

## 14º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2023

### SELEÇÃO DE TRANSMISSÃO CONTINUAMENTE VARIÁVEL PARA VEÍCULOS BAJA SAE.

Victor H. A. Sipoli<sup>1</sup>, Aldo M. Y. Rigatti<sup>2</sup>

1 Graduando em Engenharia de Controle e Automação, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Catanduva, [v.sipoli@aluno.ifsp.edu.br](mailto:v.sipoli@aluno.ifsp.edu.br).

2 Docente do IFSP, Câmpus Catanduva, [rigattialdo@ifsp.edu.br](mailto:rigattialdo@ifsp.edu.br)  
Área de conhecimento (Tabela CNPq): 4.05.04.03-1 Elementos de Máquinas

**RESUMO:** A Sociedade dos Engenheiros Automotivos (Society of Automotive Engineers SAE) promove competições chamada Baja SAE para testar as habilidades dos estudantes e entusiastas pela criação de um veículo fora de estrada do tipo gaiola. Visando o melhor desempenho, tais veículos usam uma transmissão continuamente variável (continuously variable transmission - CVT), que é um tipo de transmissão com marcha infinita que não necessita de intervenção do condutor, se adaptando a rotação e torque de forma independente. Assim este trabalho analisa e seleciona uma CVT para aplicação em um veículo Baja no intuito de obter um veículo com um trem de força otimizado para o máximo desempenho. Na seleção diversos parâmetros foram estudados para o enquadramento com o motor *Briggs & Stratton, OHV Vanguard Model 19* padrão para a competição. Com diversas restrições de torque, potência, orçamento e disponibilidade nacional, foi selecionada a CVT usado nas scooters marca Daфра modelo Citycom 300. A CVT escolhida apresenta aplicação adequadas, tendo parâmetros superiores ao motor padrão e uma relação de ampliação 4,15:1 e redução 0,28:1 mostrando que a escolha apresenta um poder de variação desejável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Baja SAE; CVT; trem de força

### CONTINUOUSLY VARIABLE TRANSMISSION SELECTION FOR BAJA SAE VEHICLES.

**ABSTRACT:** The Society of Automotive Engineers SAE promotes competitions called Baja SAE to test the skills of students and enthusiasts for creating a cage-type off-road vehicle. Aiming at the best performance, such vehicles use a continuously variable transmission (CVT), which is a type of transmission with infinite gear that does not require the intervention of the driver, adapting the rotation and torque independently. Thus, this work analyzes and selects a CVT for application in a Baja vehicle in order to obtain a vehicle with a power train optimized for maximum performance. In the selection, several parameters were studied for framing with the Briggs & Stratton engine, OHV Vanguard Model 19 standard for competition. With several restrictions on torque, power, budget and national availability, the CVT used in Daфра model Citycom 300 scooters was selected. reduction 0.28:1 showing that the choice has a desirable power of variation.

**KEYWORDS:** Baja SAE; CVT; Powertrain

### INTRODUÇÃO

O Baja SAE é idealizado e organizado pela Sociedade dos Engenheiros Automotivos (SAE), com a finalidade de promover competições, testando o conhecimento e desenvolvimento dos estudantes. Os alunos trabalham em equipes para promover um veículo fora de estrada do tipo gaiola, dentro dos limites das regras, além de gerenciar o apoio financeiro e suas prioridades educacionais (Baja SAE Nacional). Para extrair a maior eficiência possível do motor padrão da competição as equipes usam uma transmissão continuamente variável (CVT). O emprego da CVT dispensa a intervenção direta do condutor, pois ela adapta-se “automaticamente” para qualquer condição de torque e potência e tem “marcha infinita”, assim, não há limitação de marcha e diminui solavancos e ruídos no sistema (Rodrigues, 2011).

Atualmente CVT's não são aplicados apenas na automatização de veículos padrões, como também em veículos elétricos puros, podendo realizar o aumento ou diminuição da rotação sem a interrupção da força aplicada (Ruan, 2017). Na agricultura tem sua aplicação em tratores e máquinas

agrícolas em geral, auxiliando no menor consumo de combustível e maior velocidade comparado a tratores com o Full Powershift (FPS), que é uma espécie de embreagem que permite troca de marcha sem acionar o pedal (Neto *et al.*, 2022). Tal forma de expansão para o uso da CVT demonstra sua múltipla aplicabilidade e expondo um nicho de estudo promissor para o futuro, não apenas para veículos de linha, mas também para uma inovação agrícola e energética de todos os motorizados terrestres.

