

AVALIAÇÃO ERGONÔMICA PARA PROJETO CONCEITUAL DE CADEIRA DE RODAS PARA TRILHAS

Data de aceite: 01/04/2024

Stefano Oliveira Vieira Monaco

UnB – Gama, Brasília-DF

Douglas Evaristo de Sousa

UnB – Gama, Brasília-DF

Mateus R. Miranda

UnB – Gama, Brasília-DF

RESUMO: Este artigo tem como objetivo a descrição do projeto de uma cadeira de rodas para trilhas com foco ergonômico e de baixo custo. A motivação surgiu fundada na necessidade de integração de pessoas com deficiência motora (PcD) impelidas ao uso de tecnologias assistivas (TA) na natureza, dado os benefícios que essa tem para a saúde física e mental. Essa motivação apontou em virtude de familiares de um dos autores utilizarem desses meios à conta de uma doença rara e degenerativa (ataxia-espinocerebelar tipo 3). A partir de um estudo do desenvolvimento da cadeira de rodas, fatores pertinentes ao desenvolvimento do projeto ergonômico, soluções existentes para o problema versado e questionário com o público-alvo, as alternativas para resolução do problema foram levantadas. Em seguida, foi realizado

uma análise ergonômica da cadeira de rodas para percentis definidos (P5 e P95), obtendo validações congruentes. Finaliza-se com a realização do projeto executivo. Define-se, então, a configuração final como uma cadeira de rodas de estrutura desmontável com sistemas rígidos, conjunto de suspensão, roda central, apoios para os pés, braços, cabeça e braços de suporte, frontais e traseiros para os carregadores e estáticos para sustentação quando em repouso.

PALAVRAS-CHAVE: Cadeira de rodas; Trilhas; Ergonomia.

INTRODUÇÃO

Mais de um bilhão de pessoas em todo o mundo convivem com algum tipo de deficiência, ou seja, 15% da população mundial, dentre os quais cerca de 200 milhões experimentam dificuldades funcionais consideráveis (ORGANIZATION et al., 2012). Dentre esse grupo um terço das pessoas que necessitam de uma cadeira de rodas no mundo não tem acesso a uma (dos 65 milhões de pessoas com deficiência motora, 20 milhões não tem acesso). Projeta-se, ainda, que apenas

uma minoria das pessoas tem acesso a uma cadeira apropriada, ou seja, que atende às necessidades do usuário e do ambiente, proporciona ajuste e suporte postural adequados e é segura e durável (OMS, 2008). No caso de cadeira de rodas voltada para terrenos específicos (terrenos não pavimentados) o quadro é muito mais crítico, sendo este um item inatingível para a maioria dos PcDs.

O uso de tecnologias assistivas (como cadeiras de rodas) como potencializador das desigualdades sociais é necessário, já que uma das maiores dificuldades para oferecer alternativas de acessibilidade com grau de conforto, segurança e eficiência a esses indivíduos é o custo do produto. Sendo esse o fator mais relevante se tratando da dificuldade de acesso a esse bem (CARRIEL, 2007).

Embora seja um risco à saúde, o uso desses artefatos é uma alternativa que favorece a integração social e permite, parcialmente, que pessoas com necessidades assistivas sejam beneficiadas. Ainda que sejam poucos e muitas vezes inacessíveis a população em geral.

Diante dos fatos acima e pela motivação de melhorar a vida dos usuários de cadeira de rodas, tem-se como objetivo principal desse trabalho, projetar uma cadeira de rodas para trilhas com foco ergonômico e de baixo custo, realizando análises ergonômicas para uma correta postura e conforto do PcD e dos carregadores. Como resultado, espera-se a inclusão de pessoas com deficiência (PcD) em atividades em que não há vias pavimentadas.

A maioria dos modelos existentes são fabricados fora do país, dificultando mais ainda a acessibilidade do produto aos mais diversos públicos, já que impostos de importação, diferença cambial e taxas de frete medram os custos, tornando esses produtos inacessíveis. Por ser um produto de cunho social, os mais diversos usuários deveriam ter acesso, não uma ínfima quantidade deles.

Seguiu-se uma metodologia de projeto para desenvolver o trabalho, começando com um projeto conceitual de forma a determinar os requisitos necessários para sua viabilidade, a pesquisa foi do tipo exploratório, buscando aprimorar o conhecimento sobre a área, foram feitas consultas bibliográficas em livros, artigos científicos e publicações recentes, com autores que fizeram pesquisa sobre o assunto.

Foi realizado um *benchmarking* verificando algumas opções que existem no mercado brasileiro e exterior e as limitações atreladas, buscando analisar e identificar as melhores opções dentre as abordadas, seguindo com o estudo com o público-alvo, por meio de questionário online, posterior o brainstorm. Sendo também, realizado um estudo ergonômico com foco em biomecânica e antropometria, bem como uma análise das forças atuantes no sistema, para um posterior dimensionamento da estrutura.

Seguindo-se, é realizado o projeto intermediário, onde foi feito a seleção de percentis, o dimensionamento estático da estrutura com base na norma ABNT NBR ISSO 7176:8 (ABNT, 2009) e análises ergonômicas empreendidas no PcD e carregadores, nessa etapa todos os conjuntos e componentes foram dimensionados e concebidos via modelagem 3D utilizando o software Catia. Com todos os itens validados seguiu-se para o projeto executivo onde foi confeccionado os desenhos técnicos de todos os componentes e conjuntos bem como a lista de materiais (Bill of Material - BOM) e a precificação de cada componente.

DESENVOLVIMENTO

Estudo dos Usuários

Uma fonte importante de dados são o público-alvo (potenciais usuários), logo foi idealizado um questionário online visando obter a opinião desses acerca de diferentes aspectos que podem ser levantados especialmente pelos PcDs.

Nesse trabalho foram coletadas respostas de 25 voluntários e de maneira geral 64% dos indivíduos participantes não se sentem confortável em utilizar uma cadeira de rodas convencional, do total, 80% sentem dores por utilizá-la, sendo as costas (44%), a lombar (24%) os principais lugares. O aumento de conforto é a principal modificação proposta pelos usuários. Dado que é confirmado já que (44%) acreditam que o conforto é o aspecto mais importante numa cadeira de rodas.

Dentre os indivíduos participantes 100% gostam de estar em contato com a natureza, e 92% acreditam que esse contato traga benefícios tanto na saúde física quanto mental. Mais da metade dos usuários 56% nunca fizeram um passeio pela natureza utilizando sua cadeira de rodas devido as limitações existentes, o restante 44% dos usuários já fizeram utilizando uma cadeira de rodas convencional, dos quais 40% relataram sua experiência como tendo difícil mobilidade e 28% difícil acesso. Do total, 96% gostariam de fazer mais atividades ao ar livre (trilhas, passeios).

Depois de visualizarem um modelo preliminar da cadeira, foi questionado o que acreditam de uma cadeira de rodas para esse tipo de uso, sendo que 80% acreditam ser uma ótima ideia. Confirmado quando questionado se teriam interesse em adquirir, onde 84% teriam e 16% talvez. Importante questão é sobre o valor apropriado para esse tipo de produto, 28% acreditam que até R\$5.000,00 é válido para este tipo de produto, 32% até R\$7.000,00, 36% até R\$10.000,00 e 4% até R\$15.000,00.

Em relação aos carregadores, 36% dos indivíduos participantes teriam alguma dificuldade de encontrar 2 carregadores, caso precisassem de apenas 1, 80% teriam mais facilidade de encontrar. Questionado a respeito dos carregadores, 24% dos indivíduos participantes acreditam ser muito tranquilo de ajudarem e 56% tranquilo.

Em relação aos aspectos que os usuários mais levariam em questão na hora da compra a relação custo/benéfico e segurança foram mais votados com 76%, seguido da facilidade de transporte da cadeira com 72%, quantidade de apoios e possibilidade de ajustes ergonômicos com 64%. Dados confirmados quando questionado o que o produto não poderia deixar de ter, com 32% para resistência e acessibilidade, 28% para conforto e ser desmontável, 24% para versatilidade e ajustes ergonômicos.

Sintetizando a análise do questionário, verificamos uma deficiência de conforto no encosto, limitações existentes nas cadeiras de rodas convencional quando usadas para trilhas (difícil mobilidade e acesso). A principal modificação proposta pelos usuários para uma cadeira convencional é o aumento de conforto. Sendo de extrema importância os

aspectos custo/benéfico, segurança, facilidade de transporte da cadeira, quantidade de apoios e possibilidade de ajustes ergonômicos. Uma cadeira de rodas que incorpora todos esses fatores deve ter valor apropriado de até R\$10.000,00.

Conceito do Produto

O conceito do produto foi realizado seguindo os resultados do *benchmarking*, *brainstorm*, pelas Diretrizes sobre o Fornecimento de Cadeiras de Rodas Manuais em Locais com Poucos Recursos publicado pela OMS em 2008 e distribuído pela Secretaria de Estado dos Direitos da Pessoa com Deficiência de São Paulo (OMS, 2008) e pelas normas ABNT NBR ISO 7176:5 - Determinação das dimensões, massa e espaço para manobra (ABNT, 2008a), ABNT NBR ISO 7176:7 - Medição de dimensões de assentos e rodas (ABNT, 2008b) e ABNT NBR ISO 7176:8 - Requisitos e métodos de ensaio para a força estática, de impacto e fadiga (ABNT, 2009).

