

**COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE DOIS TRATORES  
AGRÍCOLAS EQUIPADOS COM DIFERENTES TRANSMISSÕES:  
CONTINUAMENTE VARIÁVEL (CVT) E FULL POWERSHIFT (FPS)**

**LAURO STRAPASSON NETO<sup>1</sup>, LEONARDO LEONIDAS KMIECIK<sup>2</sup>, GABRIÉLE  
SANTIAGO DE CAMPOS<sup>3</sup>, DANIEL SAVI<sup>3</sup>, THIAGO XAVIER DA SILVA<sup>3</sup>, SAMIR  
PAULO JASPER<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Graduando em Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Fone:41 987550089, [laurostrapasson@ufpr.br](mailto:laurostrapasson@ufpr.br), Curitiba – PR;

<sup>2</sup>Engenheiro Agrônomo, Mestrando no Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, UFPR/Curitiba-PR;

<sup>3</sup>Graduandos em Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR;

<sup>4</sup>Engenheiro Agrônomo, Prof<sup>o</sup> Dr. Adjunto, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA) – UFPR/Curitiba-PR;

Apresentado no  
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020  
23 a 25 de novembro de 2020 – Congresso On-line

**RESUMO:** A eficiência da transmissão do trator agrícola vem sendo aprimorada com o passar dos anos, chegando ao mercado brasileiro novos conceitos, como a Transmissão Continuamente Variável (CVT) e a transmissão automática Full Powershift (FPS), ambas as opções buscam oferecer ao agricultor maior resultado operacional com menor gasto energético, fazendo-se necessários estudos para transmitir a eficácia dessas tecnologias, definindo a melhor escolha para cada finalidade. O objetivo do experimento foi avaliar eficiência energética de dois tratores com transmissões distintas. O experimento foi conduzido no delineamento em faixas, com arranjo fatorial duplo (2x4), sendo o primeiro fator, trator com transmissão CVT ou FPS, e segundo fator, quatro diferentes velocidades alvo, com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey ou análise de regressão. O trator com transmissão FPS foi mais eficiente energeticamente na maioria dos parâmetros analisados, exigindo 16,31% a menos no consumo horário de combustível, e proporcionando 16,29% a mais no rendimento na barra de tração, porém, com velocidade operacional menor em relação ao trator com transmissão CVT.

**PALAVRAS-CHAVE:** máquinas agrícolas, performance, consumo de combustível

**COMPARISON OF THE ENERGY PERFORMANCE OF TWO AGRICULTURAL  
TRACTORS EQUIPPED WITH DIFFERENT TRANSMISSIONS: CONTINUOUSLY  
VARIABLE (CVT) AND FULL POWERSHIFT (FPS)**

**ABSTRACT:** The efficiency of agricultural tractor transmission has been improved over the years, reaching the Brazilian market with new concepts such as Continuously Variable Transmission (CVT) and Full Powershift (FPS) automatic transmission. Both options seek to offer the farmer greater operational results with lower energy expenditure, making it necessary to conduct studies to transmit the effectiveness of these technologies, defining the best choice for each purpose. The objective of the experiment was to evaluate the energy efficiency of two tractors with different transmissions. The experiment was conducted in band design, with a double factor arrangement (2x4), the first factor being a tractor with CVT or FPS transmission, and the second factor, four different target speeds, with five repetitions, totaling 40 experimental units. The results were submitted to analysis of variance and Tukey test or regression analysis. The tractor with FPS transmission was more energy efficient in most of the analyzed parameters, requiring 16.31% less in hourly fuel consumption, and

providing 16.29% more in the traction bar yield, however, with lower operational speed in relation to the tractor with CVT transmission.