O presente trabalho tem como analisar o funcionamento e selecionar uma CVT para aplicação em um veículo baja. Com o estudo espera-se obter um veículo com um trem de força otimizado para o máximo desempenho.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Métodos de Pesquisa

Após está etapa, realizou-se o processo de triagem das CVT, tabulando as mais utilizadas por outras equipes, as que apresentem maior eficiência de funcionamento, preço e disponibilidade no mercado nacional, para assim realizar a seleção de qual a melhor opção ao projeto.

As pesquisas foram realizadas para obtenção de informações e fornecer um melhor entendimento do funcionamento de uma CVT, seus benefícios e aplicações. Para isso foram utilizados os bancos de dados da Universidade de São Paulo (USP), Google Acadêmico e SciELO, para busca de artigos e textos científicos, para maior objetividade, usou-se como palavras chaves: CVT; Baja Sae; Powertrain; modelagem de CVT para veículos baja. As pesquisas tornaram possíveis a realização das revisões bibliográficas acerca do assunto e analisar quais os modelos os que mais agregavam ao nosso projeto, como a ideia expressa por GIL (2008), onde um tema de pesquisa pode ser muito amplo em seu modo geral, mas pode ser filtrado e afinado com as definições corretas em seu levantamento bibliográfico.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Funcionamento da CVT

A maneira mais pratica para entender um problema consiste em considerar aquilo com que se está trabalhando (GIL, 2008), assim define-se uma CVT, como vista na Figura 1, segundo Manavella (2006) sendo formada por duas polias de diâmetros variáveis, com uma correia de borracha como elemento transmissor de torque entres as variações das polias. A polia principal ou motora é composta por duas placas cônicas, uma fixada ao eixo de entrada e uma deslizante pelo eixo com uma correia em ‘V’ realizando a transmissão entre as placas. A polia secundaria ou movida, também é composta por duas placas cônicas, uma fixa e uma deslizante em seu próprio eixo, forçada por molas de compressão através da rotação aplicada.

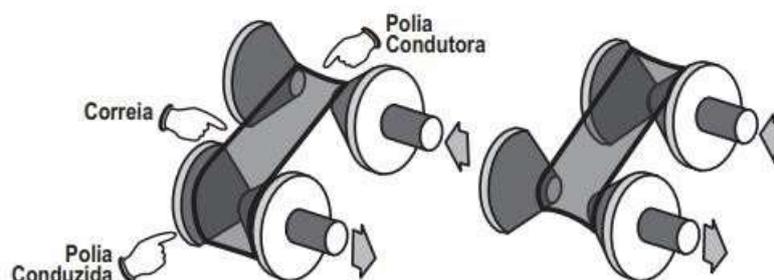


Figura 1: CVT, Manavella, 2006

Dessa forma, assim como dito em Manavella (2006), em seu estado inicial, na polia motora, a rigidez axial da correia a faz permanecer no seu menor diâmetro e a polia movida em seu diâmetro máximo, proporcionando alto torque e uma baixa rotação, ou seja, menor rotação na entrada, maior rotação na saída da CVT, essencial para retirar o veículo de seu estado de inercia. À medida que se ganha velocidade, para altas rotações é exigido um baixo torque, assim, o diâmetro da polia motora aumenta e da movida diminui. Essa variação de diâmetro e proporcionado por um conjunto de roletes,

de controle deslizante, onde, na motora, em baixas rotações, mantém-se no centro polia, com o aumento da rotação, a força centrípeta força os roletes para as periferias das placas, permitindo essa variação e dinamicidade no sistema.

### **Evolução da CVT**

Assim como todo equipamento, a CVT evolui durante o tempo, esse conceito foi idealizado por Leonardo da Vinci, em 1490, segundo o colunista da revista Quatro Rodas, Rodriguez (2017), porém a primeira patente deste foi feito apenas em 1886 e utilizado em larga escala pela marca holandesa DAF referência no ramo de caminhões, cujo nome dado a CVT era Variomatic, estreado no DAF 600 (Figura 2) em 1958.



Figura 2: DAF 600, Rodriguez, 2017

Essa primeira CVT era primitiva em relação as atuais, posicionado na traseira do veículo e acionada por dois tambores de vácuo com duas correias de borracha que passam por polias e enviavam força para outras polias ligadas às juntas homocinéticas, assim era a admissão do motor que gerava o vácuo dos tambores. E no meio-final de década de 70, tal CVT foi adquirida pela Van Doorne, e o mesmo câmbio passou a ser usado no Volvo 340, que hoje pertence a Bosch, como cita Rodriguez (2017).

