

REAPROVEITAMENTO DE DESCARTE DE ALUMÍNIO PARA FABRICAÇÃO DA CAPA DE PROTEÇÃO DA TRANSMISSÃO CVT DE UM VEÍCULO OFF-ROAD TIPO BAJA A PARTIR DE GABARITO POR IMPRESSÃO 3D

Athus Igor Castro Holanda ⁽¹⁾ (athusholanda07@gmail.com), Amanda Lucena de Medeiros ⁽¹⁾ (amandalucena@ufpa.br)

⁽¹⁾ Universidade Federal do Pará (UFPA); Faculdade de Engenharia Mecânica

RESUMO: O elemento alumínio é um dos mais abundantes encontrados na crosta terrestre, estando como terceiro lugar em escala enumerativa, propriedades deste como leveza, resistência à corrosão e reciclabilidade infinita, ampliam sua variabilidade de uso na fabricação e produção de diversos produtos, em diferentes processos, setores da economia e indústrias. O objetivo deste trabalho visa a manufatura da capa protetora de partes móveis do elemento de transmissão CVT de alumínio reaproveitado de descarte. Utilizar-se-á método de abordagem teórica com princípio experimental, priorizando-se primariamente a modelagem computacional, via software SolidWorks, da capa protetora, gerando-se um modelo 3D do gabarito a ser impresso e utilizado como base norteadora da estrutura a ser solidificada. Os resultados obtidos com a capa protetora, deram-se de maneira exitosa ao estar em conformidade com os requisitos e exigências levantados pelo regulamento administrativo e técnico da competição SAE Baja Brasil de 2023 e em consonância à NR 12 (proteção de partes móveis). Em suma, conclui-se que a partir deste modelo base de gabarito gerado por impressora 3D, contribuirá para uma solidificação bem-sucedida da capa protetora da transmissão CVT de alumínio reciclado com aparência física e variações dimensionais adequadas ao projeto e ao cumprimento de sua função de modo eficaz.

PALAVRAS-CHAVE: Elementos de Liga, Reciclagem de Alumínio, SAE Baja, Norma Regulamentadora 12.

ALUMINUM SCRAP REUTILIZATION FOR MANUFACTURING THE CVT TRANSMISSION PROTECTIVE COVER OF A BAJA-TYPE OFF-ROAD VEHICLE USING 3D PRINTED TEMPLATE

ABSTRACT: Aluminum is one of the most abundant elements found in the Earth's crust, ranking third in enumerative scale. Its properties such as lightweight, corrosion resistance, and infinite recyclability, expand its variability of use in the manufacturing and production of various products, in different processes, sectors of the economy, and industries. The objective of this work is to manufacture the protective cover for moving parts of the CVT transmission element using recycled aluminum. The approach method will be theoretical with experimental principles, prioritizing primarily computational modeling, via SolidWorks software, of the protective cover, generating a 3D model of the template to be printed and used as a guiding base for the structure to be solidified. The results obtained with the protective cover were successful in complying with the requirements and demands raised by the administrative and technical regulations of the 2023 SAE Baja Brazil competition and in accordance with NR 12 (protection of moving parts). In summary, it is concluded that from this base template model generated by a 3D printer, it will contribute to a successful solidification of the protective cover of the CVT transmission of recycled aluminum with physical appearance and dimensional variations suitable for the project and for effectively fulfilling its function.

KEYWORDS: Alloying Elements, Aluminum Recycling, SAE Baja, Regulatory Standard 12.

1. INTRODUÇÃO

Há sete milênios, ceramistas da Pérsia já produziam seus vasos com um tipo de barro que continha óxido de alumínio, que hoje conhecemos como alumina. Trinta séculos mais tarde, egípcios e babilônios usaram uma outra substância contendo alumínio na fabricação de cosméticos e produtos medicinais. Sua cronologia mostra que, mesmo nas civilizações mais antigas, o metal dava um tom de modernidade e sofisticação aos mais diferentes artefatos. Não obstante, durante seus primeiros usos, nada se sabia sobre o metal na forma como o conhecemos hoje, já que o alumínio só começou a ser produzido comercialmente há cerca de 150 anos (<https://abal.org.br/aluminio/historia-do-aluminio/>).

Deste modo, mostra-se que mesmo este elemento sendo o terceiro mais abundante no planeta, ainda assim não se sabia deste, como é conhecido hoje e muito menos que o metal puro não é encontrado naturalmente, sabe-se portanto que o processo percorrido para se obter a sua forma atual é de veras longo. As características do alumínio permitem que ele tenha uma diversa gama de aplicações. Sendo o alumínio amplamente utilizado pela indústria de diversas maneiras. Tal versatilidade se deve às suas propriedades e excelente performance na maioria das aplicações. Suas técnicas de fabricação permitem a manufatura do produto acabado a preços competitivos. Cada segmento utiliza o metal na forma mais adequada às suas finalidades, de acordo com os diferenciais e propriedades de cada produto (<https://suzanterm.com.br/exibeProdutos.php?id=3>).

As ligas de alumínio, desde o início do século XX passaram a ser consumidas em larga escala nos setores da economia – secundário e terciário, majoritariamente – isso é devido a ampla aplicação destas ligas, ao qual podem ser submetidas em diferentes tipos de processos. Não obstante, ainda possuem uma propriedade diferencial, a reciclabilidade, conceito mais conhecido como vida infinita a partir do reaproveitamento desse material – a reciclagem, propriamente dita – permitindo com que novas finalidades sejam aplicadas às ligas de alumínio após a perda de sua finalidade para o qual fora previamente delimitada.