**KEYWORDS:** agricultural machinery, performance, fuel consumption

**INTRODUÇÃO:** A transmissão é responsável pela transferência de força, rotação e torque do motor até as rodas. A principal função da transmissão é a variação de torque e velocidade, em um conjunto de combinações (PARK et al., 2016). Diante das opções oferecidas pelo vasto portfólio do mercado nacional e internacional, os novos tratores agrícolas apresentam diferentes tipos de transmissão, destacando a Transmissão Continuamente Variável (CVT) e a automática Full Powershift (FPS). A transmissão CVT, funciona através de bombas e motores hidráulicos tocados pela energia do motor, em que acoplam engrenagens combinando força hidráulica e força mecânica, permitindo infinitas marchas (LINARES et al., 2010) prometendo maior desempenho operacional e energético em relação às demais. A transmissão automática FPS opera ajustando as marchas e rotação do motor através do gerenciador eletrônico, apenas com o acoplamento de engrenagens, não utilizando energia hidráulica para fornecer força ao sistema, buscando eficiência no consumo de combustível, apresentando número limitado de marchas. A velocidade operacional interfere no desempenho e qualidade da operação agrícola, influenciando na quantidade de potência que o trator disponibiliza e eficiência de tração (JASPER et al., 2016). O trator agrícola deve usar o máximo da potência do motor com o mínimo gasto de combustível (SIMIKIĆ et al. 2014), em que o consumo horário de combustível representa um dos principais custos da operação agrícola (AJDADI & GILANDEH, 2011). O objetivo do experimento foi avaliar a eficiência energética de dois tratores equipados com transmissões distintas, submetidos à esforço de tração em diferentes velocidades alvo.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi conduzido no município de Pinhais-PR, em pavimento de concreto de acordo com a ASABE (EP 496.3, 2011). O delineamento experimental adotado foi em faixas, com arranjo fatorial duplo (2x4) sendo o primeiro fator, dois tratores com diferentes transmissões, sendo elas a Transmissão Continuamente Variável (CVT)<sup>1</sup> e transmissão automática Full Powershit (FPS), e como segundo fator, quatro diferentes velocidades alvo selecionadas: 1,11; 1,67; 2,22 e 2,78 m s<sup>-1</sup>, correspondendo a 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>, denominadas de V1, V2, V3 e V4 respectivamente. Em cada tratamento, foram realizadas cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais, com 50 m de comprimento cada faixa. O trator provido da transmissão CVT, foi modelo Magnum 380, Case IH, denominado – 380 CVT –, com potência nominal de 283 kW (380 cv) e tração dianteira auxiliar (TDA). Foi montado com pneus duplos Goodyear, na dianteira 710/70R42 com pressões de 68,95 kPa (10 psi) nos internos e externos; e na traseira 780/70R34 com as pressões de insuflagem 82,74 kPa (12 psi), internos e externos, apresentando índice de avanço de 1,68%. Foi adicionado 40% de água em todos os pneus, proporcionando 21.164 kg de massa total, distribuída 40% no eixo dianteiro e 60% no eixo traseiro, a relação massa potência foi de 74,78 kg kW<sup>-1</sup> (55,69 kg cv<sup>-1</sup>). O trator dotado da transmissão automática FPS, foi modelo Magnum 340, Case IH, denominado – 340 FPS –, com potência nominal de 250

---

<sup>1</sup> A transmissão CVT do automóvel funciona através de polias de diâmetro variável (formato cônico) e cinta de aço. No trator agrícola, a transmissão CVT é constituída por bomba e motor hidráulico, que atuam sobre engrenagens proporcionando o aumento e a redução de torque a partir do fluxo de óleo hidráulico.

