

ANÁLISE DE PRESSURIZAÇÃO DE UMA CABINE AGRÍCOLA

FERREIRA, L. S.¹, ROMANO, L. N.², SCHLOSSER, J. F.³

¹Eng. Químico, Pós-graduando, Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, UFSM, Santa Maria - RS, e-mail: leandro.ferreira@ctism.ufsm.br.

² Eng. Mecânico, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Mecânica, UFSM, Santa Maria – RS.

³ Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Rural, UFSM, Santa Maria – RS.

Apresentado no
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento de pressurização de uma cabine de um trator agrícola por meio da diferencial de pressão estática entre a parte interna da cabine em relação a externa. O estudo foi conduzido com o trator ligado em quatro etapas: (i) trator parado com ventilação desligada; (ii) trator parado com ventilação ligada a nível máximo em circuito aberto; (iii) trator parado em deslocamento com ventilação em nível máximo em circuito fechado; e, (iv) trator em deslocamento com ventilação desligada. A máquina disponibilizada foi um trator Massey Fergusson 6711, testado em deslocamento a uma velocidade de 2,2 km/h em marcha lenta (L3) a uma rotação nominal de 950 rpm. O diferencial de pressão estática foi calculado pelas leituras de pressão absoluta e atmosférica coletadas com uso de sensores piezo resistivos MPL3115A2. Para o teste, fez-se uma adaptação de um método de ensaio de sistemas de pressurização de cabines agrícolas e florestais norma NBR ISO 14269-5, analisando-se a pressurização da cabine pelo critério estabelecido pela NBR ISO 14269-2, que considera um compartimento pressurizado aquele deve apresentar um diferencial de pressão estática acima de 50 Pa e abaixo de 200 Pa. Conclui-se pelos resultados, que o diferencial de pressão estática alcança o limite mínimo aceitável de 50 Pa com trator em deslocamento com sistema de ventilação ligado.

PALAVRAS-CHAVE: ensaio de máquinas, tratores agrícolas, instrumentos de medição.

PRESSURIZATION ANALYSIS OF AN AGRICULTURAL CABIN

ABSTRACT: This study aimed to analyze the pressurization behavior of a cabin of an agricultural tractor through the static pressure differential between the inside of the cabin in relation to the outside. The study was conducted with the tractor on in four stages: (i) tractor stopped with ventilation turned off; (ii) tractor stopped with ventilation turned on at maximum level in open circuit; (iii) tractor stopped in displacement with ventilation at maximum level in closed circuit; and, (iv) tractor moving with ventilation turned off. The machine provided was a Massey Ferguson 6711 tractor, tested in displacement at a speed of 2.2 km/h, gear (L3) at a nominal rotation of 950 rpm. The static pressure differential was calculated by the

absolute and atmospheric pressure readings collected using MPL3115A2 piezo resistive sensors. 5, analyzing the cabin pressurization by the criterion established by NBR ISO 14269-2, which considers a pressurized compartment that must present a static pressure differential above 50 Pa and below 200 Pa. It is concluded from the results that the static pressure differential reaches the minimum acceptable limit of 50 Pa with the tractor in displacement with the ventilation system on.

KEYWORDS: testing machines, agricultural tractors, measuring instruments.

INTRODUÇÃO: As cabines agrícolas são consideradas compartimentos que têm como finalidade fornecer uma barreira física contra agentes externos produzidos pela atividade agrícola e das intempéries. Estruturas incrementadas às máquinas como uma medida de segurança para o operador na pulverização de fitossanitários, quando ocorre a geração de partículas sólidas, ruído e vibrações (ARSLAN et al., 2010; BARAČ et al., 2018; GILBEY et al., 2018; MACHADO NETO; COSTA; OLIVEIRA, 2007), que são fatores nocivos à saúde durante exposição prolongada, além de oferecer proteção à integridade física ao capotamento. Quando equipadas com dispositivos apropriados, propicia-se um ambiente interno seguro, vedado e confortável para realização de atividades no posto de trabalho (RENIUS, 2019; MÁRQUEZ, 2012; SCHLOSSER et al., 2002, SCHLOSSER, 2002), o que pode ser alcançado pela pressurização. Estabelece-se um ambiente pressurizado quando a diferença de pressão estática existente entre o compartimento interno com o lado externo permanece acima de 50 Pa e abaixo de 200 Pa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017a). Na Europa, cabines agrícolas podem receber certificação por categorias de proteção, em função de critérios como: diferença de pressão acima de 20 Pa (com indicador de pressurização instalado) ou acima de 50 Pa; vazão volumétrica de ar mínima de 30 m³/h como requisitos mínimos e; a exigência de filtros com eficiência de filtrar partículas sólidas, aerossóis, vapores e gases para categoria mais elevada (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2017). Neste contexto, a fim de testar preliminarmente o equipamento de medição desenvolvido e a metodologia a ser adotada, este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento de pressurização de uma cabine de um trator, por meio da diferencial de pressão estática (interna) com a medida do lado externo, testado em quatro situações de funcionamento.