O produto final gerado após o processo de fabricação advindo da produção do alumínio possui um prazo de validade, ou seja, uma vida útil, após este ficar obsoleto é necessário que a temática referente a reciclagem seja levada em questão, neste caso do alumínio, a reciclagem em si é de suma importância, entretanto para que esta ocorra, é necessário saber os pontos referentes a esta, tais como, a característica do material a ser reciclado (no qual, o alumínio possui alta reciclabilidade. Sendo assim, este pode ser reciclado infinitas vezes, sem que perca suas características físicas e químicas diferentemente de outros materiais), benefícios (são inúmeros, porém um dos principais se trata do cuidado com o meio ambiente ao passo que se obtém a transformação de um objeto obsoleto em um novo item) e as etapas (coleta do material a ser reciclado, limpeza deste e amontoamento em fardo, transporte para a usina de reciclagem,

triagem, separação magnética e pneumática, forno de fusão, correção da insuficiência de composição química visando obter a especificação química desejada, por fim, o material é lingotado - ou mesmo líquido - é transportado para a etapa de fundição), sendo estas, as etapas pertencentes ao processo de reciclagem e seus benefícios ([https://esab.com/br/sam_pt/esab-university/articles/how-and-why-alloying-elements-are-added-to-aluminum/#:~:text=Sil%C3%ADcio%20\(Si\)%204xxx%20%E2%80%93%20A](https://esab.com/br/sam_pt/esab-university/articles/how-and-why-alloying-elements-are-added-to-aluminum/#:~:text=Sil%C3%ADcio%20(Si)%204xxx%20%E2%80%93%20A)).

De acordo com Rodrigues (2014), uma das principais características do alumínio é poder ser reciclado, já que após muitos anos de vida útil, com segurança e eficiência, o alumínio pode ser reaproveitado, recuperando-se uma parte significativa do investimento, com economia de energia, como no caso da lata de alumínio. Como consequência a ser obtida, de forma clara e objetiva, trata-se do meio ambiente em questão, pois é beneficiado através da redução de resíduos e economia de matérias-primas, propiciadas pela reciclagem.

O alumínio e suas ligas possuem destaque devido sua versatilidade, pois podem ser obtidos por quase todos os processos de fabricação conhecidos, indo desde os produtos fundidos até os conformados. O alumínio distingue-se em dois tipos, produtos padronizados e produtos de engenharia, em relação aos produtos padronizados incluem-se, folhas, barras, fios, vergalhões, chapas, tubos e formas estruturais de modo geral. No caso dos de engenharia, por sua vez, são aqueles que são projetados e aplicados com uso específico, sendo estes, perfis extrudados, forjados, fundidos, estampados, partes de metalurgia do pó, partes usinadas e compósitos de matriz metálicas (ASM HANDBOOK, 2004).

A produção do alumínio em si, depende de processos complexos e cruciais para o seu desenvolvimento, nos quais encontram-se a mineração (por onde ocorre o beneficiamento de minério, sendo obtida a bauxita e desta é retirada a alumina que por sua vez produz o mais conhecido alumínio), refinaria (onde ocorre a primeira etapa da transformação da bauxita em alumina calcinada, via procedimento bayer - o mais utilizado) e a redução (procedimento onde ocorre a transformação da alumina em alumínio metálico, e ao fim, obtém-se o metal líquido - alumínio primário - passando pela refusão via cadinhos, produzindo lingotes, placas e tarugos), sendo estes pertencentes aos processos de obtenção e produção ([https://esab.com/br/sam_pt/esab-university/articles/how-and-why-alloying-elements-are-added-to-aluminum/#:~:text=Sil%C3%ADcio%20\(Si\)%204xxx%20%E2%80%93%20A](https://esab.com/br/sam_pt/esab-university/articles/how-and-why-alloying-elements-are-added-to-aluminum/#:~:text=Sil%C3%ADcio%20(Si)%204xxx%20%E2%80%93%20A)).

A empregabilidade do alumínio em produtos de maneira isolada, isto é, sem a adição de outros elementos a sua matriz de origem, pode ser realizada somente para procedimentos que necessitem de alta pureza e concentração de alumínio, além de necessitar de propriedades mecânicas específicas tal como, baixa resistência mecânica, boa ductilidade e maleabilidade. O metal de alumínio é maleável e de cor prateada, dando origem a fios ou folhas finas. Já o alumínio puro é bem fraco, contudo, a liga de alumínio com pequenas quantidades de silício e ferro,

torna-se duro e forte. Ele é um metal que resiste muito bem à corrosão, pois, quando fica exposto ao ar, uma película dura e resistente se forma em sua superfície (<https://mineracaobrasil.com/industria-do-aluminio-o-mineral-que-figura-no-mercado-de-forma-competitiva-inovadora-sustentavel-e-integrada/>).

A adição de elementos de liga ao alumínio é o principal método usado para produzir uma seleção de diferentes materiais que podem ser usados em uma ampla variedade de aplicações estruturais. Existe uma gama de ligas de alumínio usadas no setor hoje, sendo mais de 400 ligas forjadas e mais de 200 ligas de fundição estão atualmente registradas na Aluminum Association. Existem algumas orientações gerais quanto ao tipo mais provável de alumínio utilizado em diferentes aplicações ([https://esab.com/br/sam_pt/esab-university/articles/how-and-why-alloying-elements-are-added-to-aluminum/#:~:text=Sil%C3%ADcio%20\(Si\)%204xxx%20%E2%80%93%20A](https://esab.com/br/sam_pt/esab-university/articles/how-and-why-alloying-elements-are-added-to-aluminum/#:~:text=Sil%C3%ADcio%20(Si)%204xxx%20%E2%80%93%20A)).

Maciel (2023) enaltece que para a introdução de elementos químicos em ligas do tipo alumínio, primariamente, deve-se ter em mente que, independentemente de qual elemento for adicionado, este será tido como impureza, ocasionando assim, efeitos sobre as propriedades do material (do tipo alumínio), sendo de suma importância fazer uma análise eficaz das possíveis consequências que poderão ser acarretadas ao se fazer uso de determinado elemento de liga, para que se tenha um resultado esperado.