Usando as medidas antropométricas para a população brasileira adquiridas a partir de um levantamento realizado pela ANAC com parceria com a UERJ em 2009 onde foi obtido um perfil antropométrico para a população brasileira (ANAC, 2009), podemos decidir o intervalo de percentis, e com esses estimar as dimensões máximas e mínimas para o assento do nosso produto, depois definir as demais dimensões.

As principais medidas antropométricas a serem levadas em consideração são: altura tronco-cefálica, altura poplíteia, comprimento glúteo-joelho e largura do quadril. Para o intervalo de percentis escolhido (P5 - P95), as dimensões são apresentadas na tabela 1.

Principais medidas antropométricas		
Medidas	Percentil	
	P5	P95
Altura tronco-cefálica (mm)	843	975
Altura poplíteia (mm)	407	493
Comprimento glúteo-joelho (mm)	546	669
Largura do quadril (mm)	329	446

Tabela 1 – Principais medidas antropométricas

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Com o intervalo de percentil definido, logo temos as medidas máximas e mínimas, e com elas podem os iniciar o design, planejando um produto que possa atender a estas especificações. O principal item, logo o primeiro a ser pensado, foi o assento, pois suporta todo o peso do PcD na direção vertical, deve ter tamanho suficiente para o intervalo de percentis e ergonomicamente pensado de maneira a evitar dores nos membros inferiores (quadril e coxas), assim toda a estrutura do assento bem como o próprio encosto são projetados levando esses aspectos em consideração.

Seguindo foi planejado o encosto de dorsal, importante item pois suporta a força peso na direção horizontal, também deve ter tamanho suficiente para o intervalo de percentis e para isso possui ajuste de profundidade, foi ergonomicamente pensado de maneira a evitar dores no tronco, o projeto da estrutura do encosto e o encosto em si seguem a mesma noção do projeto do assento.

O apoio de cabeça foi o próximo item elaborado, importante pois suporta a força peso da cabeça na direção horizontal, para atender o intervalo de percentis possui ajustes de altura e profundidade. O encosto foi ergonomicamente pensado de maneira a evitar dores na cabeça.

Prosseguindo foi planejado o apoio dos pés, muito importante, dado que suporta o peso dos membros inferiores (pernas e pés) na direção vertical. Para atender o intervalo de percentis possui ajustes de altura.

O apoio dos braços foi o seguinte item a ser planejado, importante já que suporta o peso dos membros superiores (braços, antebraços, ombro e mãos) na direção vertical. Para atender o intervalo de percentis possui ajustes de altura.

Depois de toda a estrutura voltada ao PcD planejada, partiu-se para o projeto do conjunto de suspensão, utilizou-se o modelo suspensão independente com braços articulados, sendo um rígido e outro amortecido com um amortecedor de *Bike ATV*. Pensando nos carregadores de maneira a atender o intervalo de percentis os braços da suspensão podem ser presos por parafusos em diferentes localizações, garantindo uma variação de altura da cadeira. Os braços têm dimensões para comportar uma roda aro 14 e pneu 90/100, que goza de um índice de carga superior ao necessário acrescido do fator de segurança.

Os últimos itens projetados foram os braços de suporte dianteiro, traseiro e de apoio estático. O braço de suporte dianteiro foi desenvolvido de maneira que possibilite a utilização da cadeira bastando um carregador, esse possui ajustes de inclinação e altura, de maneira a atender o intervalo de percentis facilitando a pegada por parte do carregador. Para o braço de suporte traseiro, foi desenvolvido dois tipos de suporte possibilitando posições distintas para o carregador, um acoplado a estrutura do encosto de dorsal, na altura do tórax do carregador, o outro, hastes horizontais com alça viabilizando a pegada quando a cadeira está em alturas diferentes. O projeto conceitual preliminar pode ser visto na figura 1, abaixo.

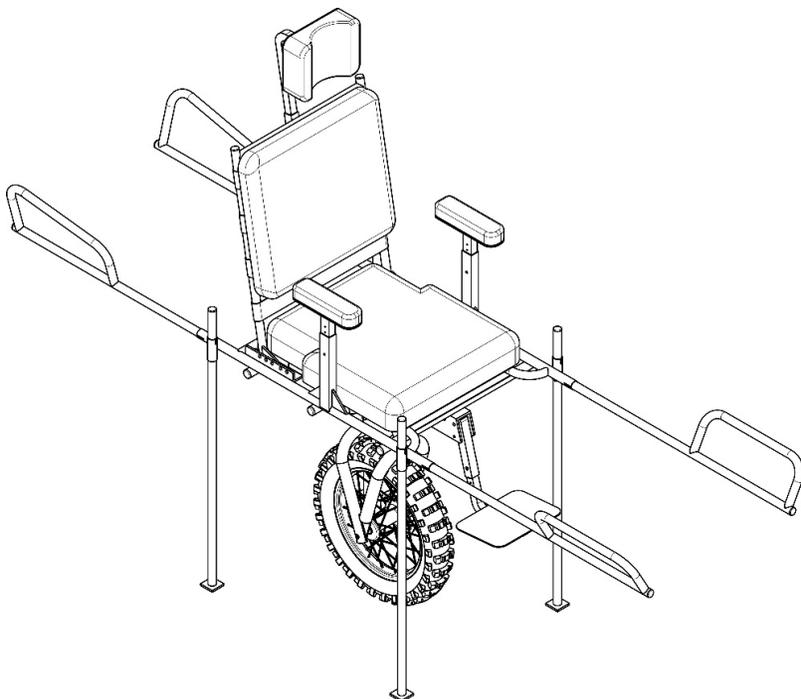


Figura 1 - Modelo preliminar da cadeira de rodas p/ trilha.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

A partir da análise do questionário com os usuários, verificou-se que 36% dos indivíduos participantes teriam alguma dificuldade de encontrar 2 carregadores, caso precisassem de apenas 1, 80% teriam mais facilidade de encontrar. Logo para atender esse público o projeto passou por atualizações no intuito de desenvolver uma cadeira que possibilitasse o uso com um só carregador.

Outras importantes validações foram retiradas do questionário, verificamos uma deficiência de conforto no encosto, limitações existentes nas cadeiras de rodas convencionais quando usadas para trilhas (difícil mobilidade e acesso). Necessidade do aumento de conforto para os PcDs e implementação de aspectos relevantes como custo/benéfico, segurança, facilidade de transporte da cadeira, quantidade de apoios e possibilidade de ajustes ergonômicos.

O modelo final pode ser visto na figura 2, abaixo.

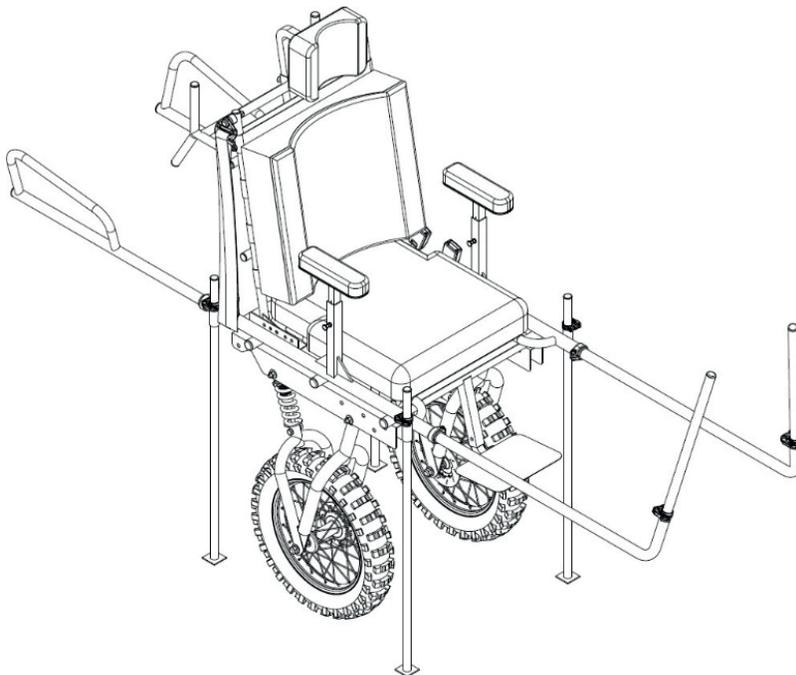


Figura 2 - Modelo final da cadeira de rodas para trilha.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

A figura 3 apresenta a cadeira de rodas para trilhas configurada para um PcD percentil 95% e para carregadores também percentil 95%. Todos os apoios foram ajustados conforme o percentil escolhido e o manequim inserido para a realização das análises ergonômicas apresentadas a seguir.



Figura 3 – Cadeira configurada para PcD e carregadores P95.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

A figura 4 apresenta a cadeira de rodas para trilhas configurada para um PcD percentil 5% e para carregadores também percentil 5%. Todos os apoios foram ajustados conforme o percentil escolhido e o manequim inserido para a realização das análises ergonômicas apresentadas no próximo tópico.



