafts.

As principais vantagens dessa levitação são de que usa-se motores mais comuns e simples que aqueles de outros tipos, o que facilita a manutenção. São basicamente ventiladores elétricos que utilizam as mesmas tecnologias de helicópteros elétricos e túneis de vento hoje em dia. São poucos motores, mas de grande potência ou segregados em vários motores de pequena potência, similar ao que acontece nos multicóptero elétricos.

Esses motores direcionam o ar para uma cavidade flexível situada entre o módulo e a parte deslizante inferior, formando um colchão de ar, no entanto, haverá outros motores que o direcionarão em todos os sentidos, contra as paredes do tubo, para estabilizá-la. As entradas de ar para esses motores serão na parte frontal da cápsula, sendo direcionadas até eles por tubulações, conforme ilustrado na figura 5.

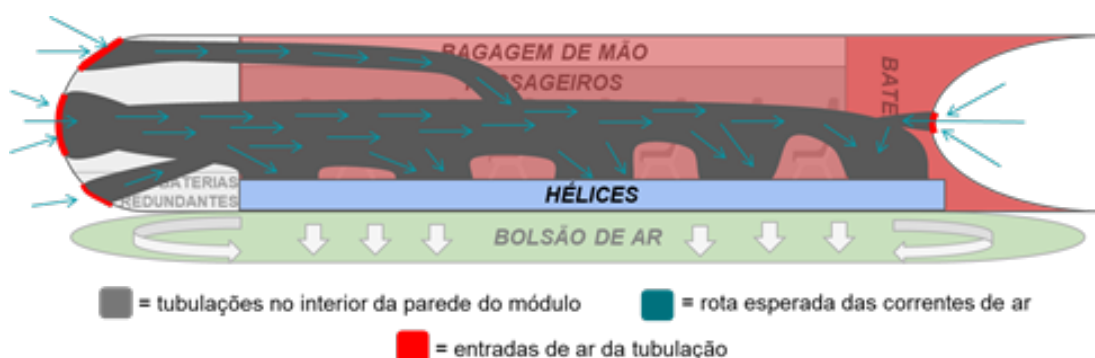


figura 6. Ilustração das entradas de ar para o sistema de levitação.

Nesse caso, ao contrário da propulsão, optou-se por deixar esses motores embarcados, já que se ficassem no tubo, necessitariam de uma grande quantidade deles espalhada ao longo do percurso, além de gerar uma corrente de ar instável e encarecer o custo, tornando-se mais eficiente a levitação embarcada.



figura 7. Hacker Motor.

Fonte: Volocopter, 2021.

Esses são os Hacker Motor de 3,9 kW da Hacker Brushless Motor (VOLOCOPTER, 2021). Dezoito deles são usados no multicóptero elétrico Volocopter VC200, que é capaz de se elevar a centenas de metros. Esse é um exemplo de motor que pode ser usado para inflar o bolsão de ar da cápsula. É elétrico, alimentado por baterias, potente, compacto e há respaldo tecnológico.

## ENERGIA

Em relação à energia usada, será 100% elétrica, e para se certificar de que não é proveniente de fontes não renováveis, como por exemplo oriunda de termelétricas, e de que assim não contribui para o efeito estufa, toda a estrutura deverá utilizar um sistema próprio de energia solar para o seu total funcionamento, instalada ao longo do trajeto sobre o tubo, sem ocupar áreas adicionais. Este investimento complementar em painéis solares se justifica e reflete não apenas na preservação do meio ambiente, mas também no custo de operação, já que pela alta demanda de eletricidade, em poucos anos esse investimento deve ser compensado.

Além disso, por gerar sua própria energia, crises ou variações cambiais não afetam diretamente os custos de operação, proporcionando uma logística, de pessoas e bens, muito mais estável.

## SEGURANÇA

O transporte mais seguro do mundo, desconsiderando o elevador, é o avião, no entanto, não é infalível, e em grande parte pelo fator humano. Dados estatísticos mostram que 80% dos acidentes aéreos envolvendo aeronaves de grande porte são causados por erro humano (BOEING, 2008).



Seja por falha de treinamento, estresse, fadiga, desatenção, imprudência, imperícia, negligência, erro de julgamento, falha de planejamento, supervisão deficiente, falta de coordenação entre a tripulação, falhas de comunicação, operação indevida do equipamento e outros. Os aviões de hoje, equipados com poderosos computadores capazes de evitar acidentes, mostraram-se muito mais confiáveis do que os sentidos humanos, mas dificilmente existirá uma aeronave comercial autônoma nos céus, pois apesar do alto refinamento tecnológico já alcançado, há ações que uma máquina não poderá fazer tão cedo, de forma independente, na aviação comercial.