A ligação de outros metais com o alumínio, pode acarretar melhoras nas propriedades mecânicas deste, a exemplo, do aumento da resistência à tração e à fadiga (causado pelos elementos como zinco, magnésio e silício), melhoria da resistência à corrosão (ocasionado pelos elementos como cobre, magnésio e silício), aumento da dureza (proporcionado pelos elementos como silício, cobre e manganês), melhoria da soldabilidade (provocado pelos elementos como silício e manganês), melhoria da resistência ao desgaste (produzido pelos elementos como silício e boro) ([https://esab.com/br/sam_pt/esab-university/articles/how-and-why-alloying-elements-are-added-to-aluminum/#:~:text=Sil%C3%ADcio%20\(Si\)%204xxx%20%E2%80%93%20A](https://esab.com/br/sam_pt/esab-university/articles/how-and-why-alloying-elements-are-added-to-aluminum/#:~:text=Sil%C3%ADcio%20(Si)%204xxx%20%E2%80%93%20A)).

Em suma, a adição de elementos de liga ao alumínio modifica suas propriedades, variando conforme os elementos químicos adicionados e a finalidade para a qual será utilizada. Assim, há uma gama de possibilidades para combinar diferentes elementos em ligas de alumínio, gerando variados efeitos, com foco na aplicação específica da liga. Para a produção da capa de proteção da transmissão CVT, é essencial uma análise detalhada dos efeitos dos elementos combinados na liga, garantindo que a estrutura da capa ofereça a proteção necessária. Isso está de acordo com os requisitos da Norma Regulamentadora 12 sobre máquinas e equipamentos, especialmente no tópico "12.5 Sistemas de segurança" e em seus respectivos incisos (conforme anexos), tal como, 12.5.1 (ANEXO I); 12.5.9 e 12.5.9.1 (ANEXO II)

(<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselho-s-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-12-atualizada-2024.pdf>).

Deste modo, percebe-se que há uma necessidade de estudo neste âmbito, corroborando-se através desta motivação levantada nas etapas iniciais que não somente esta abordagem se torna uma pauta interessante de análise, mas também o enfoque relacionado a como a capa de proteção CVT adequa-se perfeitamente para aplicação de fins protetivos a vida, mas também a intempéries, assim como afirma Verastegui (*et al.*, 2020), afirmando que este elemento não somente é necessário para o intuito de proteger pessoas que possam estar próximas do CVT, mas também em proteger o próprio de possíveis impurezas. Sendo assim, a capa do CVT é um item obrigatório segundo o regulamento administrativo e técnico Baja SAE Brasil, sendo este um dos principais critérios de análise desta pesquisa.

1.1 Objetivos

A presente pesquisa objetiva de modo geral a manufatura da capa protetora das partes móveis do elemento de transmissão CVT (Transmissão Continuamente Variável) a partir do reaproveitamento de descarte de alumínio doado pelo laboratório do Grupo de Pesquisa em Engenharia de Materiais (GPEMAT), a fim de obter embasamentos que corroborem a viabilidade de utilização da capa protetora como elemento de proteção, em consonância a Norma Regulamentadora 12 referente a proteção de partes móveis, durante os testes e provas que serão realizados no decorrer da competição Baja SAE BRASIL.

Frente a diretriz geral deste estudo e visando a obtenção do produto final almejado, faz-se necessário a existência de objetivos específicos como suporte a pesquisa:

Pesquisar sobre a temática em questão para que seja obtido embasamento teórico;

Planejar as etapas de execução do projeto e da fabricação da capa protetora da transmissão CVT;

Projetar via software CAD de desenho a geometria da capa protetora;

Realizar a manufatura dos moldes/gabaritos em impressora 3D para a fundição;

Analisar a viabilidade de fabricação da capa protetora via fundição no laboratório GPEMAT;

Analisar os resultados conseguidos;

Discutir os resultados obtidos;

Concluir por meio dos resultados a relevância do projeto e se fora alcançado o que havia sido previamente determinado.

1.2 Justificativa

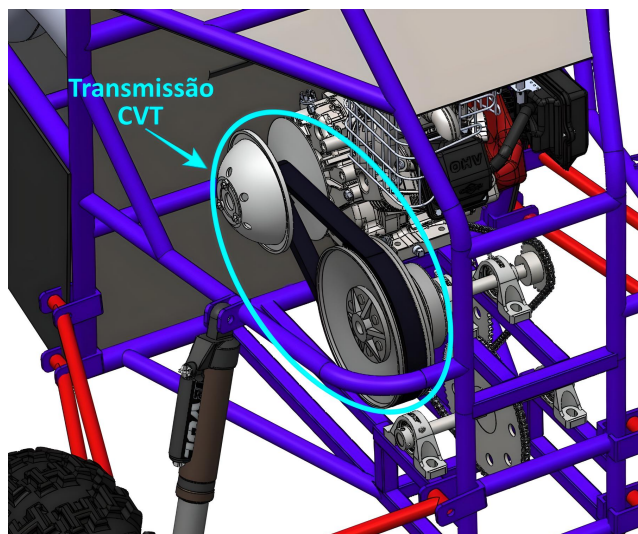
Este projeto de pesquisa surgiu mediante a necessidade de resolução de uma problemática repentina que surgira durante a elaboração do sistema de powertrain, subequipe técnica do projeto BAJAÇAÍ, cujo objetivo primordial do projeto visa a construção de um protótipo de veículo off-road do tipo baja, projetado e desenvolvido para a competição SAE baja, onde ocorrerão provas específicas, sendo classificadas entre estáticas e dinâmicas, executadas em diferentes tipos de espaços e terrenos para se averiguar a integridade, robustez e qualidade do veículo e de seu desempenho no decorrer das provas.