kW (340 cv) equipado com gerenciamento automático de produtividade (APM)<sup>2</sup> e (TDA), dispendo de 18 marchas à frente, e quatro à ré (18x4). Foi montado com pneus duplos Goodyear, na dianteira 480/70R34 com pressões de 96,5 kPa (14 psi) e 82,7 kPa (12 psi) internos e externos, respectivamente; e na traseira 710/70R42 com as pressões de insuflagem 68,9 kPa (10 psi) e 55,2 (8 psi), internos e externos respectivamente, proporcionando índice de avanço de 1,60%. Foi adicionado 40% de água em todos os pneus, proporcionando massa total de 18.625 kg, sendo distribuída 42% na dianteira e 58% na traseira, a relação de massa potência foi de 74,50 kg kW<sup>-1</sup> (54,78 kg cv<sup>-1</sup>). O experimento foi conduzido pelo método em comboio, em que cada trator utilizado no experimento tracionou, individualmente, pela barra de tração um terceiro trator, o qual atuou como freio, Case IH modelo Steiger, com transmissão 16 x 2 FullPowerShift. A frenagem foi realizada por marcha pré-estabelecida, fornecendo 103 kN (10.500 kgf) como força de tração, escolhida com base na norma ASABE 497.7 (2011), considerando superfície de concreto e trator 4 x 2 – TDA, resultando numa potência disponível na barra de tração 198,5 kW (270 cv). Durante o experimento ambos os tratores (CVT e FPS) estiveram com a TDA ligada e o tanque de combustível completo. O patinamento, a rotação do motor, o consumo horário e o específico de combustível, e a eficiência térmica do motor foram determinados segundo NETO et al. (2020). Através de radar foi determinado a velocidade operacional, em função do número de pulsos emitidos. A pressão do turbo; a força, a potência, e o rendimento na barra de tração, foram determinados segundo OIOLE et al. (2019). A frequência de aquisição de dados foi de 1 Hz, realizada conforme descrito na metodologia de JASPER et al. (2016). Os dados coletados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Brown-Forsythe). Em seguida à análise de variância, quando significativa para o primeiro fator (trator + transmissão CVT ou FPS), foi analisado as diferenças das médias pelo Teste de Tukey (análise qualitativa), e para o segundo fator (velocidade alvo) e interação, optou-se pela análise de regressão (quantitativa).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 1 estão apontados os resultados da síntese da análise de variância e do teste de médias para as variáveis analisadas. Os resultados obtidos entre os tratores equipados com as diferentes transmissões apresentaram diferença significativa entre os parâmetros: PAT; RM; CHC; FBT e VO.

Tabela 1. Síntese da análise de variância e do teste de médias.

Trator (T)	PAT (%)	RM (RPM)	CHC (L h <sup>-1</sup> )	FBT (kN)	VO (km h <sup>-1</sup> )
340 FPS	3,22 A	1.756 A	39,24 B	69,97 A	6,61 B
380 CVT	2,38 B	1.548 B	46,89 A	68,03 B	7,13 A
Velocidade (V)					
4,0 km h <sup>-1</sup>	2,29	1.549	30,34	69,90	4,14
6,0 km h <sup>-1</sup>	2,72	1.557	37,39	69,62	6,18
8,0 km h <sup>-1</sup>	2,89	1.684	49,13	68,13	8,25
10,0 km h <sup>-1</sup>	3,31	1.818	55,40	68,34	9,52
Teste F					
T	52,42**	7.703,01**	2.143,81**	9,86*	30,89**
V	15,99**	3.715,75**	303,89**	1,07 <sup>NS</sup>	5.095,75**
T x V	0,56 <sup>NS</sup>	1.255,78**	29,28**	7,06**	5,13*

<sup>2</sup> Software que permaneceu acionado durante o experimento, atuando sobre gerenciador eletrônico da transmissão, selecionando automaticamente a relação de transmissão e a rotação do motor em função da carga da transmissão, do sistema hidráulico e da TDP, mantendo a pressão constante da embreagem, descrito por NETO et al. (2020).

Coef. Variação (%)						
T	13,06	0,45	1,21	2,84	1,81	
V	15,32	0,40	4,76	3,95	1,49	
T x V	16,66	0,37	5,90	2,86	1,69	
Normalidade						
SW	0,650	0,277	0,726	0,138	0,319	
Homogeneidade						
BF	0,917	0,735	0,042	0,892	0,033	

Parâmetros: patinamento dos rodados (PAT), rotação do motor (RM), consumo horário de combustível (CHC), força na barra de tração (FBT) e velocidade operacional (VO). Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem, entre si, pelo “Teste Tukey” ( $P < 0,05$ ). Teste F da análise de variância (ANOVA): NS – Não significativo; \* ( $P < 0,05$ ) e \*\* ( $P < 0,01$ ). CV %: Coeficiente de variação. Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk:  $SW \leq 0,05$  – Anormalidade dos dados;  $SW > 0,05$  – Normalidade nos dados. Teste de Homogeneidade das variâncias de Brown-Forsythe:  $BF \leq 0,05$  – Variâncias Heterogêneas;  $BF > 0,05$  – Variâncias homogêneas.