Em princípio, o Aurora requer o mínimo de interação humana para seu funcionamento, por ser um sistema extremamente automatizado. Também irá contar com um software monitorando a todo momento possíveis falhas, fazendo simulações das ações antes de executá-las, podendo, se for o caso, ativar sistemas de frenagem de emergência do módulo -independente do reverso dos ventiladores nas extremidades do tubo - controlando seu movimento de transporte por meio das informações recebidas dos sensores espalhados nas cápsulas, estações, casas de máquinas e ao longo do trajeto. Em adição, o uso do tubo também proporciona maior segurança do sistema perante fatores externos, sejam eles climáticos ou humanos, como vandalismo e atropelamentos.

Além da segurança operacional, a ativa também foi planejada. Todos os módulos contarão com um telefone com linha direta à central de comando, para que, em caso de falhas ou mal-estar de passageiros, equipes de suporte estejam de prontidão na estação mais próxima. A cápsula também conta com baterias redundantes para alimentar o sistema de levitação, ainda assim, mesmo que ambas as baterias falhem, isso não causará um grande transtorno aos passageiros, já que a distância da cápsula ao solo é mínima, somente o necessário para evitar atrito. Após o ocorrido a central de comando será notificada, cilindros fornecerão oxigênio aos passageiros, já que o sistema de troca de ar ficaria comprometido sem energia, enquanto equipes rebocariam o módulo de transporte até o ponto de apoio mais próximo.

Fissuras ao longo do tubo não comprometem sua segurança, já que a redução de pressão é compensada com o aumento da potência dos motores, assim que sensores de pressão detectarem a redução, o problema será percebido e reparado. A falta de energia também não é um problema, já que na maior parte do tempo não dependerá da rede elétrica, gerando a sua própria. Se ainda assim não for suficiente, geradores a diesel colocados nas estações terão de entrar em ação. Tudo isso, aliado ao fato de que suprime a possibilidade de duas das principais causas de acidentes - atropelamentos e fator humano - tornam o Aurora um





sistema bastante seguro em uma primeira análise, talvez um dos mais seguros.

Elementos de segurança embutidos no módulo de transporte

- Extintores;
- Telefone via rádio;
- Baterias redundantes;
- Cilindros de oxigênio;
- Kit de primeiros socorros;
- Iluminação de emergência;
- Sistema automático de extinção de incêndio;
- Câmeras de segurança com transmissão de imagem.

Elementos de segurança nas estações ou ao longo do tubo

*Estações:*

- Geradores;
- Máquinas de raio X;
- Central de comando;
- Câmeras de segurança;
- Seção de combate a incêndio e primeiros socorros;
- Cápsula adaptada para inspeção do tubo e eventual reboque de outra cápsula avariada.

*Ao longo do tubo:*

- Pontos de apoio com saída do tubo;
- Sensores magnéticos, de pressão e laser;
- Receptores rádio do telefone do módulo.

## VELOCIDADE

A velocidade do Aurora, do ponto de vista mecânico - já que há outros fatores que devem ser levados em conta na hora de definir uma velocidade de cruzeiro, como por exemplo o percurso e materiais - está ligada, principalmente, à força do vento gerada pelas bombas pneumáticas. Assim, visto que túneis de vento, mais especificamente os de circuito aberto e corrente de ar contínua, usam um princípio semelhante, optou-se por



usar esses dados para estimar a velocidade preliminar do Aurora.

Ao saber que o túnel de vento do NFAC é de circuito aberto e corrente de ar contínua, características semelhantes a do sistema de propulsão que seria usado no Aurora, atingindo velocidades de 154m/s - ainda que numa secção quase 43x maior do que em um sistema com módulo de transporte com 3m de diâmetro - utiliza-se esta velocidade como base para os cálculos.

A força do vento que incidirá nas frentes traseira da cápsula pode ser calculada pela equação 1.  $A$ ,  $P$  e  $C_d$  referem-se a área incidente do vento, pressão e ao coeficiente de arrasto, respectivamente.

$$F = A \times P \times C_d \quad (1)$$

Ela nos fornecerá dados próximos, já que neste caso considera-se apenas esses fatores, mas na prática, há várias outras forças menores incidindo no módulo de transporte a favor e contra o sentido de seu movimento.