Contudo, para que seja realizada a devida construção dos subsistemas, e mais especificamente, aqueles pertencentes ao powertrain, faz-se necessário que todos os componentes estejam devidamente em conformidade ao regulamento da SAE BRASIL; deste modo, mediante as especificações, a transmissão CVT deverá possuir proteção de suas partes móveis durante a competição – além de estar em consonância à NR 12 específica para Máquinas e Equipamentos – uma vez que ocorrendo seu funcionamento, não venha a ocasionar nenhum tipo de risco a saúde e integridade física de qualquer indivíduo durante a competição SAE Baja; apenas corroborando-se ao fato de que a capa protetora da transmissão CVT, torna-se eficaz não somente ao proteger os envolvidos que estiverem no entorno ou próximo a este elemento de transmissão, mas sim também na forma excelente de atuar como suporte protetivo contra as intempéries que venham ocasionalmente a trazer alguma espécie de dano a CVT, tal como, umidade do ar, água da chuva, areia, lama, entre outros.

Além disso, esta pesquisa possui como princípio o reaproveitamento de descarte de alumínio por ser uma problemática vigente e recorrente que acarreta muitos impasses ao laboratório do Grupo de Pesquisa em Engenharia de Materiais (GPEMAT) por não possuir um sistema adequado de coleta e descarte deste tipo de material, sendo necessário a realização de parcerias e/ou vínculos com empresas que realizem o recebimento destes resíduos e os encaminhem para a devida reciclagem, tornando-se fundamental para a preservação ambiental em questão, a redução de resíduos e a economia de matéria-prima, propiciado pela reciclagem e, evitando-se assim, a geração de mais passivos prejudiciais ao meio ambiente e, conseqüentemente, maiores malefícios à amazônia devido a exploração indevida desta, uma vez que uma nova finalidade esteja sendo atribuída a este material.

Dessa forma, portanto, este projeto se justifica ao passo que busca atender as exigências do regulamento e solucionar a problemática supracitada, visando assim, obter de maneira concreta uma proteção que seja eficaz em sua aplicação prática e cumpra a função para o qual foi projetado, podendo-se visualizar conforme Figura 1 a seguir, o local onde possivelmente será alojado.

FIGURA 1. Vista isométrica da transmissão CVT e local indicado a ser acoplada a capa protetora.



Fonte: Autor (2024).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Mediante ao exposto e considerando a importância e a pertinência da pesquisa, este projeto dispõe de recursos metodológicos, tanto dos materiais a serem utilizados, quanto das atividades, visando um melhor desenvolvimento do mesmo, apresentando metodologia com caráter de cunho prático, conforme a seguir.

2.1 Materiais

Com relação ao levantamento de material realizado, objetivar-se-á saber o quantitativo necessário para se realizar a fundição da capa protetora da transmissão CVT, os materiais/ferramentas a serem utilizados, são listados conforme a seguir.

Software CAD *SolidWorks* para modelagem do gabarito 3D;

Filamento de impressora 3D.

2.2 Métodos

A metodologia para a avaliação da capa de proteção do elemento de transmissão CVT da equipe Bajaçaí foi iniciada com a modelagem 3D no software CAD *SolidWorks*. Este processo foi realizado seguindo-se as exigências estabelecidas pelo regulamento administrativo e técnico da competição SAE Baja Brasil de 2023 (SAE Brasil, 2023). Posteriormente, prosseguiu-se para a

finalização da modelagem CAD, convertendo-se para o tipo de material a ser trabalhado nesse elemento, no caso, alumínio, obtendo-se assim, a capa protetora da CVT.

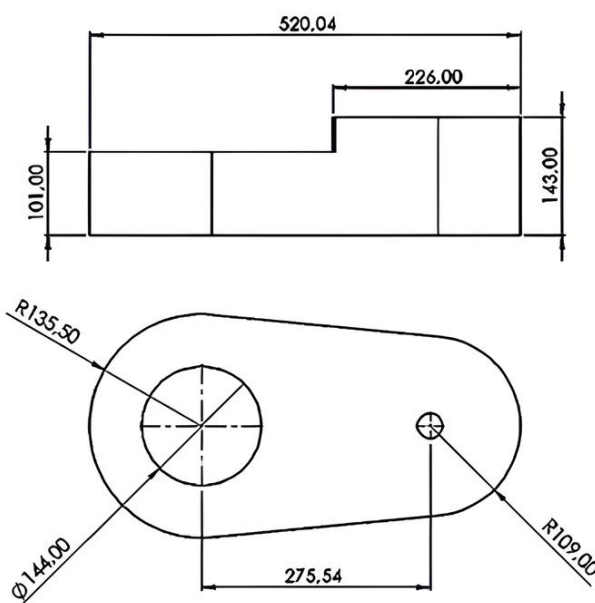
Após conclusão da modelagem da capa de proteção da transmissão CVT utilizando o software CAD *SolidWorks*, avançou-se para a análise dos resultados obtidos, avaliando-se a adaptação dimensional e visual da capa à transmissão CVT e ao sistema de powertrain como um todo, verificando se esta se encaixara adequadamente no local escolhido para ser acoplada. Além disso, verificou-se se não houve problemas de compactação excessiva no espaço, garantindo que os componentes não estejam nem muito distantes para evitar futuros desbalanceamentos dinâmicos no veículo, nem muito próximos para evitar o aumento excessivo da temperatura e da geração de possíveis danos permanentes devido ao grau elevado de energia térmica associada ao sistema de modo geral, tal como, ocasionado por atrito.

3. RESULTADOS ESPERADOS E DISCUSSÕES

3.1 Avaliação dimensional e visual da capa de proteção

Analisando os resultados dimensionais obtidos a partir da modelagem da capa de proteção da transmissão CVT em vistas ortogonais, conforme mostrado na Figura 2, observa-se que o comprimento total de 520,04 mm é visualmente adequado e compatível com a estrutura da transmissão continuamente variável (CVT).