O patinamento diferiu estatisticamente, estando todos os resultados abaixo do intervalo recomendado pela ASABE D496.3 (2011), a qual recomenda 4% a 8% em superfície de concreto. O 340 FPS apresentou PAT 26,08% superior ao 380 CVT, por conseguinte demandando maior RM. O trator com transmissão CVT apresentou maior CHC, sendo este, 16,31% superior em relação ao com FPS, explicitando que o fluxo de óleo utilizado para fornecer força hidráulica no funcionamento dessa transmissão exige maior consumo de potência do motor, portanto, demandando maior gasto energético para conseguir manter a velocidade próxima da alvo, mesmo em menor RM. O maior consumo mesmo em menor RM foi proporcionado pelo gerenciamento eletrônico da transmissão CVT em relação a FPS, pois, a gestão eletrônica do motor não leva apenas em consideração a RM, mas também, a carga do motor. A carga do motor é superior no trator com transmissão CVT em razão da necessidade do acionamento de bomba hidráulica no seu funcionamento, enquanto a FPS não exige tal demanda energética. A FBT foi ligeiramente superior em 2,35% para o 340 FPS, a qual pode ter sido proporcionada pelo maior índice de PAT, conforme explicado por BATTIATO & DISERENS (2017), fatores esses, que podem ter contribuído em parte para a menor VO nesse fator. A maior VO observada no 380 CVT também pode ser explicada pela construção da sua transmissão, por essa permitir infinitas marchas e dispor de motor e bomba hidráulicos, possibilitando ajuste preciso da velocidade, conseguindo obter VO mais próxima da almejada em comparação à FPS, a qual fica restrita a relação de transmissão definida, conseguindo variar apenas a rotação do motor para tal. O 380 CVT expressou VO superior em 7,07%, corroborando BIETRESATO et al. (2012), que também obtiveram maior velocidade operacional com trator CVT em relação ao trator com transmissão automática. Na Tabela 2, todas as variáveis analisadas apresentaram diferença estatística entre os tratores, exceto para PT. A PBT foi superior em 6,48% para o fator 340 FPS, resultado que pode ser explicado pela maior FBT e VO expressados nesse fator, em relação ao 380 CVT. Comportamento esse, que explica o menor resultado no CEC, o qual é dado em função da PBT. O CEC ter sido superior para o fator 340 FPS indica maior eficiência na transformação de combustível em trabalho, conforme explicado por FARIAS et al. (2017).

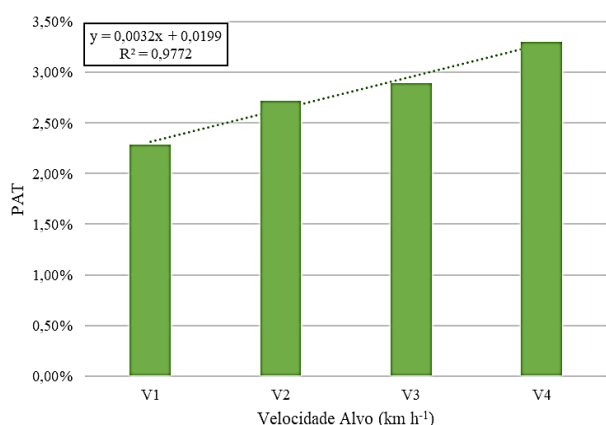
Tabela 2. Síntese da análise de variância e do teste de médias.

Trator (T)	PBT (kW)	CEC (g kW h <sup>-1</sup> )	RBT (%)	ETM (%)	PT (Bar)
340 FPS	138,60 A	252 B	55,55 A	34,62 A	1,73
380 CVT	129,62 B	310 A	46,50 B	27,73 B	1,74
Velocidade (V)					
4,0 km h <sup>-1</sup>	80,25	328	30,50	26,08	1,23