Figura 4 – Cadeira configurada para PcD e carregadores P05.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Validação Ergonômica usando o Catia V5R21

Decidir qual instrumento de avaliação ergonômica empregar depende do contexto e objetivos da avaliação realizada. Ferramentas tradicionais e autônomas como podem ser empregadas quando existem necessidades específicas a serem tratadas ou se há dúvida quanto a postura, forças e limites (DUFFY, 2008).

O Catia possui a ferramenta *Human Activity Analysis*, onde é possível realizar diversas análises ergonômicas, sendo esse software referência nesse tipo de análise. Dentre diversas ferramentas as mais apropriadas para o projeto são: *RULA Analysis*, *Push/Pull Analysis* e *Biomechanics Single Action Analysis*.

As análises foram divididas em duas partes principais, o PcD e o/os carregadores. Para as análises dos PcDs não é necessário a utilização de ferramenta complementar devido a posição do manequim e os apoios ergonômicos da cadeira, já para os carregadores é necessário simular as cargas que precisam compensar ao empurrar e segurar a cadeira, para isso é utilizado uma ferramenta que simula uma carga de direção e magnitude configuradas, é a ferramenta *Load*.

Para a função de carregar o conjunto suspensão suporta toda a carga carregada já que o centro de gravidade do manequim e da cadeira tem força peso aplicada diretamente sobre o eixo da roda, o carregador trabalha somente no controle da cadeira, não carregando peso algum, em momentos de inclinação, há uma carga que deve ser suportada pelo carregador, a partir de estimativas foi adicionado uma carga (*Load*) de 4kg.

Para a função empurrar/puxar, existe dois cenários possíveis, quando o passeio é realizado somente com um carregador e quando é realizado com dois. Para o primeiro cenário toda a força é exercida por um único carregador, respectivamente quando com dois, há uma divisão da força. Sendo assim somente as análises para o primeiro cenário (um só carregador) são necessárias já que englobam o segundo cenário.

Baseando-se em cálculos de resistência a rolagem e força de tração é possível determinar uma estimativa da força necessária para empurrar qualquer objeto com rodas partindo do estático e para mantê-lo em movimento. Para os cálculos usamos a massa do conjunto PcD/cadeira para o PcD utilizamos a massa do homem P95, por se tratar do maior peso (115,9kg), para a cadeira utilizamos a massa quando está com todos os componentes, mesmo aqueles que há a possibilidade de serem retirados (critério do PcD e carregadores), para assim encontramos as forças necessárias para o deslocamento da cadeira quando mais pesada. Utilizamos a aceleração da gravidade de $9,78 \text{ m/s}^2$, os coeficientes de atrito estático e dinâmico (μ), como esses variam de acordo com o material do objeto e da superfície, existem diversas configurações, logo diversos valores.

De maneira a encontrar a configuração mais difícil para esse conjunto foi utilizado os maiores coeficientes (μ), para borracha sobre cimento, respectivamente 1 e 0,85 (CTB, 2023), e propriedades geométricas da cadeira (altura do CG, distância entre o eixo de tração e o CG e o entre eixos do veículo). Foi encontrado os respectivos valores:

- Força para romper o atrito estático (iniciar o movimento) = 113,98N
- Força para romper o atrito dinâmico (continuar o movimento) = 48,45N

Calculando a resultante entre a força peso que o PcD suporta em alguns momentos com a força necessária para empurrar a cadeira encontramos:

Carga resultante para romper o atrito estático (iniciar o movimento) = 12,5kg com vetor da força a 21°.

Carga resultante para romper o atrito dinâmico (continuar o movimento) = 6,4kg com vetor da força a 43°.

Com as direções e magnitudes das cargas encontradas, podemos configurar a ferramenta *Load*, de acordo. Na figura 5 pode-se ver a ferramenta configurada com a carga necessária para romper o atrito estático e o atrito dinâmico respectivamente.

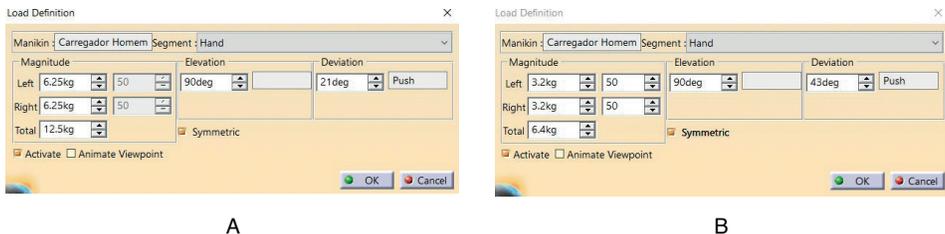


Figura 5 – *Load* configurada com carga para romper o atrito estático (A) e dinâmico (B).

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Pull/Push

A ferramenta *Push/Pull Analysis* consegue analisar e indicar a força segura para “empurrar/puxar” comparando os resultados com dados reais obtidos por (SNOOK; CIRIELLO, 1991). Na opção *Human Activity Analysis* há diferentes parâmetros a ser configurado, são eles:

- *Guideline* que se refere a diretriz para realizar a análise. Nesta análise, apenas uma está disponível sendo a (SNOOK; CIRIELLO, 1991.);
- *1 push every*, relacionado à frequência de movimento que o corpo irá exercer;
- *Distance of push* refere-se a distância do empurrar realizada dentro do período de tempo setado;
- *Distance of pull* refere-se a distância do puxar realizada dentro do período de tempo setado;
- *Population sample* refere-se aos percentis populacionais fornecidos: 90%, 75% e 50%. Esses representam a porcentagem da população capaz de realizar a tarefa com segurança. O percentil selecionado leva em consideração o sexo do manequim.

Imediatamente após o preenchimento dos campos de especificação, a ferramenta gera um diagrama indicando resultados divididos em *Maximum acceptable initial force* que expressa a força máxima necessária do carregador para colocar o objeto em movimento e *Maximum acceptable sustained force* para manter o objeto em movimento.

As forças iniciais são necessárias para iniciar o movimento do objeto. À medida que o objeto começa a se mover, essas forças diminuirão para um nível relativamente constante (forças sustentadas), vide figura 6.

Esta ferramenta de análise ergonômica também pode quantificar o nível de conforto da postura de trabalho enquanto os trabalhadores executam suas tarefas usando o *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)* (HASHIM et al., 2014).

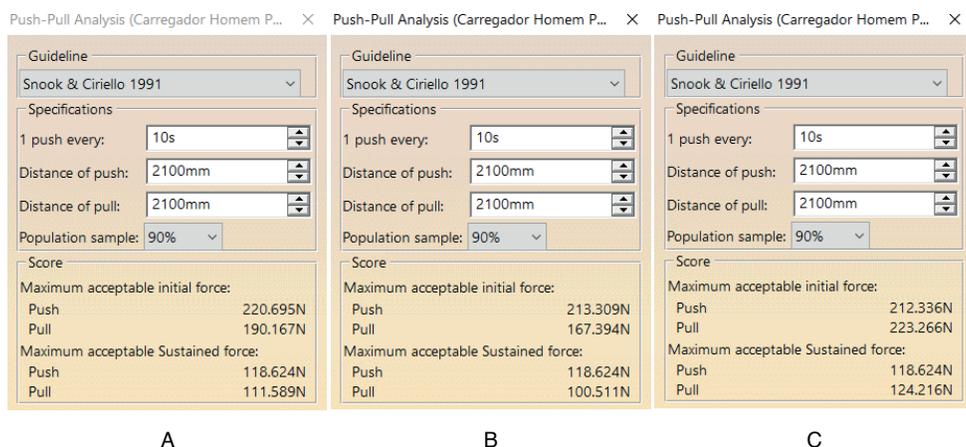


Figura 6 - Análise *Push/Pull* do carregador homem P95 para cadeira configurada ao seu percentil, diferentes configurações. (A) - Carregador dianteiro (pe gada neutra), (B) - Carregador traseiro (pe gada supinada) e (C) - Carregador traseiro (braço de suporte).

Fonte: Elaboração própria, 2023

Na figura 7 é possível observar os resultados *Maximum acceptable initial force* que expressa a força máxima necessária do carregador para colocar o objeto em movimento e *Maximum acceptable sustained force* para manter o objeto em movimento, para um carregador homem P95 com cadeira configurada ao seu percentil com diferentes configurações do carregador dianteiro (pegada neutra) e do traseiro (pegada supinada e pegada neutra no braço de suporte (opcional)) respectivamente as figuras 4(A), 4(B) e 4(C). Todas as forças apresentadas na análise são superiores as forças calculadas (força para romper o atrito estático (iniciar o movimento) = 113,98N e força para romper o atrito dinâmico (continuar o movimento) = 48,45N) na casa de 90%, significando que o carregador P95 pode facilmente utilizar a cadeira.