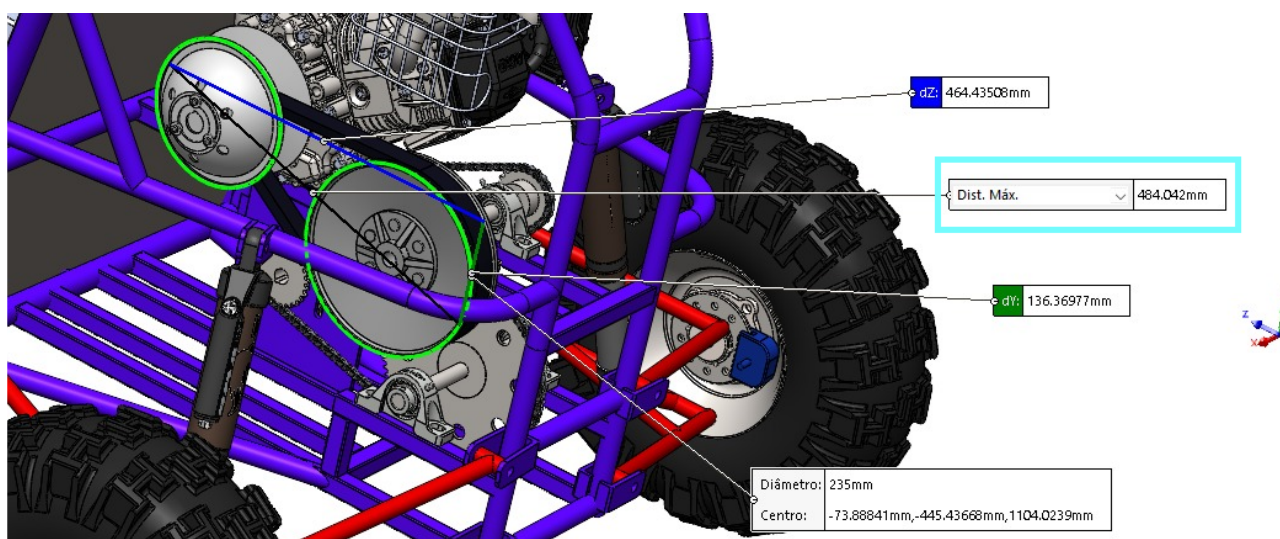
FIGURA 2. Dimensões da capa da transmissão CVT em vistas ortogonais.



Fonte: Autor (2024).

As dimensões da capa de proteção mostram-se adequadas para o comprimento total da CVT, que possui uma distância de 484.042mm do diâmetro externo até outro diâmetro externo das polias (menor e maior, respectivamente) conforme mostrado na Figura 3. Isso implica que haverá uma folga dimensional total de aproximadamente 36 mm, e consequentemente, haverá um distanciamento por igual de 18 mm entre cada extremidade das polias e a parede da capa da CVT.

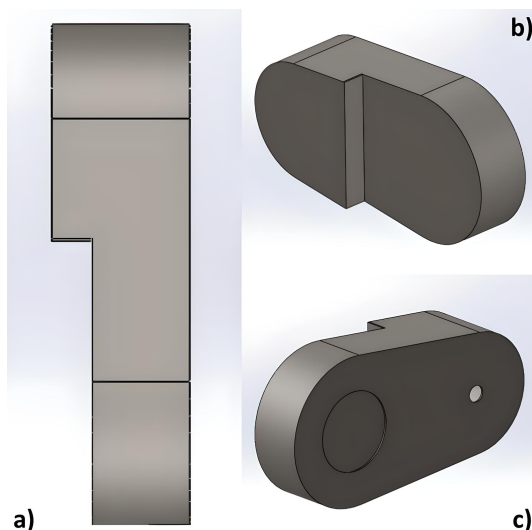
FIGURA 3. Dimensão da distância máxima entre os diâmetros externos das polias menor e maior da transmissão CVT em vistas ortogonais.



Fonte: Autor (2024).

Analisando os resultados de modo visual a partir da modelagem da capa da transmissão CVT em sua vista superior (a), vista isométrica frontal (b) e vista isométrica traseira (c), conforme Figura 4 a seguir, observa-se que a estrutura desta capa protetora apresenta uma dimensão visual adequada e moldada conforme a dimensão estrutural da transmissão continuamente variável (CVT), mostrando-se estar aceitável no cumprimento do objetivo para o qual fora proposto.

FIGURA 4. Capa da transmissão CVT em vistas superior a), isométricas frontal b) e traseira c).

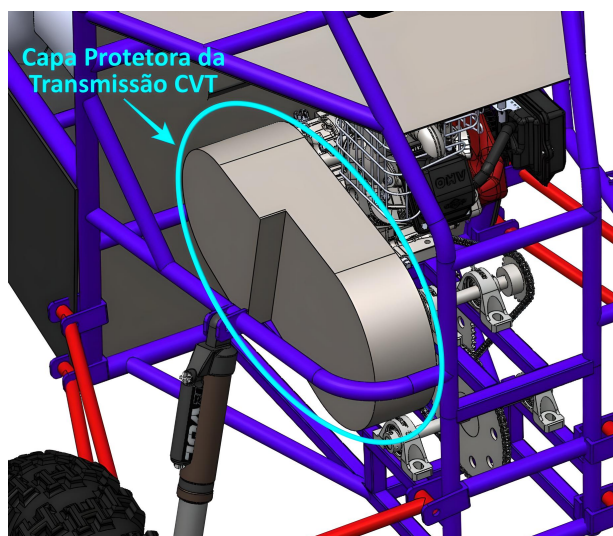


Fonte: Autor (2024).

3.2 Validação dimensional e visual da capa de proteção acoplada ao sistema do powertrain

Em relação à análise de validação da dimensão visual da capa de proteção da CVT acoplada ao sistema do powertrain, demonstrando possuir uso adequado do espaço, pode-se observar conforme Figura 5 a seguir. É possível perceber que a estrutura desta capa protetora apresenta construção adaptada especificamente para a dimensão estrutural da transmissão CVT, mostrando-se estar dentro da tolerância para a qual fora projetada.

FIGURA 5. Vista isométrica frontal da capa da transmissão continuamente variável (CVT).