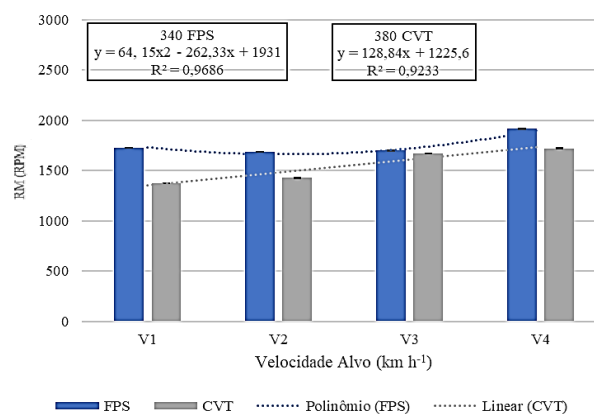
6,0 km h <sup>-1</sup>	119,55	268	45,30	32,01	1,61
8,0 km h <sup>-1</sup>	156,05	267	59,40	32,30	1,98
10,0 km h <sup>-1</sup>	180,60	262	68,90	34,30	2,12
<b>Teste F</b>					
T	119,67**	993,94**	850,94**	740,63**	0,307 <sup>NS</sup>
V	903,41**	34,26**	898,76**	33,72**	295,02**
T x V	9,07**	18,62**	21,08**	33,33**	26,07**
<b>Coef. Variação (%)</b>					
T	1,94	2,07	1,92	2,57	2,80
V	3,44	6,05	3,47	6,19	4,23
T x V	2,52	5,38	2,76	5,18	2,24
<b>Normalidade</b>					
SW	0,805	0,520	0,199	0,534	0,191
<b>Homogeneidade</b>					
BF	0,500	0,521	0,523	0,259	0,049

Parâmetros: potência na barra de tração (PBT), consumo específico de combustível (CEC), rendimento na barra de tração (RBT), eficiência térmica do motor (ETM) e pressão do turbo (PT). Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem, entre si, pelo “Teste Tukey” ( $P < 0,05$ ). Teste F da análise de variância (ANOVA): NS – Não significativo; \* ( $P < 0,05$ ) e \*\* ( $P < 0,01$ ). CV %: Coeficiente de variação. Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk:  $SW \leq 0,05$  – Anormalidade dos dados;  $SW > 0,05$  – Normalidade nos dados. Teste de Homogeneidade das variâncias de Brown-Forsythe:  $BF \leq 0,05$  – Variâncias Heterogêneas;  $BF > 0,05$  – Variâncias homogêneas.

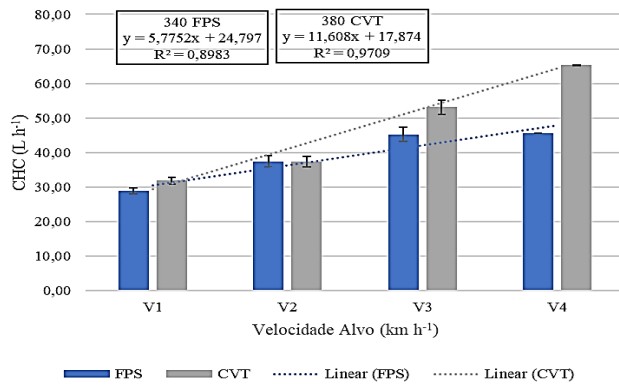
O RBT foi superior no fator 340 FPS, portanto, havendo 16,29% a mais da energia do motor disponibilizada na barra de tração para o trator dotado de transmissão FPS, em relação ao com CVT, resultado esse, que foi proporcionado pela maior PBT expressada. No parâmetro ETM, o trator 380 CVT também foi inferior, apresentando 19,90% a menos no aproveitamento de energia, quando comparado ao trator 340 FPS, esse resultado pode ser explicado pelo menor CEC. Todos os parâmetros (Tabela 1 e Tabela 2) apresentaram interação significativa, exceto o PAT, estando a correspondência entre os parâmetros em função da velocidade alvo, e as interações na Figura 1.