MATERIAL E MÉTODOS: Esta pesquisa caracterizou-se por adotar uma metodologia de abordagem quantitativa com tipologia experimental, pela maneira de como é conduzida com o uso de instrumentos para mensurabilidade de uma grandeza (CAUCHICK-MIGUEL e HO, 2018). Para analisar a pressurização, fez-se a coleta e o armazenamento dos níveis de pressão estática interna à cabine e a externa, por equipamento composto por dois módulos (interno e externo) com a instalação de sensores de pressão absoluta do tipo MPL3115A2 e conectados a micro controladores ESP32. A faixa de acurácia dos sensores é de 0,4 KPa. O módulo externo diferencia-se do interno por apresentar uma placa eletrônica que compõe um microcomputador do tipo *Raspberry*®, que recebe as informações coletadas pelos sensores na cabine enviado por sinal em rede LoRa® (*Long Range*), que produz um banco de dados das leituras realizadas e que podem ser acessados de modo *on-line*. Um *data logger*, construído para este estudo seguindo um modelo de referência de processo de desenvolvimento de produto estabelecido por Romano (2013). A cabine estudada foi a de um trator Massey Ferguson do modelo 6711, disponibilizada pelo Laboratório de Agrotecnologia (Agrotec), da

UFSM, local do teste. A metodologia foi composta por um experimento organizado em 4 etapas – vide Tabela 1. A coleta de dados foi realizada por uma adaptação de método de ensaio adaptado seguindo requisitos estabelecidos pela normativa NBR ISO 14269-5, uma versão traduzida da ISO (*International Organization for Standardization*). A norma apresenta como escopo um método de ensaio do sistema de pressurização do compartimento do operador em tratores, máquinas agrícolas e florestais. Entre os requisitos, determina-se que: o dispositivo de regulação da velocidade do ar do sistema de ventilação esteja posicionado em nível máximo; ventilação em circuito aberto para alimentação da cabine com ar externo; posicionar o instrumento de medição de pressão em um local distante das aberturas de saída de ar e; registrar o diferencial de pressão estática após 15 minutos de funcionamento da ventilação, não sendo operado o sistema de condicionamento de ar (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017b). Para fins informativos, a norma recomenda que sejam registrados a pressão atmosférica e temperatura ambiente.

Tabela 1 – A divisão das fases do experimento

Etapa	Descrição
1	Início às 09h:08min - com a porta fechada e trator ligado (parado). Sistema de ventilação desligado.
2	início às 09h:28min - trator ligado (parado), sistema de ventilação acionado em nível máximo com circuito aberto.
3	Início às 09h:48min - trator em deslocamento e sistema de ventilação funcionando em nível máximo, em circuito fechado.
4	Início às 10h:08min - trator em deslocamento com a ventilação desligada.

Para a montagem do experimento foi feita a instalação do módulo externo em um tripé e o interno fixado com uma ventosa no vidro posterior do trator utilizado no estudo, ambos localizados dentro do pavilhão do laboratório. Após ligá-los, com a porta do trator aberta foram aguardados 20 min, período reservado para que ocorra a estabilização dos sensores e para conferir se as leituras estão sendo realizadas, porém, descartadas. A execução da Etapa 1 teve como finalidade analisar se houve alguma diferença medida entre os sensores. As medidas precisam se equivaler para o teste prosseguir. Na Etapa 2, foi realizado o procedimento de pressurização da cabine conforme normativa NBR ISO 14269-5 e analisar se alcança o intervalo de tolerabilidade com a máquina estática. Na Etapa 3, foi realizada para analisar se o compartimento pode manter-se pressurizado em movimento sem alimentação de ar. Na Etapa 4, parte final do teste, o objetivo foi de verificar o tempo de despressurização. A Figura 1 mostra a posição do início do experimento, com o módulo externo na parte A e com a indicação saídas de ar com setas vermelhas da ventilação com o monitor interno no vidro.



Figura 1 – Monitor externo (A) e interno (B)

Cada etapa foi executada por um período cronometrado de 20 minutos, respectivamente. As medidas de pressão coletadas foram gravadas em tempo real em banco de dados on-line acessado por aplicativo. As Etapas 3 e 4 foram conduzidas a uma velocidade de deslocamento de 2,2 km/h, rotação nominal 950 rpm, em marcha lenta L3, TDA (Tração Dianteira Auxiliar) não acionada e sistema de ventilação com filtro de ar original e usado. Após o término do teste, os dados coletados foram acessados e transferidos para uma planilha eletrônica para realizar uma estatística descritiva e uma análise de variância apropriada para um experimento de fatorial duplo sem repetição, com as fases correspondendo a tratamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Esta análise iniciou-se pela verificação da pressão absoluta medida no interior do compartimento e no lado externo, com cronometragem. Etapa que possibilitou visualizar se houve diferenças entre os instrumentos, erros de execução ou de posicionamento de sensores. As leituras realizadas estão apresentadas na unidade de Pascal (Pa) com as fases estudadas, como mostra a Figura 2.