Na figura 7 é possível observar os mesmos resultados para uma carregadora mulher P5 com cadeira configurada ao seu percentil, com diferentes configurações da carregadora dianteira (pegada neutra) e da traseira (pegada supinada, pegada neutra e pegada neutra no braço de suporte (opcional)) respectivamente as figuras 5(A), 5(B), 5(C), e 5(D). Todas as forças apresentadas na análise também são superiores as forças calculadas (força para romper o atrito estático (iniciar o movimento) = 113,98N e força para romper o atrito dinâmico (continuar o movimento) = 48,45N) na casa de 20%, significando que o carregador P95 pode facilmente utilizar a cadeira.

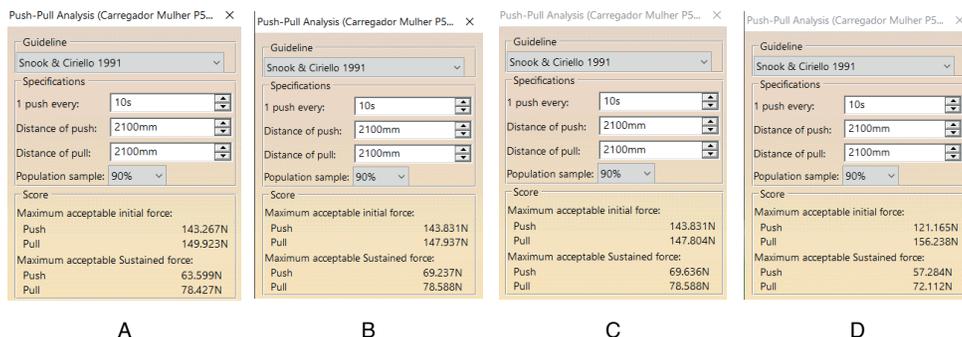


Figura 7 - Análise *Push/Pull* do carregador homem P95 para cadeira configurada ao seu percentil, diferentes configurações. (A) - Carregadora dianteira (pe gada neutra), (B) - Carregadora traseira (pe gada supinada), (C) - Carregadora traseira (pegada neutra) e (D) Carregadora traseira (braço de suporte).

Fonte: Elaboração própria, 2023.

RULA – Rapid Upper Limb Assessment

A ferramenta RULA Analysis consegue analisar e indicar o nível risco musculo esquelético de cada membro do corpo do manequim na posição em que ele foi inserido. Na opção *Human Activity Analysis* há diferentes parâmetros a ser configurado, são eles:

- Side que se refere ao lado do manequim analisado (*left e right*, esquerda e direita respectivamente);
- *Posture*, relacionado à frequência de movimento que o corpo irá exercer, sendo elas *Static* (estática), *Intermittent* (intermitente) e *Repeated* (repetitivo);
- A opção *Arm supported/Person leaning* dita se o manequim está com os braços apoiados ou o manequim está inclinado;
- A opção *Arms are working across midline* dita se o manequim está trabalhando com os braços acima da linha média;
- A opção *Check balance* pode ser marcada para verificar o equilíbrio do manequim;
- A opção *Load* indica o carregamento que o manequim está suportando.

Depois de todos os parâmetros configurados a ferramenta gera um diagrama indicando pontuações que permitem a avaliação da exposição aos fatores de risco (número de 1 a 6 e quadrado colorido de verde a vermelho).

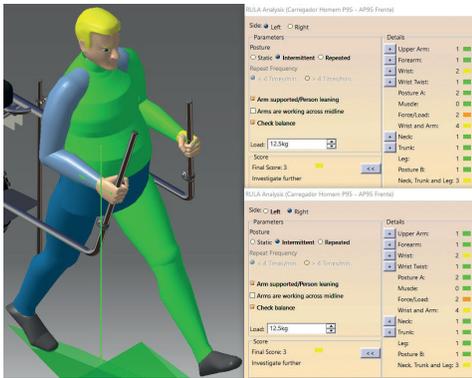
Para os manequins PcDs, tanto o homem com percentil 95% e a mulher com percentil 5% os parâmetros foram configurados para uma frequência de movimento estática, dado que os PcDs se encontram sentados e se movimentam muito pouco. A opção *Arm supported/Person leaning* foi marcada em função do manequim poder apoiar o antebraço no apoio de braço e como este possui ajuste de altura, atende aos dois percentis (P95 e P5) analisados. Vide figura 8 (A e B).



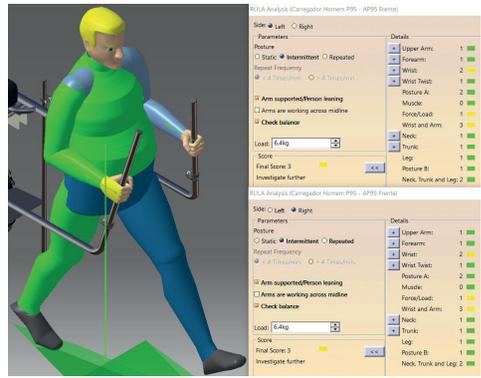
Figura 8 – Análise RULA dos PcDs P95 masculino (A) e mulher P5 (B).

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Para os manequins carregadores, tanto o homem com percentil 95% e a mulher com percentil 5% os parâmetros foram configurados para uma frequência de movimento intermitente, dado que os PcDs se movimentam (deambulação). A opção *check balance* foi marcada verificando assim a participação do equilíbrio do manequim na análise postural. Devido as cargas para segurar e empurrar a cadeira, previamente calculadas, na opção *Load* foi aplicado um carregamento adicional de 12,5kg para romper o atrito estático (iniciar o movimento) e de 6,4kg para romper o atrito dinâmico (continuar o movimento), similares as cargas configuradas na ferramenta *Load*. Vide figuras 9 e 10.



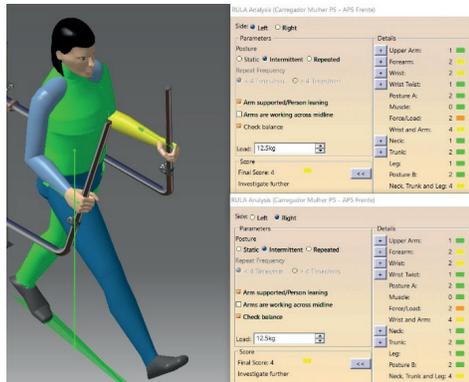
(A) Relacionada ao atrito estático



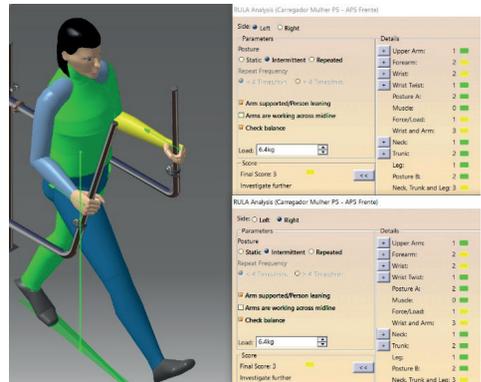
(B) Relacionada ao atrito dinâmico

Figura 9 – Análise RULA do carregador homem P95 para cadeira configurada ao seu percentil.

Fonte: Elaboração própria, 2023.



(A) Relacionada ao atrito estático

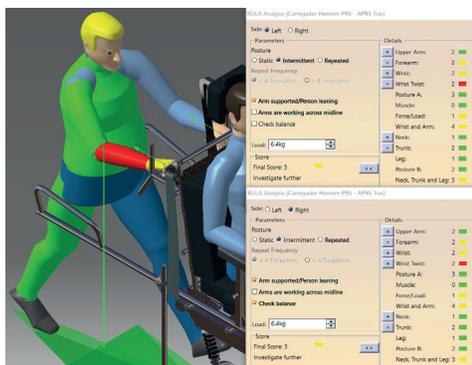


(B) Relacionada ao atrito dinâmico

Figura 10 – Análise RULA da carregadora mulher P5 para cadeira configurada ao seu percentil.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

De forma a deixar o carregador traseiro mais confortável, foi desenvolvido dois tipos de braço de suporte, um acoplado a estrutura do encosto de dorsal, na altura do tórax dos manequins, esse facilita o ato de empurrar, as outras hastes similares aos braços de suporte dianteiro.



(A)



(B)

Figura 11 – Análise RULA dos carregadores traseiros para cadeira configurada ao seu percentil. (A) para Percentil 95 masculino e (B) para Percentil feminino.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Nota-se que nas quatro análises acima, Figura 11, a postura tem pontuação final 4 em ambos os lados (*left e right*) e requer uma investigação (*Investigate Further*), um fator comum em todas as análises é a torção de pulso (*Wrist Twist*). Para corrigir, o braço de suporte traseiro possui braços laterais onde o manequim pode fazer uma pegada neutra diminuindo assim a torção do pulso, o que pode ser visto na figura 12.