Para calcular a área projetada, vale-se da fórmula  $\frac{(\pi r)^2}{2}$ , onde  $r$  é o raio da cápsula, por sua traseira se tratar de um formato semelhante ao interior de um meio cilindro. Para  $P$ , usa-se  $P = 0,613 v^2$ , conforme a norma NBR-6123 para pressão do vento, onde os coeficientes derivam de cálculos baseados em valores típicos da densidade do ar e da aceleração gravitacional. Já o  $C_d$  - como a traseira possui formato da parte interior a meio cilindro - é 2,30 (FELIPPONE, 2004).

$$F = \frac{(\pi r)^2}{2} \times (0,613 v^2) \times 2,3 \quad (2)$$

Portanto, a equação da força do vento na cápsula é (2), restando duas variáveis, o  $r$  que é o raio da cápsula, e  $v$  que é a velocidade do vento. Já na equação (3), há a 2ª lei de Newton adaptada, que surge por meio da força do vento descoberta da equação 2 e a massa do módulo resulta a sua aceleração.  $F$  e  $m$  são força do vento incidente e massa da capsula, respectivamente.

$$a = \frac{F}{m} \quad (3)$$

A equação (3) normalmente é usada para descobrir a aceleração de um objeto, no nosso caso o  $a$  irá expressar a velocidade da cápsula, já que a partir do momento em que ela passa a ser mais rápida que o ar, cria-se uma baixa pressão na sua traseira, fazendo com que perca força. Quando volta a se estabilizar com a corrente, retoma o ganho de velocidade, consecutivamente se mantendo em velocidade praticamente constante.



Vale lembrar que todas as unidades devem estar no padrão do sistema internacional de medidas.

### PROTÓTIPO DE VIABILIDADE

Desenhado para pôr em prática todos os princípios aqui propostos de forma fidedigna para comprovação de viabilidade conceitual e métodos. É importante destacar que esta maquete é fiel apenas ao funcionamento. Os materiais foram escolhidos exclusivamente pela sua acessibilidade em ambiente doméstico. Por exemplo, o usado para fazer o tubo dessa miniatura foram as folhas de acetato. Para a base do tubo, era necessário um material com mínima aspereza possível, tendo sido essa característica encontrada no vidro, que neste caso foi usado o de uma mesa de jantar. Outra vantagem do vidro foi a possibilidade de instalar os fotosensores – que detectam a posição da cápsula na maquete para o controle autônomo – do lado de fora do compartimento em que a cápsula corre.

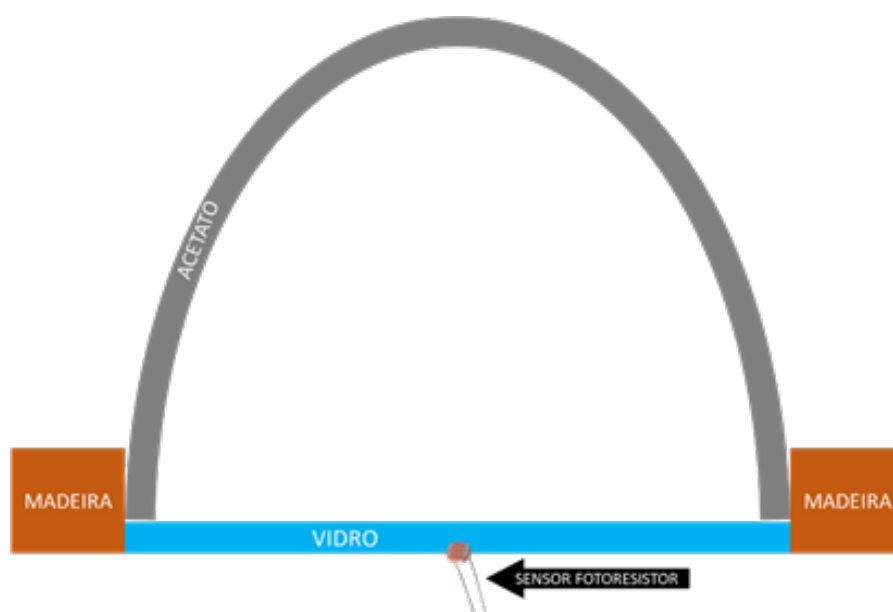
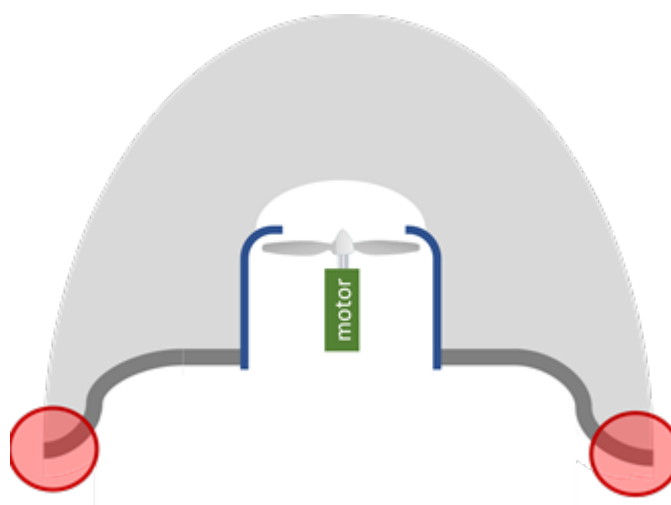