Fonte: Autor (2024).

O regulamento administrativo e técnico da competição Baja SAE Brasil de 2023 apresenta restrições bem delimitadas quanto ao comprimento máximo do veículo, não devendo este ultrapassar 2,74 m de sua dimensão longitudinal. Isso implica dizer que o comprimento da capa obtida está em consonância ao regulamento supracitado, uma vez que não altera de modo significativo acima do permitido a dimensão final do veículo projetado pela equipe BAJAÇAÍ, já que este possui como dimensão longitudinal, um comprimento total de 1,90 m.

4. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados mediante as análises, apontaram que tanto a avaliação visual em perspectivas diferentes da capa protetora quanto a sua adequação ao espaço designado, mostraram-se consistentes em termos dimensionais, garantindo o tamanho adequado da capa acoplada ao elemento de transmissão CVT do sistema de powertrain, resultando em uma capa protetora com aparência física satisfatória e variações dimensionais adequadas.

Além disso, a capa protetora e a polia proporcionam uma margem mínima aceitável da ordem de 36 mm, ou seja, haverá um distanciamento de 18 mm por igual para cada lado, significando que há uma boa folga dimensional entre cada polia e a parede da capa da CVT, permitindo que a energia térmica residual do atrito gerado pelo movimento relativo entre a polia e a corrente transmissora de movimento, seja dissipada através da transferência de calor por convecção por meio do material da capa protetora, o que contribui para uma melhor segurança e confiabilidade primordiais ao projeto, para que este enfrente as condições exigidas nas provas.

Deste modo, esta capa buscará cumprir de forma eficaz sua função de proteção dos indivíduos próximos ao elemento transmissor de movimento, ao mesmo tempo em que protege a transmissão CVT contra intempéries, conforme exigido pelos regulamentos administrativos e técnicos da competição Baja SAE Brasil 2023 e em consonância aos requisitos da Norma Regulamentadora 12 referente a máquinas e equipamentos, ressaltados no tópico “12.5 Sistemas de segurança”, e destacados os incisos 12.5.1; 12.5.9 e 12.5.9.1, conforme em anexos.

Com base nisso, é possível concluir que a capa protetora das partes móveis do elemento de transmissão CVT, fabricada a partir de alumínio reciclado proveniente de descarte e utilizando-se o modelo de gabarito gerado por impressão 3D, contribuirá para uma solidificação bem-sucedida.

5. TRABALHOS FUTUROS

Com o intuito de aprimorar a qualidade do produto, futuras etapas de desenvolvimento e otimização, a exemplo de análises e ensaios que oferecerão *insights* e informações cruciais sobre o

comportamento do material, para assim garantir a eficácia da capa de proteção obtida por meio do processo de fundição em cenários extremos, protegendo dessa forma, a transmissão CVT contra quaisquer possíveis danos. Neste sentido, algumas propostas de trabalhos futuros são sugeridas:

5.1 Análises metalográficas e de ensaios mecânicos

Efetuar análises laboratoriais de metalografia para investigar as micro e macroestruturas, com o objetivo de identificar os constituintes presentes no material, possibilitando a realização de estudos futuros sobre a viabilidade do uso de um pós-processamento, tal como tratamento térmico, para melhorar significativamente suas propriedades de resistência mecânica e elétrica.

Além disso, poderá-se conduzir ensaios mecânicos, incluindo testes de líquido penetrante, dureza e/ou microdureza, bem como ensaios de esforços mecânicos individuais ou combinados, como tração, compressão, impacto, flexão, entre outros.

5.2 Análises de tensão e deformação máximas

Realizar análise sobre a tensão de escoamento limite que seja adequada para resistir aos impactos de peças soltas dentro da capa da transmissão CVT e para suportar a energia elástica máxima antes de deformar.

Além de realizar análise numérica por elementos finitos visando obter o comportamento mecânico do quantitativo máximo de deformação elástica que a capa de proteção da CVT suportará antes de sofrer uma deformação plástica, isto é, permanente, executada através da ferramenta de modelagem CAD software *SolidWorks*.

REFERÊNCIAS

Básica

ABAL - Associação Brasileira do Alumínio, [c2023]. **Alumínio: História do alumínio**. Disponível em: <https://abal.org.br/aluminio/historia-do-aluminio/>. Acesso em: 31 de Janeiro de 2023.

ASM HANDBOOK, 2004. **Volume 9: Metallography and Microstructures**. ASM International (American Society for Metals), Materials Park, Ohio, USA, 2004.

ESAB - Elektriska Svetsnings Aktie Bolaget, [c2023]. **Como e por que elementos de liga são adicionados ao alumínio.** Disponível em: [https://esab.com/br/sam_pt/esab-university/articles/how-and-why-alloying-elements-are-added-to-aluminum/#:~:text=Sil%C3%ADcio%20\(Si\)%204xxx%20%E2%80%93%20A](https://esab.com/br/sam_pt/esab-university/articles/how-and-why-alloying-elements-are-added-to-aluminum/#:~:text=Sil%C3%ADcio%20(Si)%204xxx%20%E2%80%93%20A). Acesso em: 31 de Janeiro de 2023.

GOV.BR - Governo Federal Brasileiro, [c2024]. **NR 12 - SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS.** Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-12-atualizada-2024.pdf>. Acesso em: 07 de maio de 2024.

MACIEL, A. C. da C. **ANÁLISE DA USINABILIDADE DE UMA LIGA Al-8,0%Cu POR AVALIAÇÃO CONJUNTA DE TRÊS CRITÉRIOS.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Pará, Belém, 67 p., 2023.

MINERAÇÃO BRASIL, 2021. **Indústria do alumínio: o mineral que figura no mercado de forma competitiva, inovadora, sustentável e integrada.** Disponível em: <https://mineracao brasil.com/industria-do-aluminio-o-mineral-que-figura-no-mercado-de-forma-competitiva-inovadora-sustentavel-e-integrada/>. Acesso em: 31 de Janeiro de 2023.