Na década seguinte, o Subaru Justy veio junto com um câmbio CVT desenvolvido em conjunto com o mesmo modelo da Van Doorne, onde ela adquiriu a empresa Subaru e adaptou o sistema de transmissão em seu novo *hatch*, sendo o primeiro com controle eletrônico, trabalhando na relação certa para a rotação do motor, sendo, como pontua Rodriguez (2017), como pt mais eficiente que os carros automáticos da época.

Durante os próximos anos, a evolução foi concentrada na evolução de gerenciamento eletrônico e na redução de atrito de seus componentes e hoje é amplamente aplicado em carros híbridos pela sua versatilidade e autonomia, Rodriguez (2017).

Já na agricultura, a transmissão sempre é um ponto chave na eficiência de tempo e energia das colheitas, conforme Neto *et al.* (2022), a implementação da CVT nos tratores, por exemplo, proporcionou uma redução notável de rotação, assim, um torque mais elevado, deixando o sistema mais robusto e aplicando uma potência motora mais significativa. Farias *et al.* (2017) avaliaram a eficiência de consumo de combustível de um trator equipado com transmissão CVT, em diferentes velocidades de deslocamento e cargas parciais na barra de tração do trator, e constataram que, em geral, o consumo específico de combustível diminuiu à medida que as cargas parciais e as velocidades aumentaram. Já Ruan *et al.* (2018) ditam que os veículos elétricos puros são alternativas promissoras, devido a sua excelente eficiência energética, junto a aplicação de CVT's ajudaria numa maior transmissão multivelocidade, aumentando a eficiência e trabalho do motor sem interrupção de energia fornecidas, aumentando a vida útil da bateria, além da relação infinita (dentro do intervalo determinado).

### **Seleção da CVT**

A fim de realizar uma análise das melhores opções de mercado, observa-se as CVT's utilizadas pelas equipes mais tradicionais da competição, assim, levantou-se os dados disponibilizados pelas mesmas e tem-se a tabela abaixo.

TABELA 1\*. Tabela comparativa entre as CVT's utilizadas pelas equipes de Baja

Marca	Modelo	Equipe	Instituição
CVTech	PBW 80	Bajarara	Uniararas-SP
Gaged	GX9-Baja	Piratas do Vale	Unesp – Guaratinguetá-SP
Comet Industries	770+790	Vitória Baja	UFES-ES
CVTech	(não informado)		PUC Rio-RJ
Comet Industries	780	BAJUTA UNITAU	Universidade de Taubaté-SP
Comet Industries	790	Poli Baja	USP Poli-SP
Comet Industries	780	Siara Baja	UFC-CE

\* valores significativos retirados de sites e documentos das equipes

Com tal levantamento, fora realizado uma pesquisa no mercado sobre tais marcas e modelos que elucidou a dificuldade de aquisição das mesmas, seja pela necessidade de importação, ora pelo fato dos fornecedores optarem por não vender, como, por exemplo, os representantes regionais da Branco Motores, distribuidora e revendedora dos componentes da marca Briggs no Brasil, os representantes da marca CVTech, que não informaram um motivo claro da não venda, e em relação a marca Comet e similares são de custos mais elevados, que sobrepujavam o orçamento disponível previsto para esse fim. Dessa forma, realizou-se pesquisas, nos moldes já descritos, em busca de alternativas possíveis.

Dessa forma, observa-se que a marca Comet Industries e a CVTech estão entre as mais utilizadas pelas equipes analisadas, porém, com as buscas de mercado realizadas, observou-se que os modelos das marcas não estão amplamente disponíveis no mercado nacional, elevando seu preço, além dos fornecedores da marca optarem por não vender o modelo de CVT específica, como já citado, assim, como alternativas acessíveis, observa-se a CVT usada no modelo Citycom 300, da marca Dafra e do modelo PCX 150, da marca Honda.

Para tal, fora comparado os motores das motocicletas que sejam parecidas com o motor especificado pela organização da competição, resultando na tabela a seguir:

TABELA 2\*. Tabela comparativa entre os motores de motocicletas selecionadas

Motor	Citycom 300	Briggs (Padrão Baja)	PCX 150
Motor	mono 4 tempos /OHC / 263,7 CC	mono 4 tempos / OHV / 305 CC	mono 4 tempos / SOHC / 149,3 CC
Diâmetro x Curso (in)	2,874 x 2,48	3,12 x 2,44	2,26 x 2,28
Compressão	10:01	08:05:01	10,6:1
Potência (cv/rpm)	23 a 7500	10 a 3600	13,1 a 8500
Torque (kgf/rpm)	2,4 a 5500	1,83 a 3600	1,36 a 5000

\*valores significativos retirados de sites e documentos dos fabricantes

Os resultados obtidos mostram que as marcas mais adaptativas para o projeto, dentro das especificações do motor *Briggs & Stratton OHV Vanguard Model 19*, não são integralmente viáveis, pois além das limitações orçamentárias, tem-se a dificuldade de achar peças de reposição dentro do território nacional, dessa forma, afinando as definições, tem-se que a CVT da Citycom 300 (Figura 3) é a melhor alternativa para o projeto, pois tem grande disponibilidade e preços mais acessíveis, porém necessitará de uma maior adaptação e calibração para atender ao projeto.