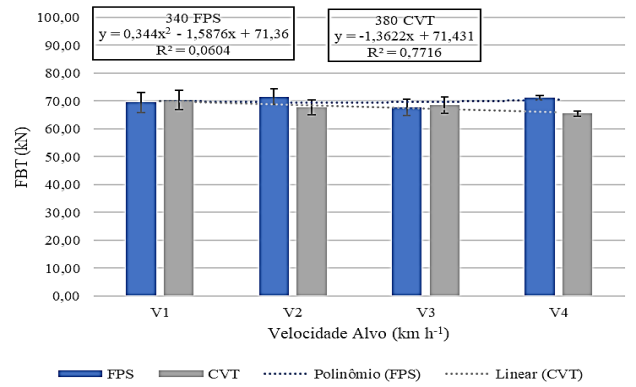
A



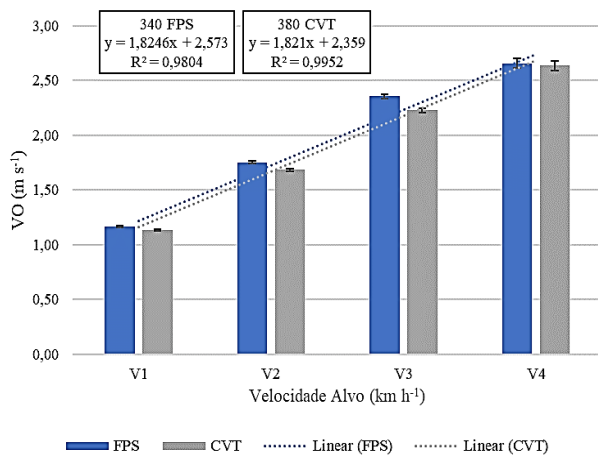
B



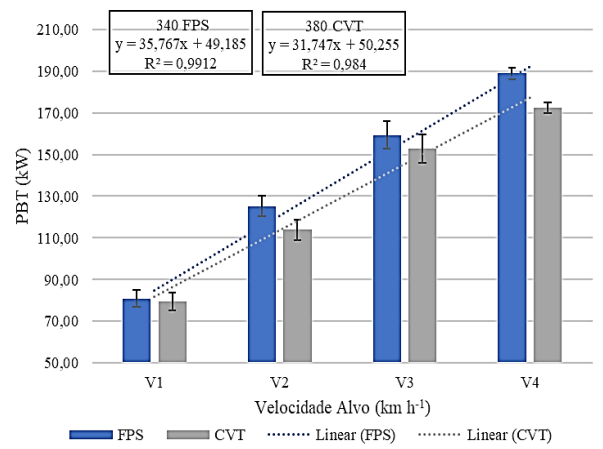
C



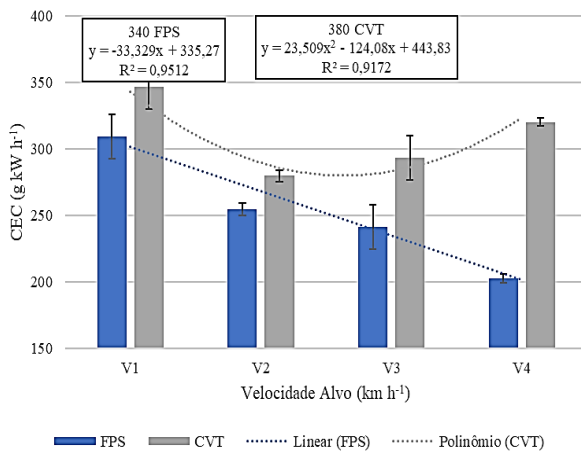
D



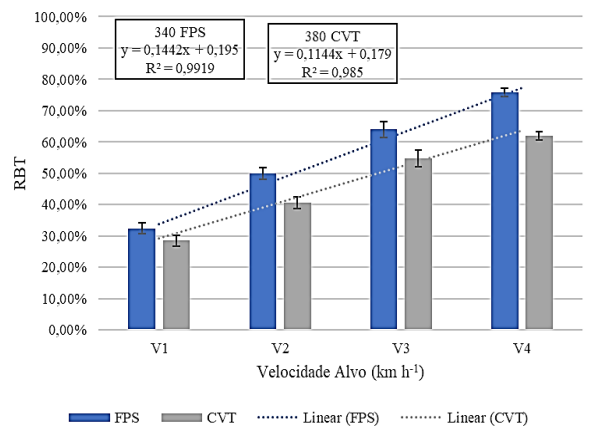
E



F



G



H

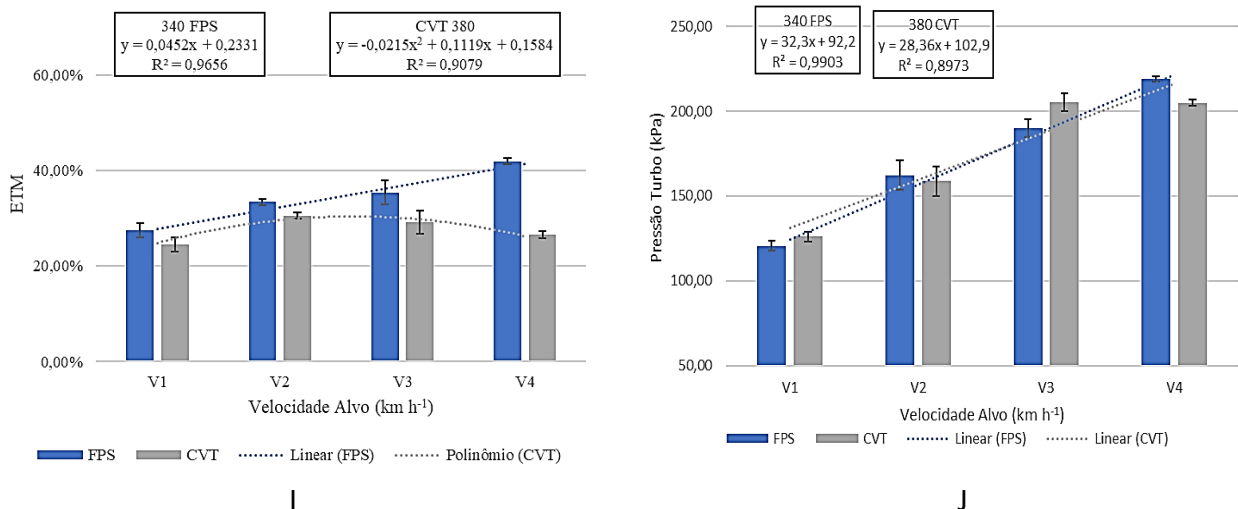


FIGURA 1. Parâmetros analisados em função das velocidades alvo, sendo FPS o fator 340 FPS e CVT o fator 380 CVT.

Analisando a Figura 1, o PAT apresentou crescimento constante conforme aumentado a velocidade alvo, exibindo linha de tendência linear. O fator 340 FPS apresentou tendência linear nos parâmetros: RM, CHC, VO, PBT, CEC, RBT e PT; e tendência polinomial para a FBT apenas. Já o fator 380 CVT apresentou tendência linear em: RM, CHC, FBT, VO, PBT, RBT, PT, apresentando tendência polinomial apenas para CEC e ETM. O 340 FPS apresentou maior RM em todas as velocidades (Figura 1B), aproximando-se do 380 CVT em V4. Houve crescimento mais abrupto do CHC em função da velocidade alvo no 380 CVT (Figura 1C), com maior distanciamento em V4 quando comparado ao 340 FPS; já para VO (Figura 1E), ambos os fatores exibiram resultados próximos. Os parâmetros RM, CHC e VO em ambos os tratores foram acrescidos conforme aumentado a velocidade, pois, para proporcionar o aumento da velocidade atual, buscando a alvo, as transmissões dos tratores modificaram suas relações internas, proporcionando maior VO, ocorrendo assim, maior exigência de potência e energia, portanto, maior RM e CHC; resultados semelhantes foram