figura 8. Corte transversal do tubo da miniatura.

Com o intuito da propulsão, nas extremidades desse tubo, são empregados coolers de computador. Esses, por sua vez, são controlados por um microcontrolador genérico que processa os dados recebidos de fotosensores instalados debaixo do vidro. Detectando a sombra da passagem da cápsula, assim determinando sua posição, e gerenciando qual cooler acionar para acelerar ou frear, no momento necessário. Com a finalidade de demonstração da viabilidade conceitual do Aurora, a cápsula se move de uma ponta a outra do tubo, comprovando, nessa miniatura, a harmonia do conjunto levitação e propulsão para o transporte.



figura 9. Corte transversal da cápsula em miniatura.



Quanto ao módulo protótipo, é predominantemente de embalagem descartável de poliestireno expandido (EPS), na figura 7 as linhas em cinza escuro são uma bandeja de isopor, apenas com um furo central para a colocação de um motor de drone com hélice, o qual bombeará ar para esta cavidade interna, até que ele escape e forme uma zona de alta pressão nos círculos em vermelho na figura - que é a efetiva área de contato da cápsula com a superfície - suficiente pra levitar a cápsula por milímetros, mas sendo eficiente para redução do atrito. Já a parte em cinza claro é feita com o mesmo EPS de embalagem descartável, esse por sua vez tem função similar a uma vela em um barco a vela.



figura 10. Miniatura da cápsula.



figura 11. Maquete.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Além de toda proposta aqui desenvolvida, este trabalho apresenta três importantes resultados, referentes a sua viabilidade imediata, um dos focos do projeto.

O primeiro deles tange à exequibilidade atual tecnológica do projeto já que, se analisados, todos os sistemas do Aurora são herdados de outros setores, como o sistema de propulsão dos túneis de vento, sistemas de suporte à vida da aviação e levitação do setor naval. Este é um aspecto relevante, pois significa que não há muitos empecilhos para sua construção, hoje, um fator determinante na luta contra a corrida do aquecimento global.

O segundo comprova a teoria de conceito e métodos do Aurora. A operacionalidade de seu protótipo de viabilidade comprova a harmonia desses sistemas em prol do transporte.

O outro importante resultado se refere ao modelo matemático aqui elaborado, que estimam sua performance teórica em escala real, já que em miniatura os conceitos se provaram funcionais. Aplicando esse modelo matemático para um Aurora de 3m de diâmetro e pesando 4 toneladas (peso estimado considerando uma cápsula cheia de 1200kg, com 32 passageiros de 80kg+5 kg de bagagem), para uma corrente de ar de 154m/s. O resultado foi de que a cápsula em tais condições possuiria uma velocidade de cruzeiro de 93 m/s ou 334 km/h. Velocidade essa totalmente aceitável para qualquer tipo de locomoção terrestre hoje em dia.

Foi usada como base dos cálculos a velocidade do vento no túnel de vento



NFAC da NASA e Força Aérea dos Estados Unidos, desconsiderando que a área desse túnel é em torno de 43x maior que o tubo de 3m considerado nessa simulação. Isso significa que com os mesmos motores, se considerasse a eventual compressão e ganho de velocidade do ar para as dimensões do Aurora, essas velocidades poderiam ser muito maiores.