Figura 3: CVT da Citycom 300 adquirida - *Próprio Autor*

Com a CVT adquirida, fora obtido os seguintes diâmetros expostos na tabela a seguir:

TABELA 3\*. Tabela dos diâmetros internos e externos das polias primarias e secundarias da CVT

Polias	Diâmetro Interno [mm]	Diâmetro Externo [mm]
Primaria	40,81	38,84
Secundaria	140,02	168,98

\*valores significativos medidos pelo próprio autor

Para os cálculos da relação da CVT, fora usado o método dado pelo MELCONIAN (2019), como a fórmula a seguir:

$$i = \frac{d_2}{d_1} \quad (I)$$

i: relação entre correias

$d_2$ : diâmetro de encaixe da correia da polia maior

$d_1$ : diâmetro de encaixe da correia da polia menor

Logo, tem-se, para CVT, a seguinte relação de ampliação e redução:

$$i = \frac{168,98}{40,81} = 4,14$$

$$i_{red} = \frac{38,84}{140,02} = 0,28$$

Assim temos a relação de ampliação 4,14:1 e redução 0,28:1 mostrando que a escolha amplifica as rotações em mais de 4 vezes e reduzir mais de 3,5 vezes.

## CONCLUSÕES

Após a pesquisa de CVT's utilizadas, análise de mercado e comparação de parâmetros, observa-se que a CVT da scooter da marca Dafra modelo Citycom 300 foi a mais acessível para a equipe, uma vez que ela é de mais fácil aquisição no mercado e tem grande disponibilidade de peças de reposição.

Com CVT adquirida foram calculados a relação de ampliação e redução da mesma, sendo respectivamente de 4,15:1 e 0,28:1, mostrando que a escolha apresenta um alto poder de variação. Futuramente serão realizadas as análises para calibração e acoplagem da CVT com o motor, para melhor eficiência e proveito ao projeto.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Aldo .M.Y.R contribui nas bases estruturais de confecção de projetos, indicações e ensinamentos básicos de metrologia. Victor Hugo A.S. procedeu com a confecção e comprovação experimental, levantamento de dados e redação do trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, o *campus* dos IFSP em Catanduva, pelo auxílio e apoio, ao professor, Aldo Rigatti, orientador do projeto, que sempre esteve disposto para retirar as dúvidas recorrentes do dimensionamento, aquisição de dados e pela ajuda em todo o desenvolvimento e a todos as equipes do projeto Baja campus Catanduva, que auxiliaram no decorrer do desenvolvimento inicial do projeto.

## REFERÊNCIAS

Baja SAE Nacional. SAE® Brasil. Disponível em: <https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sae-brasil/>. Acesso em: maio. 2022.

GIL, A.C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176p.

FARIAS, M.S. *et al* (2017) Fuel consumption efficiency of an agricultural tractor equipped with continuously variable transmission. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 6, p. 1-7, 2017.

MANAVELLA. J.H. **Eletroeletrônica automotiva: aplicações avançadas**. 1 ed. São Paulo: HM Autotrônica Publicações, 2006. il.

MELCONIAN. S. **Elementos de Máquinas**. 10 ed. São Paulo: Érica, 2019. 384 p.

NETO, L.S. *et al*. Energy efficiency of agricultural tractors equipped with continuously variable and full powershift transmission systems. **Engenharia Agrícola**, v. 42, n. 1, fev. 2022.

RODRIGUES. M. R. **Estudos teórico e experimental de uma transmissão continuamente variável para veículo Baja SAE**. 2011. 94p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

RODRIGUEZ, H. **O primeiro câmbio CVT de produção era um negócio bem maluco**. São Paulo: Quatro Rodas, 2017. il. Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/o-primeiro-cambio-cvt-de-producao-era-um-negocio-bem-maluco/>. Acesso em: ago/2022.

RUAN, J; *et al*. Development of continuously Variable Transmission and multi-speed dualclutch transmission for pure electric vehicle. Artigo de Edição Especial – **Advances in Mechacinal Engineering**. 15p. 2022