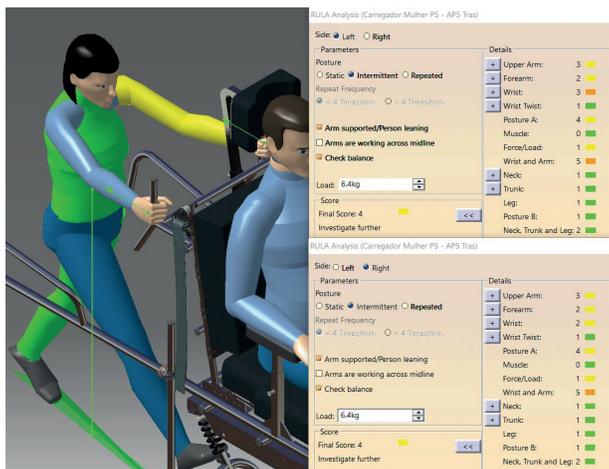


Figura 12 – Análise RULA da carregadora mulher P5 para cadeira configurada ao seu percentil utilizando pegada neutra.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

As análises a seguir tratam dos manequins utilizando a segunda opção de braço de suporte traseiro. Vide figura 13 a 16.

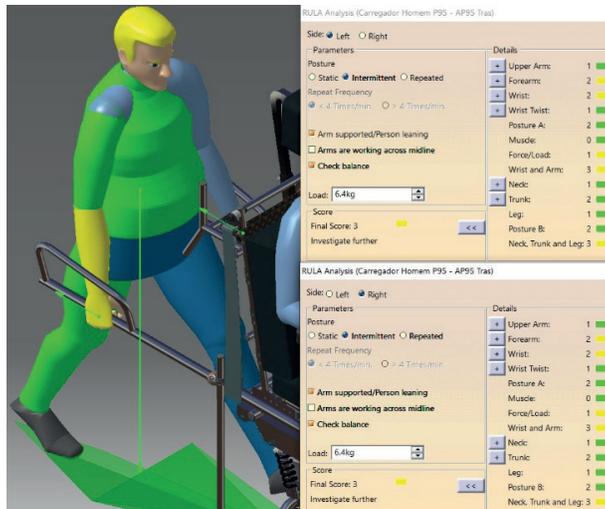


Figura 13 – Análise RULA do carregador homem P95 utilizando o braço de suporte da cadeira configurada ao seu percentil.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

A figura 13 apresenta o ensaio de um carregador homem de percentil 95% utilizando o braço de suporte da cadeira configurada ao seu percentil. O manequim está em postura que requer uma investigação (*Investigate further*) com pontuação final 3 em ambos os lados (*left* e *right*), isso devido a pontuação de cada membro variar entre 0 e 3, sendo a torção de pulso (*Wrist Twist*), pescoço, tronco e pernas (*Neck, Trunk and Leg*) os principais agravantes.

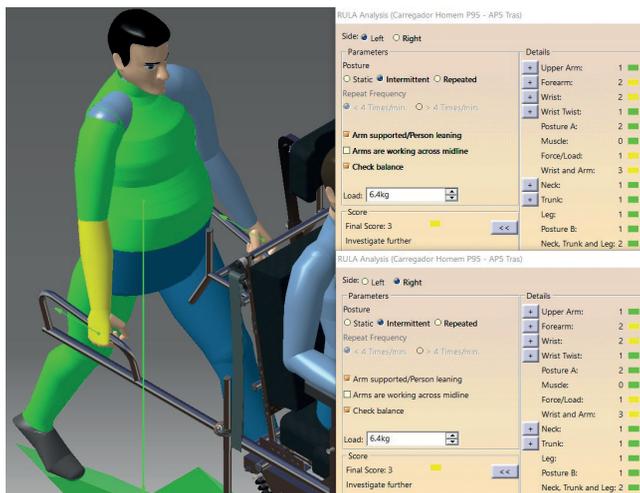


Figura 14 – Análise RULA do carregador homem P95 utilizando o braço de suporte da cadeira configurada para o percentil P5.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Para a configuração do manequim P95 usando o suporte para P5, vide figura 14, nota-se que as diferenças de altura da cadeira não impõem variação negativa da postura do manequim, isso se dá ao formato do braço de suporte traseiro, que possui uma alça facilitando a pegada do carregador sem que se curve, mantendo a postura ereta, ombros recolhidos e flexão aceitável do braço, antebraço e punho, configurando uma postura correta e confortável.

A figura 15 apresenta o ensaio de uma carregadora mulher de percentil 5% utilizando o braço de suporte da cadeira configurada ao seu percentil. A manequim está em postura que requer uma investigação (*Investigate further*) com pontuação final 3 em ambos os lados (*left* e *right*), isso devido a pontuação de cada membro variar entre 0 e 3, sendo a torção de pulso (*Wrist Twist*), pescoço, tronco e pernas (*Neck, Trunk and Leg*) os principais agravantes.

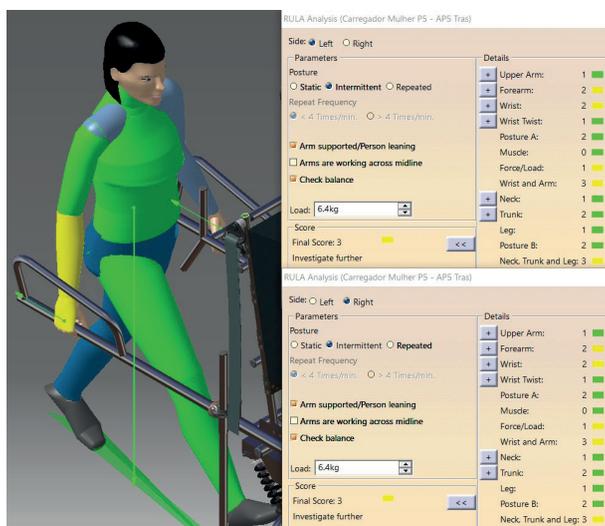


Figura 15 – Análise RULA da carregadora mulher P5 utilizando o braço de suporte da cadeira configurada ao seu percentil.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Já a figura 16 apresenta o ensaio de uma carregadora mulher de percentil 5% utilizando o braço de suporte da cadeira configurada para o percentil 95%. A manequim está em postura que requer uma investigação (*Investigate further*) com pontuação final 4 em ambos os lados (*left* e *right*), isso devido a pontuação de cada membro variar entre 0 e 5, sendo a torção de pulso (*Wrist Twist*), pescoço, tronco e pernas (*Neck, Trunk and Leg*) antebraço (*Forearm*) e a postura A (*Posture A*) os principais agravantes. Isso devido a necessidade da carregadora rotacionar os ombros, flexionar antebraço e punho para alcançar o braço de suporte, os membros citados possuem as pontuações mais elevadas da análise. Essas alterações mesmo que pequenas

impelem desconforto nos membros, logo permanecer muito tempo nessa posição pode machucar o carregador. A análise comprova a importância do ajuste de altura da cadeira feita para adequar diferentes percentis de carregadores.

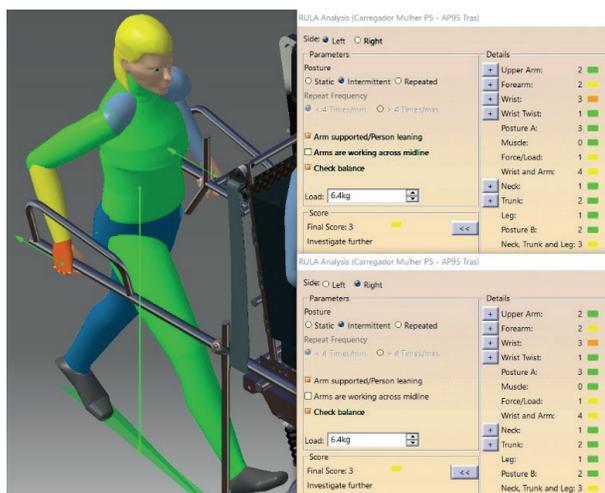


Figura 16 – Análise RULA da carregadora mulher P5 utilizando o braço de suporte da cadeira configurada para o percentil P95.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

De maneira geral a partir das análises RULA é possível verificar que os ajustes ergonômicos da cadeira tanto para os PcDs quanto para os carregadores são de suma importância e relevância, pois de nada adianta o convívio com a natureza se os usuários não estão confortáveis. Essa ferramenta se mostrou de extrema valia para a verificação desse conforto. Um passo importante em sequência nessa verificação seria a criação de um *Mockup* e a realização de testes com os usuários para a verificação dos ensaios computacionais e adequação posterior da estrutura.

Biomechanics Single Action

A ferramenta *Biomechanics Single Action Analysis* consegue medir os dados biomecânicos de um trabalhador em uma determinada postura, calculando e gerando informações como as cargas da coluna lombar (força abdominal, pressão abdominal, movimentos do corpo) e as forças e momentos nas articulações do manequim. Essa opção não necessita de configuração de parâmetros, essa leva em consideração os as configurações do manequim, postura e cargas aplicadas.

Como as forças (cargas) atuantes nas mãos do manequim são levadas em consideração na análise biomecânica (carga de carregar, empurrar, levantar/abaixar ou puxar, dependendo do cenário), essa ferramenta é utilizada somente para os carregadores, para duas funções distintas, mas que são trabalhadas juntas, empurrar/puxar e carregar.