Seguindo esse modelo matemático, a velocidade máxima e ideal de cruzeiro – já que seria nela em que haveria maior eficiência – do Aurora, com essas especificações, seria de 254m/s, pois é nesse ponto que o eixo X (velocidade do vento) passa o eixo Y (velocidade da cápsula). Visto que, se a velocidade da capsula for maior que a do vento, não haverá força pneumática contínua sobre a parte traseira da cápsula, causando grandes oscilações.

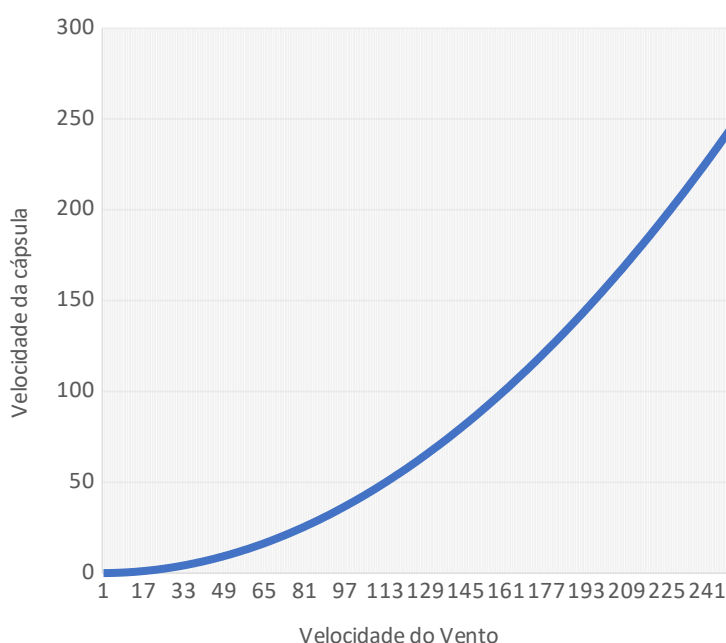


gráfico 1.  
Velocidades do  
vento x cápsula.

A fim de exemplificar a conveniência, será feita uma simulação entre a rota Rio de Janeiro-RJ ⇌ São Paulo-SP. Hoje, há dois principais meios de transporte de passageiros entre estas que são as duas cidades mais populosas do Brasil: o aéreo e rodoviário. Sendo essa rota aérea a mais movimentada das américas, e a rodoviária a mais agitada do país.

Há um antigo projeto federal para a instalação de um TAV (trem de alta velocidade) neste percurso, no entanto, ainda assim a velocidade máxima estimada para o Aurora é cerca de 2,6 vezes superior que a estimada para o TAV. Além de que, numa análise superficial, aquele parece ser mais seguro e fácil de construir que este, sem falar que a tecnologia para o TAV teria de ser quase que em sua totalidade importada, já para o



Aurora não. Há empresas nacionais que possuem toda a tecnologia para a produção das peças necessárias, como a WEG S.A. para a fabricação dos motores, EMBRAER S.A. para a cápsula e a vasta indústria siderúrgica nacional para o tubo.

Nas condições já citadas, o Aurora faria esse trajeto de aproximadamente 380km em pouco mais de 1,3 horas usando os motores do NFAC, mas se considerar a velocidade de cruzeiro ideal do Aurora esse percurso seria feito em 25 minutos, independente das condições climáticas, e com zero emissão de carbono, consumindo apenas energia elétrica – uma das mais baratas.

Ademais, considerando toda a seção Segurança, o Aurora tem de tudo para ser o melhor modal de transporte nesse quesito. Juntando a segurança operacional da aviação em um transporte terrestre.

## CONCLUSÕES

No constante processo de globalização haverá cada vez mais a necessidade de transportes de circulação de produtos, mercadorias, serviços e pessoas. Sobretudo esse setor possui um padrão energético baseado fundamentalmente em petróleo, se tratando de um dos setores mais poluentes da atmosfera, e considerando que, nesta era, em que mudanças são necessárias imediatamente, é ainda mais aparente a situação de insustentabilidade do sistema atual.

Portanto este é um importante setor para pesquisa e desenvolvimento de novos meios. E como analisado neste artigo, as tentativas de adaptações sobre os modais já existentes, não são suficientes. Foi para solucionar estes problemas que surgiu a plataforma do Hyperloop, um modal desde o início projetado para atender as demandas do futuro, mas como visto, ainda é algo além do seu tempo.