obtidos por JASPER et al. (2016) ao analisarem transmissão automática e por FARIAS et al. (2017) avaliando a transmissão continuamente variável. Para a FBT (Figura 1D), a qual representa a transmissão da força do rodado que impulsiona o trator disponibilizada na extremidade da barra promovendo tração, ambos os tratores apresentaram valores muito próximos, demonstrando que os tratores exerceram força de tração semelhante. O acréscimo dos parâmetros VO, RM com o aumento da velocidade alvo, proporcionaram também com que ocorresse aumento na PBT, RBT e PT. A PBT e a RBT (Figura 1F e 1H) foram superiores em todas as velocidades para o 340 FPS, estando em V1 com resultados mais próximos, e mais distantes a partir de V2 quando comparado ao 380 CVT, já o parâmetro PT (Figura 1J), ambos os tratores apresentaram resultados semelhantes. O CEC (Figura 1G) foi menor no 340 FPS em relação ao 380 CVT em todas as velocidades, decrescendo conforme aumentado a velocidade no 340 FPS, o qual apresentou resultados mais próximos em V1 e mais distantes em V4 ao 380 CVT, esse comportamento, proporcionou com que a ETM (Figura 1I) fosse superior para o 340 FPS em todas as velocidades alvo, com comportamento mais próximo nas velocidades V1, V2 e V3, e mais distante em V4, entre os tratores. Os modelos matemáticos obtidos explicam o comportamento de todos os parâmetros em no mínimo 77%. Em geral, os intervalos de confiança foram baixos, e em alguns casos nulos, demonstrando os cuidados experimentais adequados.