Podemos verificar a partir dessas análises se os PcDs e carregadores tem seus valores de compressão e cisalhamento articular abaixo dos limites recomendados pelo Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional dos Estados Unidos (*National Institute for Occupational Safety and Health* - NIOSH) e pela Universidade de Waterloo (Universidade Pública de Pesquisa no Canadá), respectivamente 3433 N m² (compressão articular) e 500N m² (cisalhamento articular) (Fonte: CATIADOC, 2022).

Valores de compressão e cisalhamento articular		
PcDs	Análise	
	Compressão articular (N m ²)	Cisalhamento articular (N m ²)
P5	1212	89 Posterior
P95	417	39 Posterior

Tabela 2 – Valores de compressão e cisalhamento articular dos PcDs.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Os valores representados na tabela 2 podem ser visualizados figura 17.

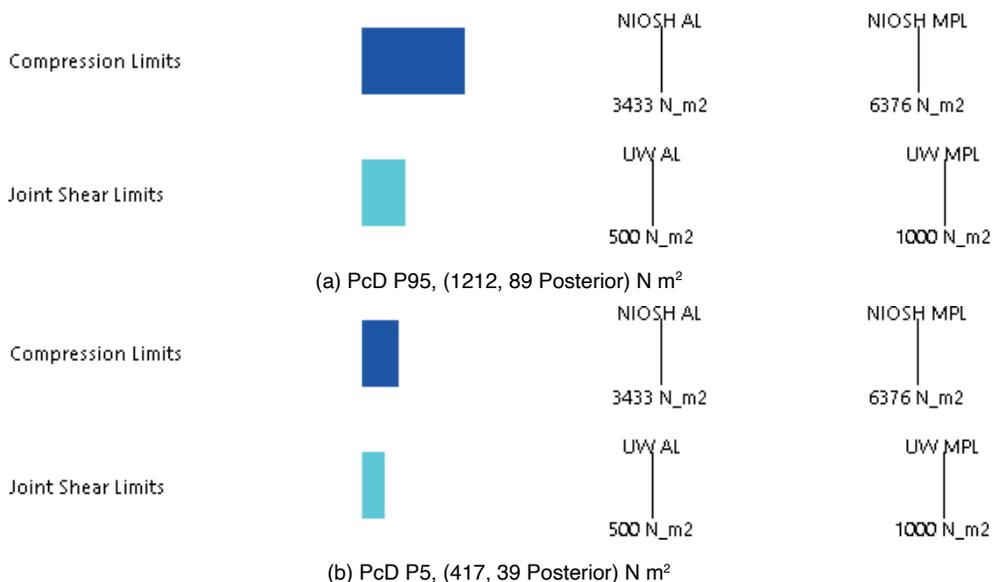


Figura 17 – Valores de compressão e cisalhamento articular dos PcDs.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Verifica-se que os valores apresentados na tabela 2 e representados na figura 17 são inferiores aos limites aceitáveis.

Valores de compressão e cisalhamento articular		
Carregadores	Análise	
	Compressão articular (N m ²)	Cisalhamento articular (N m ²)
Carregador P95 para cadeira P5	875	136 Posterior
Carregador P95 para cadeira P95	943	130 Posterior
Carregadora P5 para cadeira P5	357	126 Posterior
Carregadora P5 para cadeira P95	365	125 Posterior

Tabela 3 – Valores de compressão e cisalhamento articular dos carregadores dianteiros relacionados ao atrito estático.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Valores de compressão e cisalhamento articular		
Carregadores	Análise	
	Compressão articular (N m ²)	Cisalhamento articular (N m ²)
Carregador P95 para cadeira P5	814	81 Posterior
Carregador P95 para cadeira P95	882	75 Posterior
Carregadora P5 para cadeira P5	332	68 Posterior
Carregadora P5 para cadeira P95	433	60 Posterior

Tabela 4 – Valores de compressão e cisalhamento articular dos carregadores dianteiros relacionados ao atrito dinâmico.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Os valores representados nas tabelas 3 e 4 podem ser visualizados nas figuras 18, 19, 20 e 21, respectivamente.

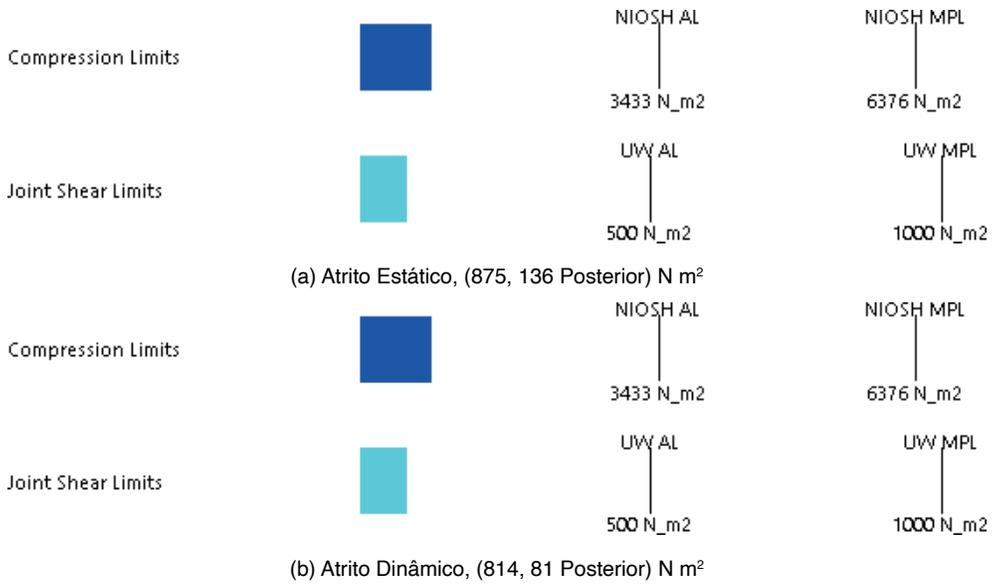


Figura 18 – Valores de compressão e cisalhamento articular do carregador dianteiro P95 para cadeira P5, diferentes configurações.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

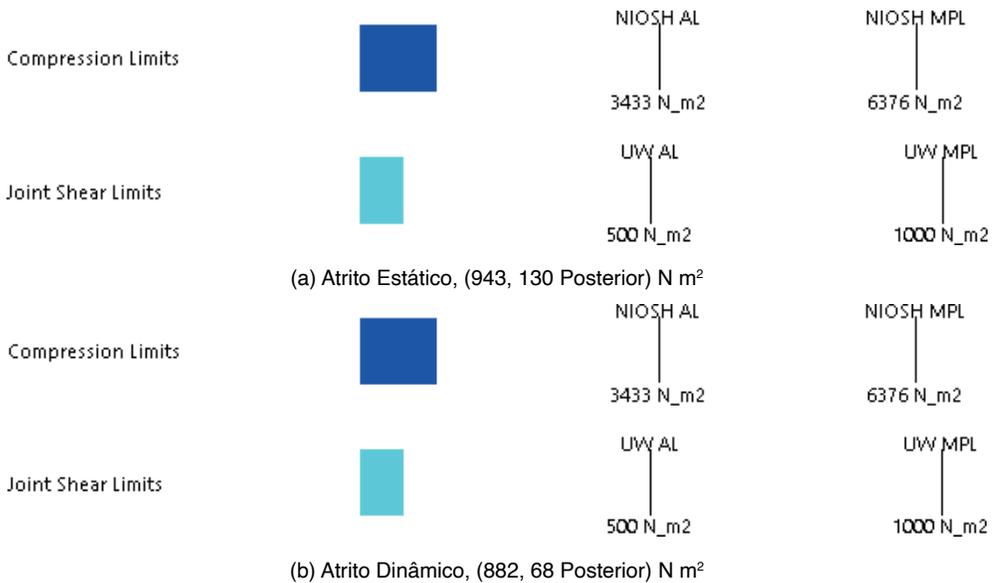


Figura 19 – Valores de compressão e cisalhamento articular do carregador dianteiro P95 para cadeira P95, diferentes configurações.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

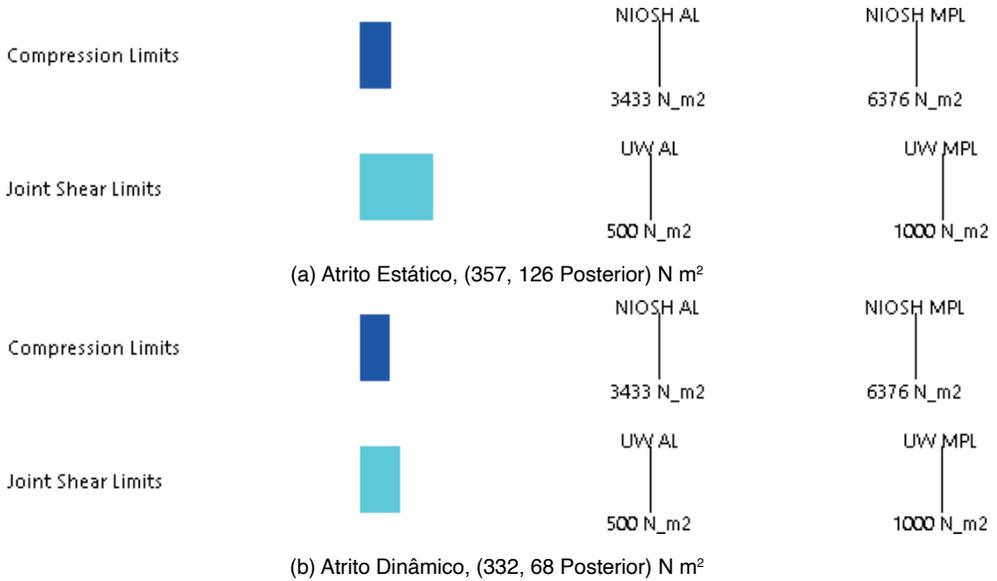


Figura 20 – Valores de compressão e cisalhamento articular da carregadora dianteiro P5 para cadeira P5, diferentes configurações.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