O trabalho aqui desenvolvido, com foco em justamente proporcionar maior acessibilidade a esta tecnologia, para solucionar estes e outros problemas, parece ter alcançado os seus objetivos, já que se mostrou uma plataforma muito mais simples do que o Hyperloop original, com uso de motores elétricos relativamente mais comuns que supercondutores e motores lineares, o que torna uma fácil manutenção e implementação, resultando em um custo de operação mais barato, que por sua vez reflete em passagens e fretes mais em conta. Isso não só torna mais acessível o seu uso em muito mais rotas que o Hyperloop original seria viável, mas também faz do conceito 'Hyperloop' viável com a tecnologia de hoje, que já é amplamente usada.

Através dele se cria o potencial de construir um sistema tão poderoso quanto um Hyperloop tradicional e, assim, mitigar abruptamente as



mudanças climáticas logo em um dos atores mais poluentes; além de prover um transporte mais rápido e barato para um desenvolvimento global mais sustentável.

Dessarte, o Aurora também se mostra uma ótima ferramenta para auxiliar países a atingirem suas metas no Acordo de Paris investindo em um setor estratégico e colaborando com 2 dos 17 objetivos globais de desenvolvimento sustentável (ODS) da Resolução 70/1 das Nações Unidas. Mais especificamente o ODS 9 que objetiva investimentos em infraestrutura e em inovação essenciais para o desenvolvimento e a garantia de igualdade de acesso à essas tecnologias – o Aurora simplifica e populariza a tecnologia Hyperloop – e o ODS 13 que visa às ações contra as mudanças climáticas, desejando impedir que projeções de catástrofes, como as citadas neste trabalho, se tornem realidade.

Não foi possível realizar estimativas orçamentárias, pois podem variar muito com as dimensões da rota. O Aurora utiliza, em grande parte, matéria prima industrial, cujos valores são negociados em contratos fechados entre empresas. O autor desse trabalho chegou a enviar pedidos orçamentários para fornecedores, mas não obteve respostas. E as próximas etapas do projeto devem focar-se nisso, buscando parcerias para a realização de estudos mais profundos com relação à engenharia de materiais e aspectos financeiros.

Mesmo com todas essas adaptações o Aurora não deixa de ser um Hyperloop, o Hyperloop Aurora. Ele cria uma direção nova para a tecnologia, o que proporciona um universo de estudos. Em síntese, este trabalho apresenta os moldes de uma solução concreta para problemas atuais. Há muitos detalhes que tiveram de ser ocultados por limitação de caracteres neste artigo, mas a ideia principal, em suma, está exposta. Considere-se este artigo como um breve prefácio do Hyperloop Aurora.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOEING; RANKIN, William. **MEDA investigation process**. 2008. Disponível em: [boeing.com/commercial/aeromagazine](http://boeing.com/commercial/aeromagazine). Acesso em: 12 fev. 2021.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Brasil. **Anuário estatístico de transportes terrestres**. 2018. Brasília, 2018. 53 p. Disponível em: [gov.br/infraestrutura/pt-br/centrais-de-conteudo/suma-exec-aet-2010-2018-pdf](http://gov.br/infraestrutura/pt-br/centrais-de-conteudo/suma-exec-aet-2010-2018-pdf). Acesso em: 16 maio 2021.

BRASIL. Ministério Do Meio Ambiente. **1º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários**. 2011. Brasília, 2011.





Disponível em: [mma.gov.br](http://mma.gov.br). Acesso em: 20 jun. 2020.

COCKERELL, Christopher. The hovercraft and its place in the transport system. **Journal of the Royal Society of Arts**, 108(5052), 884-905. 1960. Disponível em: [jstor.org/stable/41368990](http://jstor.org/stable/41368990). Acesso em: 28 jul. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2020: Ano base 2019**. EPE – Rio de Janeiro: EPE, 2008

FILIPPONE, Antonio. **Aerodynamic database: Drag Coefficients**. 2004. Disponível em: [aerodyn.org/Drag/tables.html](http://aerodyn.org/Drag/tables.html). Acesso por meio de [archive.org](http://archive.org) em: 2 jul. 2008.

LUNDBERG, Jan et al. Measurements of friction coefficients between rails lubricated with a friction modifier and the wheels of an IORE locomotive during real working conditions. **Wear**, v. 324, p. 109-117, 2015.