**CONCLUSÕES** O trator com transmissão FPS foi superior na maioria dos parâmetros analisados, exigindo 16,31% a menos no consumo horário de combustível, e proporcionando 16,29% a mais no rendimento na barra de tração, porém, com velocidade operacional 7,07% menor em relação ao trator com transmissão CVT. Nas diferentes velocidades alvo, na maioria dos parâmetros, houve comportamento mais próximo entre os tratores nas menores velocidades, e comportamento mais distante nas maiores velocidades alvo. Diante do exposto, pode-se concluir que o trator com transmissão FPS foi mais eficiente energeticamente, desenvolvendo também maior potência de tração, quando comparado ao trator com transmissão CVT, o qual foi mais preciso em manter a velocidade operacional constante.

**REFERÊNCIAS:** AJDADI, F.R.; GILANDEH, Y. A. Artificial Neural Network and stepwise multiple range regression methods for prediction of tractor fuel consumption. **Measurement**, v.44, n10, p. 2104-2111, 2011.

ASABE (American Society of Agricultural Biological Engineers) 2011. ASABE EP 496.3 JUN11: Agricultural machinery management data. **ASAE Standards, 2011.**

ASABE (American Society of Agricultural Biological Engineers) 2011. ASABE EP 497.7 MAR11: Agricultural machinery management data. **ASAE Standards, 2011.**

BIETRESATO, M.; FRISO, D.; SARTORI, L. Assessment of the efficiency of tractor transmissions using acceleration tests. **Biosystems Engineering**, v.112 p. 171-180, 2012.

FARIAS, M. S.; SCHLOSSER J. F.; LINARES P.; BARBIERI J. P.; NEGRI G. M. OLIVEIRA L. F. V.; RÜDEL I. Y. P.; Fuel consumption efficiency of an agricultural tractor equipped with continuously variable transmission. **Ciência Rural**, v.47, n.6, p. 1-7, 2017.

JASPER, S.P.; BUENO, L.S.R.; LASKOSKI, M.; LANGHINOTTI, C.W.; PARIZE, G.L. Desempenho do trator de 157 kW na condição manual e automático de gerenciamento de marchas. **Revista Scientia Agraria**, v.17, n.3, p. 55, 2016.

LINARES, P.; MÉNDEZ, V.; CATALÁN, H. Design parameters for continuously variable power-split transmissions using planetaries with 3 active shafts. **Journal of Terramechanics**, v. 47, p. 323-335, 2010.

NETO, L. S.; KMIECIK, L. L.; JASPER, S. P.; ZIMMERMANN, G. G.; SAVI, D. Interference of the number of remote control valves in use on the energy performance of an agricultural tractor with productivity management. **Engenharia Agrícola**, v. 4, p. 356-362, 2020.

OIOLE, A. Y.; KMIECIK L. L.; PARIZE, G. L.; SILVA, X.; JASPER, S. P. Energy performance in disc harrowing operation in different gradients and gauges. **Engenharia Agrícola**, v.39, p.769-775, 2019.

PARK, Y. J.; KIM, S. C.; KIM, J. G. Analysis and verification of power transmission characteristics of the hydromechanical transmission for agricultural tractors. **Journal of Mechanical Science and Technology**, v.30, n.11, p. 5063-5072, 2016.

SIMIKIC, M.; DEDOVIC, N.; SAVIN, L.; TOMIC, M.; PONJICAN, O. Power delivery efficiency of a wheeled tractor at oblique drawbar force. **Soil & Tillage Research**, v.141, p. 32-43, 2014.