RODRIGUES, G. C. **A utilização do alumínio na construção naval.** Rio de Janeiro, 2014, 75p.

SAE Brasil. **Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil - Emenda 5.** Disponível em: http://arquivos.saebrasil.org.br/2023/Baja/RATBSB_emenda_05.pdf. Acesso em: 06 de maio de 2024.

SUZANTERM, [c2023]. **Alumínio liso.** Disponível em: <https://suzanterm.com.br/exibeProdutos.php?id=3>. Acesso em: 1 de fevereiro de 2023.

VERASTEGUI, R. N., *et al.*, 2020. **Viabilidade da proteção do CVT em material compósito em um protótipo Baja.** X Seminário de Extensão e Inovação da UTFPR. Disponível em: <https://portaldeinformacao.utfpr.edu.br/Record/oai:ocs.200.19.73.15:paper-7619/Description#tabnav>. Acesso em: 3 de maio de 2024.

Complementar

ABAL - Associação Brasileira do Alumínio. **Fundamentos do alumínio**. 2. ed. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.abal.org.br/site/pdf/fundamentos-do-aluminio/001.pdf>. Acesso em: 31 de Janeiro de 2023.

ALENCAR, Averaldo. Mikael Moraes. SANTOS, Leon Denis Rodrigues dos. **A IMPORTÂNCIA DA NR-12 SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVIII, Nº. 000143, 20/11/2018. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/importancia-da-nr-12-seguranca-no-trabalho-em-maquina-s-e-equipamentos>. Acesso em: 07 de maio de 2024.

ALUFIX, 2017. **Alumínio: Tudo sobre ele e quais os impactos que pode trazer ao planeta**. Disponível em: <https://www.alufix.com.br/aluminio-tudo-sobre-ele-e-quais-os-impactos-que-pode-trazer-ao-planeta/>. Acesso em: 31 de Janeiro de 2023.

ASM HANDBOOK. **Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials**. ASM International (American Society for Metals), Materials Park, Ohio, USA, 1992.

ASSOCIAÇÃO DO ALUMÍNIO, [c2023]. **Folha de liga de alumínio comum da República Popular da China**. Disponível em: <https://www.aluminum.org/document-library/common-alloy-aluminum-sheet-peoples-republic-china>. Acesso em: 24 de out. de 2023.

BARROS, D. C.; CASTRO, B. H. R. de; VAZ, L. F. H. **Panorama da indústria de autopeças no Brasil: características, conjuntura, tendências tecnológicas e possibilidades de atuação do BNDES**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 42, p. [167]-216, set. 2015.

BONFIM, G. H. C., *et al.* **TESTE DE USABILIDADE EM VEÍCULOS OFF-ROAD: ESTUDO DE CASO COM BAJAS**. In: 1ª Congresso Internacional de Ergonomia Aplicada. 2016.

COPPERMETAL, 2022. **Tudo sobre o processo de reciclagem do alumínio**. Disponível em: <https://www.coppermetal.com.br/blog/aluminio/reciclagem-de-aluminio/>. Acesso em: 31 de Janeiro de 2023.

ECYCLE, 2015. **Impactos ambientais do alumínio e suas propriedades - eCycle**. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/aluminio/>. Acesso em: 31 de Janeiro de 2023.

ENCIMAT, [c2023]. **Alumínio – Mostra de materiais**. Disponível em: <https://www.encimat.cefetmg.br/2017/12/12/aluminio/>. Acesso em: 31 de Janeiro de 2023.

ENGENHARIA360. [c2023]. **Padrões e dados de alumínio - Aluminum Association**. Disponível em: https://www.globalspec.com/reference/26409/203279/Chapter-04-Elements-and-Properties-of-Metals/04_15_01_Aluminum_Standards_and_Data. Acesso em: 24 de outubro de 2023.

FERREIRA, J. C. M.; MARTINS, J. L.; CARDOSO, F. A. **A NATUREZA DOS ACIDENTES DE TRABALHO EVOLUÇÃO DOS REGISTROS ENTRE 2019 E 2020**. Anais do Congresso Internacional de Engenharia Mecânica e Industrial. São Paulo (SP) CREA-SP, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/xxiiconemi/558132-A-NATUREZA-DOS-ACIDENTES-DE-TRABALHO-EVOLUCAO-DOS-REGISTROS-ENTRE-2019-E-2020>. Acesso em: 29 de Janeiro de 2024.

FILHO, P. J. C. M. **FUNDIÇÃO EM AREIA A VERDE: UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL**. Trabalho de Conclusão de Curso em Ciências Exatas E Tecnológicas. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Cruz das Almas, 60 p., 2016.

Imaizumi, D. R., *et al.* **Desenvolvimento de um sistema de arrefecimento para câmbios CVT utilizados em protótipos BAJA SAE**. Universidade São Judas. 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/32070>. Acesso em: 24 de outubro de 2023.

HENRIQUE, G. *et al.*, 2016. **TESTE DE USABILIDADE EM VEÍCULOS OFF-ROAD: ESTUDO DE CASO COM BAJAS**. Blucher Engineering Proceedings, 1 dez. 2016.

KAHL, M., 2003. **Ciclo de vida da lata de bebida de alumínio: estágios do ciclo de vida**. Disponível em: <https://aluminum.org/sites/aluminum.org/files/Aluminum-Association-2003-Life-Cycle-Research.pdf>. Acesso em: 24 de outubro de 2023.

LIMA, A. F. de. **MOJAVE: Veículo leve de lazer fora-de-estrada**. Trabalho de Conclusão de Curso em Design. Universidade de Brasília, Brasília, 89 p., 2018. Disponível em:

https://bdm.unb.br/bitstream/10483/22888/1/2018_AlefeFilipeDeLima_tcc.pdf. Acesso em: 24 de outubro de 2023.