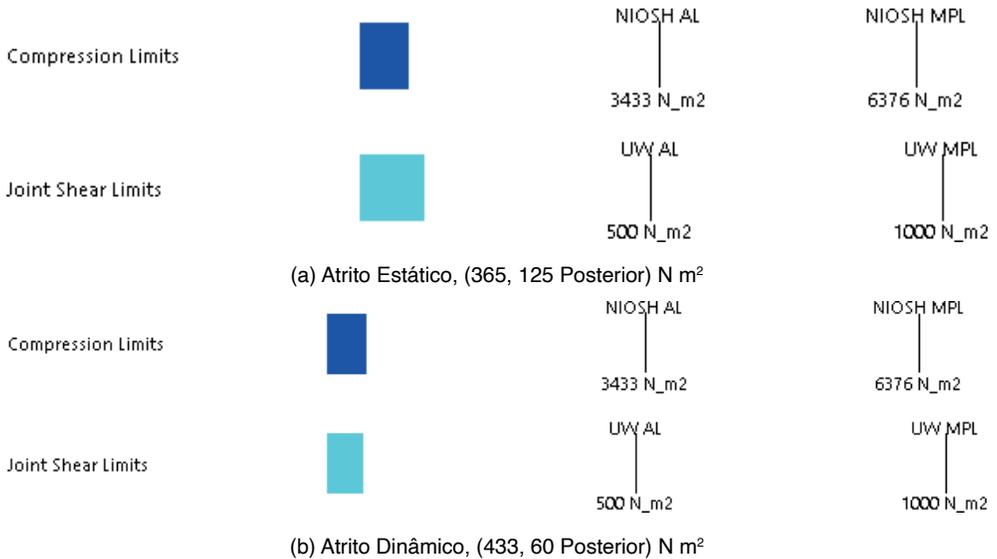


Figura 21 – Valores de compressão e cisalhamento articular da carregadora dianteiro P5 para cadeira P95, diferentes configurações.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Verifica-se que os valores apresentados tabelas 3 e 4 e representados na figuras 18, 19, 20 e 21 são inferiores aos limites aceitáveis.

Valores de compressão e cisalhamento articular		
Carregadores	Análise	
	Compressão articular (N m ²)	Cisalhamento articular (N m ²)
Carregador P95 para cadeira P5	1512	132 Posterior
Carregador P95 para cadeira P5 (braço de suporte)	1623	141 Posterior
Carregador P95 para cadeira P95	1277	115 Posterior
Carregador P95 para cadeira P5 (braço de suporte)	1360	110 Posterior
Carregadora P5 para cadeira P5	617	69 Posterior
Carregadora P5 para cadeira P5 (pegada neutra)	334	62 Posterior
Carregadora P5 para cadeira P5 (braço de suporte)	520	86 Posterior
Carregadora P5 para cadeira P95	640	76 Posterior
Carregadora P5 para cadeira P95 (braço de suporte)	368	67 Posterior

Tabela 5 – Valores de compressão e cisalhamento articular dos carregadores traseiros relacionados ao atrito dinâmico.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Os valores representados na tabela 5 podem ser visualizados figuras 22, 23, 24 e 25, respectivamente.

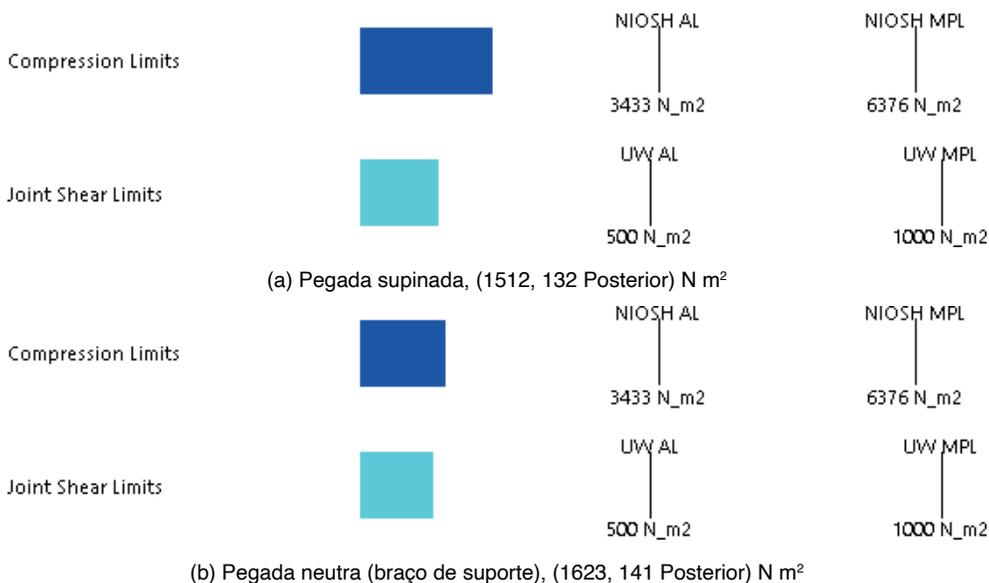


Figura 22 – Valores de compressão e cisalhamento articular do carregador traseiro P95 para cadeira P5, diferentes configurações.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

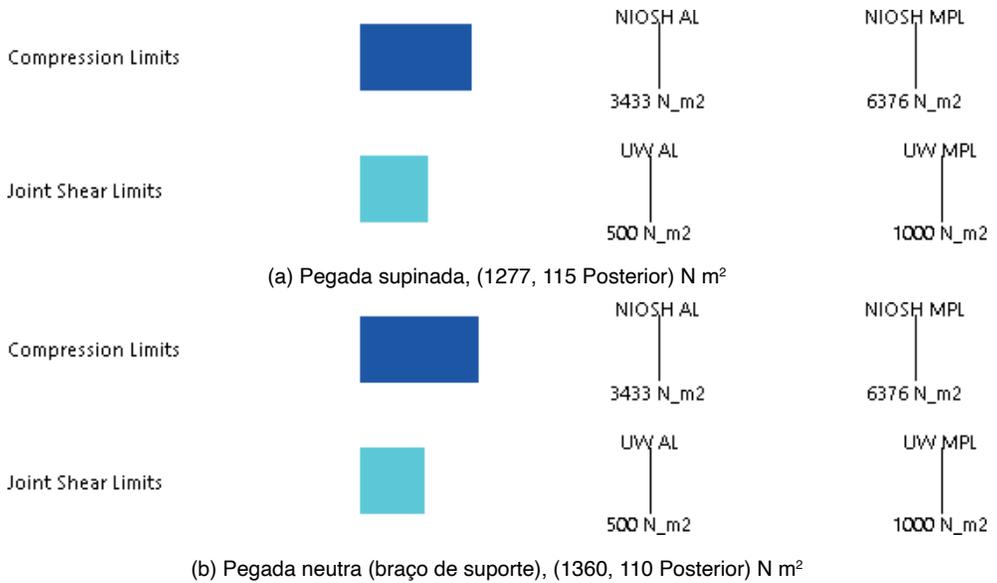
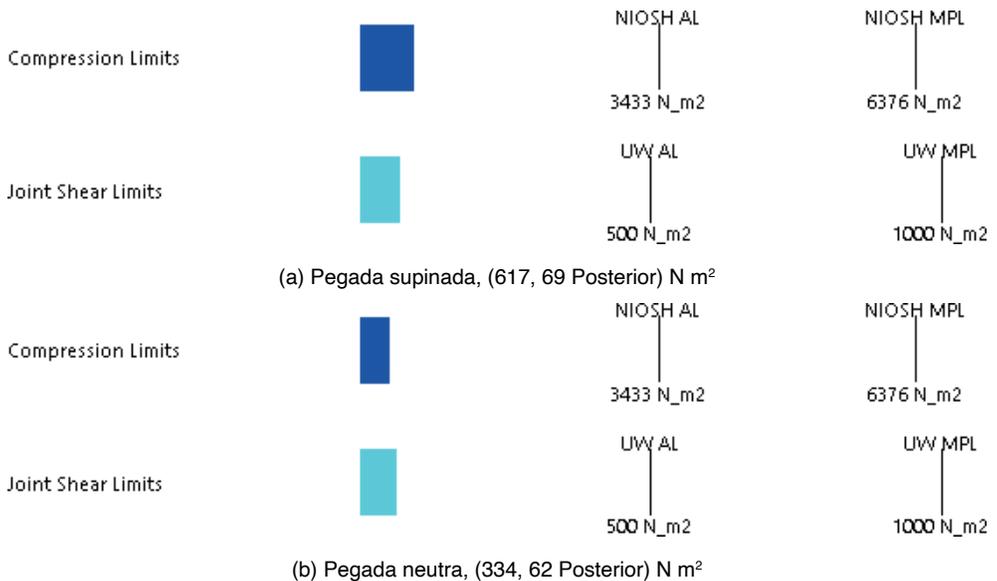
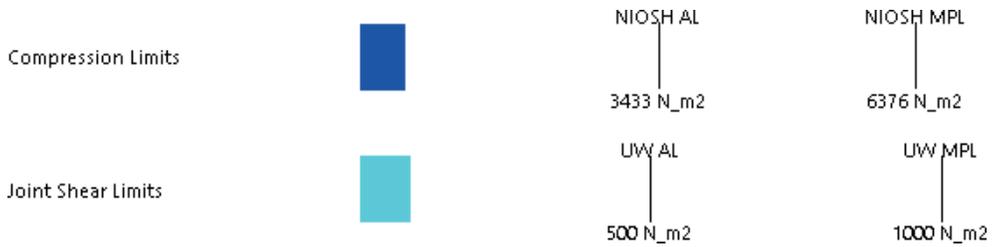