MUSK, Elon et al. **Hyperloop alpha**. 2013. Disponível em: [spacex.com/sites/spacex/files/hyperloop\\_alpha.pdf](http://spacex.com/sites/spacex/files/hyperloop_alpha.pdf). Acesso em: 13 jun. 2020.

NASA (EUA). **25 Years with the Largest Wind Tunnel in the World**. NASA, 2012. Disponível em: [nasa.gov](http://nasa.gov). Acesso em: 30 jul. 2020

NASCIMENTO, Joel H.S.. **Estudos dos processos físicos envolvidos nos motores que utilizam como combustível álcool e gasolina (ciclo otto)**. 2008. TCC – Curso de Física, UCB, Brasília, 2008.

NOTZ, Dirk; STROEVE, Julianne. Observed Arctic sea-ice loss directly follows anthropogenic CO<sub>2</sub> emission. **Science**, [S.L.], v. 354, n. 6313, p. 747-750, 3 nov. 2016. American Association for the Advancement of Science (AAAS). [dx.doi.org/10.1126/science.aag2345](https://doi.org/10.1126/science.aag2345).

SPRATT, David; DUNLOP, Ian. Existential climate-related security risk: A scenario approach. **Austrália: National Centre for Climate Restoration**, 2019. Disponível em: [researchgate.net](http://researchgate.net). Acesso em: 07 jul. 2020.

USAF (EUA). **NFAC**. Disponível em: [arnold.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/409302/national-full-scale-aerodynamics-complex/](http://arnold.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/409302/national-full-scale-aerodynamics-complex/). Acesso em: 20 jul. 2020.

VOLOCOPTER (Bruschal). Volocopter **WhitePaper**. Disponível em: [press.volocopter.com/images/pdf/Volocopter-WhitePaper-1-0.pdf](http://press.volocopter.com/images/pdf/Volocopter-WhitePaper-1-0.pdf). Acesso em: 21 jan. 2021.



#### GABRIEL SOUZA DA PAZ

Gabriel Souza da Paz é estudante do ensino médio na Escola Santa Mônica em Pelotas/RS. Participou de diversos projetos voltados para a iniciação científica e foi estudante finalista da 19ª Feira Brasileira de Ciências e Engenharia (FEBRACE) dentre outras amostras científicas nacionais com o projeto de engenharia Hyperloop Aurora. Ao longo do projeto descobriu sua paixão por engenharias, em especial a aeroespacial, curso que agora deseja cursar como formação.

#### TIAGO AZEVEDO BRAGA

Possui Graduação em Licenciatura em Física pela Universidade Federal de Pelotas (2016), e Mestrado em Física pela Universidade Federal de Pelotas (2019). Tem experiência na área de Física, onde atuou nas áreas de Ensino de Física com o projeto PIBID (2009/1 a 2010/2). De (2011/2 a 2012/1) foi bolsista da PROBIC na área de Física Estatística de Simulações de Sistemas Complexos. Nos anos de 2012/2 a 2013/1, foi bolsista da FAPERGS do grupo de Supercondutividade e Magnetismo. Atualmente é professor de ensino fundamental, médio, pré-vestibular e curso técnico na área de radiologia.

#### SUZANE ROSA RIBEIRO

Possui graduação em Letras - Português e Literatura Portuguesa - pela Universidade Federal de Pelotas (2010). Tem experiência em docência no estudo da Língua Portuguesa, sob a abordagem sociolinguística interacional, de Erving Goffman. Tem interesse na área de Análise do Discurso, com ênfase na escola francesa, de Michel Pêcheux ; na área da Semiótica, de Ferdinand de Saussure e também na análise intertextual, de Mikhail Bakhtin. Atualmente, é professora da Escola de Ensino Fundamental e Médio Santa Mônica.

submetido  
31.07.2020

reapresentado  
29.05.2021

aprovado  
30.06.2021

**Contribuição de autoria.** Gabriel Souza da Paz participou da elaboração do projeto, da investigação de dados, da concepção de sistemas, do levantamento bibliográfico e da redação do artigo. Tiago Azevedo Braga e Suzane Rosa Ribeiro orientaram em todas as etapas e participaram da revisão final do artigo.

**Licença de uso.** Este artigo está licenciado sob a Licença Creative Commons CC-BY. Com essa licença você pode compartilhar, adaptar, criar para qualquer fim, desde que atribua a autoria da obra.