LORENZZON, A. L. **DESENVOLVIMENTO DE UMA PROTEÇÃO PARA A TRANSMISSÃO DE UM VEÍCULO BAJA SAE**. Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. FAHOR - Faculdade Horizontina, Faculdade Engenharia Mecânica, Horizontina, 61 p., 2017. Disponível em: https://fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng_Mecanica/2017/AugustoLeonardoLorenzzon.pdf. Acesso em: 7 de maio de 2024.

MANUTENÇÃO E SUPRIMENTOS, 2018. **Quais são os setores da economia**. Disponível em: <https://www.manutencaoessuprimentos.com.br/quais-sao-os-setores-da-economia/#gsc.tab=0>. Acesso em: 31 de Janeiro de 2023.

PINTO, R. dos S. **Design Baja: a criação de um setor de design dentro da equipe PAC Baja-UNESP Bauru**. 2016.

RESEARCH GATE, 2023. **Teste de usabilidade em veículos of road: Estudo de caso com bajas**. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Renato-Pinto-6/publication/311610106_TESTE_DE_USABILIDADE_EM_VEICULOS_OFF-ROAD_ESTUDO_DE_CASO_COM_BAJAS/links/59c42997a6fdccc7190daa7f/TESTE-DE-USABILIDADE-EM-VEICULOS-OFF-ROAD-ESTUDO-DE-CASO-COM-BAJAS.pdf. Acesso em: 24 de outubro de 2023.

SCHEID, A. **LIGAS DE ALUMÍNIO: MATERIAIS PARA ENGENHARIA**. Universidade Federal do Paraná - UFPR/2010 - PROF. SCHEID. [s.l.: s.n.]. Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM052/Prof.Sheid/Aula_Aluminio.pdf.

SCHWARZ, 2022. **Conheça as ligas de alumínio**. Disponível em: <https://www.schwarz.com.br/blog-conheca-as-ligas-de-aluminio/>.

SDRUMMOND, [s.d.]. **Ciclo de vida da latinha de alumínio**. Disponível em: <https://www.amda.org.br/index.php/comunicacao/ciclo-de-vida/2765-ciclo-de-vida-da-latinha-de-aluminio>. Acesso em: 24 de outubro de 2023.

SENAI. **MATERIAIS**. Módulos especiais - Mecânica. Material didático extraído do módulo “Universo da mecânica” do telecurso profissionalizante 2000. Divisão de Recursos Didáticos da Diretoria de Educação do Departamento Regional do SENAI-SP. 257 páginas.

SLIDEPLAYER, 2018. **Os setores da economia: A economia de um país pode ser dividida em setores (primário, secundário e terciário) de acordo com os produtos produzidos**. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/12177429/>. Acesso em: 31 de Janeiro de 2023.

SOCIENTIFICA, 2022. **Os 10 elementos mais abundantes da crosta terrestre**. Disponível em: <https://socientifica.com.br/os-10-elementos-mais-abundantes-da-crosta-terrestre/#:~:text=O%20alum%C3%ADnio%20comp%C3%B5e%20cerca%20de>. Acesso em: 31 de Janeiro de 2023.

TELECURSO, 2000. **Materiais: 12 Ligas de Alumínio**. Disponível em: <https://youtu.be/Y67b5WPbnMg?si=7jOkwqVugvYxHs3t>. Acesso em: 17 de novembro de 2023.

TIGERSALU, [c2023]. **Bobina de alumínio 3104 para fornecedor de latas na China, material de latas de alumínio para venda - Tigers Aluminium**. Disponível em: <https://www.tigersalu.com/pt/product/3104-aluminio/>. Acesso em: 17 de novembro de 2023.

TODA MATÉRIA, [c2023]. **Tipos de indústrias: resumo, classificação, exemplos**. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/tipos-de-industrias/>. Acesso em: 31 de Janeiro de 2023.

ANEXOS

ANEXO I. Norma Regulamentadora 12, tópico 12.5, inciso 12.5.1.

12.5 Sistemas de segurança.

12.5.1 As zonas de perigo das máquinas e equipamentos devem possuir sistemas de segurança, caracterizados por proteções fixas, proteções móveis e dispositivos de segurança interligados, que resguardem proteção à saúde e à integridade física dos trabalhadores.

Fonte: GOV.BR - Governo Federal Brasileiro, [c2024].

ANEXO II. Norma Regulamentadora 12, tópico 12.5, incisos 12.5.9 e 12.5.9.1.

12.5.9 As transmissões de força e os componentes móveis a elas interligados, acessíveis ou expostos, desde que ofereçam risco, devem possuir proteções fixas, ou móveis com dispositivos de intertravamento, que impeçam o acesso por todos os lados.

12.5.9.1 Quando utilizadas proteções móveis para o enclausuramento de transmissões de força que possuam inércia, devem ser utilizados dispositivos de intertravamento com bloqueio.

Fonte: GOV.BR - Governo Federal Brasileiro, [c2024].

AGRADECIMENTOS

Agradeço primariamente à Deus por me capacitar e conceder-me a luz da sabedoria, primordial para o desenvolvimento deste trabalho científico. Abarcam-se também neste agradecimento a cada um dos envolvidos ao projeto BAJAÇAÍ, em especial ao capitão da equipe Yoshi Tsugawa, incluindo também, a cada um dos integrantes pertencentes aos seus respectivos laboratórios localizados na Faculdade de Engenharia Mecânica (LABEM/FEM) na Universidade Federal do Pará (UFPA – Campus Belém), auxiliando com dedicação e amizade, nas etapas dos processos que foram realizados dentro destes, em especial ao Laboratório de Metalografia e Tratamentos Térmicos do Grupo de Pesquisa em Engenharia de Materiais (GPEMAT), permitindo apresentar um melhor aprendizado ao longo desta pesquisa, agradecendo-se também, por fim, ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFPA – Campus Belém) no trabalho conjunto de orientar-nos e dar todo o suporte necessário, desempenhando tal função com muito afinho e atenção a cada atividade e passo efetuados.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.