Figura 23 – Valores de compressão e cisalhamento articular do carregador traseiro P95 para cadeira P95, diferentes configurações.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

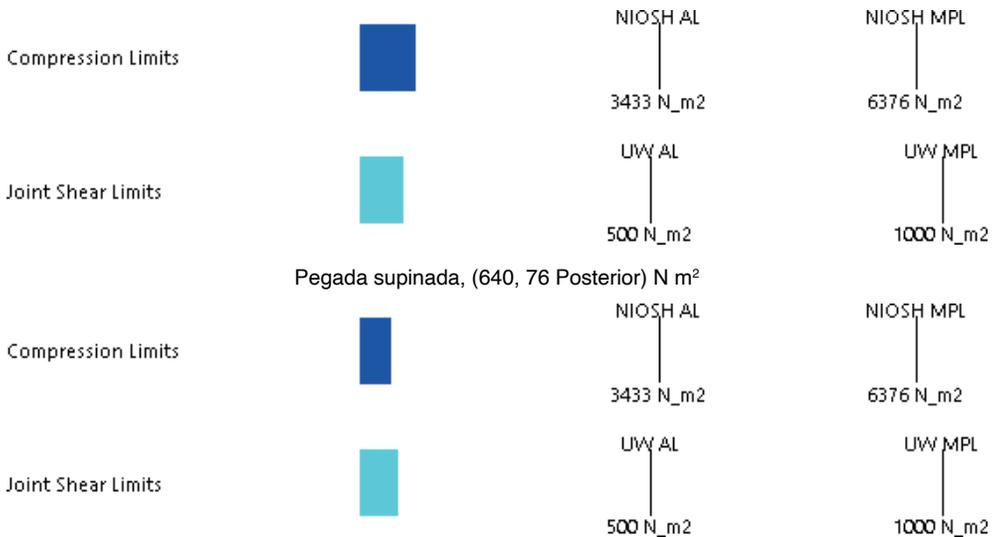




(c) Pegada neutra (braço de suporte), (520, 86 Posterior) N m²

Figura 24 – Valores de compressão e cisalhamento articular da carregadora traseira P5 para cadeira P5, diferentes configurações.

Fonte: Elaboração própria, 2023.



Pegada neutra (braço de suporte), (368, 67 Posterior) N m²

Figura 25 – Valores de compressão e cisalhamento articular da carregadora traseira P5 para cadeira P95, diferentes configurações, autores

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Verifica-se que os valores apresentados na tabela 05 e representados nas figuras 22, 23, 24 e 25 são inferiores aos limites aceitáveis.

De todas as porcentagens da população que não consegue realizar a tarefa, somente a maior é apresentada. Para os PcDs é o homem P95. O gráfico relacionado ao PcD pode ser visualizado na figura 26.

Em todas as outras análises as porcentagens são inferiores a 10% o que é esperado devido ao intervalo de percentil que determinamos abordar.

CONCLUSÃO

O objetivo proposto para o trabalho foi projetar uma cadeira de rodas para trilhas com foco ergonômico e de baixo custo à conta da dificuldade das pessoas com deficiência física (PcD) de realizarem passeios onde não há vias pavimentadas (trilhas).

Foi pensado em um projeto conceitual, onde determinamos os requisitos necessários para sua viabilidade, verificando algumas opções que existem no mercado brasileiro e exterior e as limitações atreladas, buscando analisar e identificar as melhores opções dentre as abordadas. Foi elaborado um questionário onde obtivemos a interação com 25 PcDs, foi possível extrair e validar informações relativas ao projeto. Além disso foi realizado um estudo ergonômico com foco em biomecânica e antropometria, bem como uma análise das forças atuantes no sistema para o dimensionamento da estrutura.

Com o intuito de validar a cadeira perante o conforto do PcD e dos carregadores, as análises ergonômicas mais pertinentes ao projeto foram realizadas utilizando-se o programa Catia, são: *RULA Analysis, Push/Pull Analysis e Biomechanics Single Action Analysis*.

Ainda no projeto intermediário todos os conjuntos e componentes foram dimensionados e concebidos via modelagem 3D utilizando o software Catia. Com todos os itens validados seguiu-se para o projeto executivo onde foi confeccionado os desenhos técnicos de todos os componentes e conjuntos bem como a lista de materiais, a precificação de cada componente e por fim, foi elaborado um manual para potenciais usuários com definições das medidas necessárias para que a cadeira de rodas seja apropriada a cada um e o manual de montagem e do produto.

Portanto, chegou-se ao modelo concebido que atende aos requisitos de projeto, ou seja, possui baixo custo, dimensões adaptáveis, suporte postural, atende às necessidades do ambiente e do usuário, é segura e durável. Seu conceito foi feito de forma que ele seja desmontável, o que facilita o transporte e o armazenamento. A massa total é de 29,5 kg, incluindo todos os componentes, o que está próximo à valores de mercado e o valor estimado para o ano de 2023 ficou na faixa de R\$ 36.500,00 (material e mão de obra). O valor ainda alto foi devido que a grande maioria dos produtos ainda são importados.

REFERÊNCIAS

- ANAC, AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL.: Levantamento do perfil antropométrico da população brasileira usuária do transporte aéreo nacional - projeto conhecer. Rio de Janeiro, Brasil, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 71765: Cadeira de rodas - parte 5: Determinação das dimensões, massa e espaço para manobra. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 71767: Cadeiras de rodas - parte 7: Medição de dimensões de assentos e rodas. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 71768: Cadeiras de rodas. parte 8: Requisitos e métodos de ensaio para a força estática, de impacto e fadiga. Rio de Janeiro, 2009.
- CARRIEL, I. R. R. Recomendações Ergonômicas para o Projeto de Cadeira de Rodas: Considerando os aspectos fisiológicos e cognitivos dos idosos. Bauru, SP, 2007.
- CARRIEL, I. R. R. Recomendações tecnológicas de projeto para o desenvolvimento de cadeira de rodas de propulsão manual: uma proposta para ampliar o grau de mobilidade dos PcDs a partir do design. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2020.
- CTB, C. e da Tecnologia da B. Propriedades tribológicas, atrito e coeficiente de atrito. 2032. Disponível em: <<https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/propriedades-das-borrachas-vulcanizadas/propriedades-tribologicas/>>.
- DUFFY, V. G. Handbook of Digital Human Modeling: Research for Applied Ergonomics and Human Factors Engineering. Florida: CRC Press: [s.n.], 2008.
- FERRO, B. H.; RENNER, J. S. A Percepção de conforto na posição sentada: O caso dos usuários de cadeira de rodas. 2020.
- HASHIM, N. et al. A study on push-pull analysis associated with awkward posture among workers in aerospace industry. IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology ISSN: 2319-1163 | p ISSN: 2321-7308, v. 03, 2014.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 168402: Wheelchair seating — part 2: Determination of physical and mechanical characteristics of seat cushions intended to manage tissue integrity. Geneva, Switzerland, 2018.
- OMS. Guidelines on the Provision of Manual Wheelchairs in Less Resourced Settings. [S.l.], 2008.
- OMS. Pacote de Treinamento em Serviços para Cadeiras de Rodas. [S.l.], 2012.
- ORGANIZATION, W. H. et al. Relatório mundial sobre a deficiência. São Paulo: SEDPCd, v. 504, p. 505, 2012.
- SNOOK, S. H.; CIRIELLO, V. M. The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces. Ergonomics, Taylor & Francis, v. 34, n. 9, p. 1197–1213, 1991.
- SOUSA, D. E. e MONACO, S. O. V., Desenvolvimento de projeto de cadeira de rodas para trilhas, TCC (Graduação) – UnB – Campus Gama, Brasília, DF, 2023
- TILLEY, A. R. As Medidas do Homem e da Mulher. New York, USA: Henry Dreyfuss Associates, 2005.