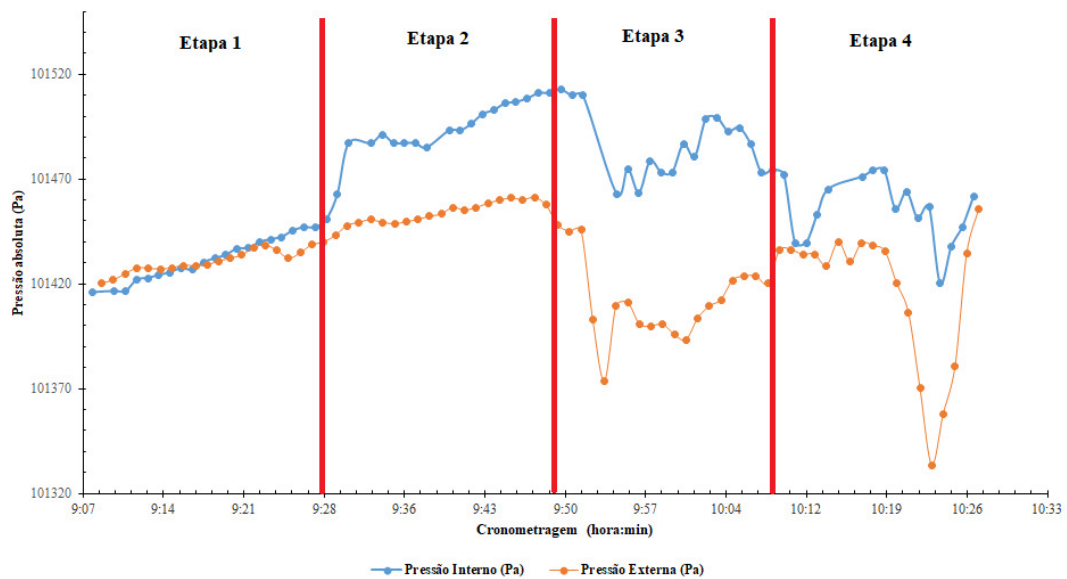


Figura 2 - Comportamento da pressão interna e externa da cabine agrícola.

Durante a Etapa 1, constata-se que os módulos mantiveram medidas aproximadas de pressão, fazendo com que o experimento possa a ser conduzido, sem haver a necessidade de ajustes numéricos. Na Etapa 2, ao se acionar o sistema de ventilação, nota-se um aumento da pressurização e mostra uma tendência a permanecer estável ao iniciar a Etapa 3, que subitamente tem uma queda de pressão em ambas medidas. Porém, a área do gráfico apresentada nesta fase, não é reduzida, o que não se caracteriza por haver uma despressurização. Portanto, ao se realizar a abertura de porta para a entrada do operador e somada ao solavanco do trator para o deslocamento, ocorreu a movimentação do ar sobre o sensor piezo resistivo. Da mesma forma, no caso do módulo externo, foi movimentado repentinamente para o pátio, local definido para o deslocamento do trator. Nota-se pelo espaçamento entre as curvas do gráfico, que o diferencial de pressão estática é maior em comparação com as fases anteriores. Ocasionalmente pelo aumento da potência do trator durante o movimento, que resulta em maior fornecimento de energia ao sistema de ventilação elevando a rotação do ventilador (AITA, J. C. L, 2018). Na Etapa 4, no início a pressão interna tem uma pequena queda causando uma aproximação entre as medidas com relação ao lado externo. Isto aconteceu devido a uma parada do trator para comunicar o tratorista que era preciso desligar a ventilação, interferindo na sensibilidade do sensor. Por haver uma interrupção da vazão de ar, a cabine começa a despressurizar. A queda acentuada ao final, refere-se ao momento que a máquina está se deslocando para o pavilhão e o operador precisa reduzir a velocidade. No caso do monitor externo, foi retirado do lado de fora do pavilhão, sendo movimentado, perturbando o sensor. A segunda etapa do estudo foi efetuar a diferença entre os valores medidos e realizar estatística descritiva inserindo os dados em uma planilha eletrônica Excel. A Tabela 2 mostra os resultados.

Tabela 2 – Estatística descritiva estimadas para cada fase do teste.

Parâmetros estimados	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Média (Pa)	0,28	35,43	73,76	40,02
Desvio padrão (Pa)	5,37	12,53	16,46	30,56
Valor máximo (Pa)	10,05	48,3	105,3	113,6
Valor mínimo (Pa)	-8,4	7	49,7	3,2

Analisado sob o valor obtido pela média aritmética, o diferencial de pressão que está acima de 50 Pa, nível de pressurização estática na cabine que atende ao critério estabelecido pela NBR ISO 14269-2 encontra-se na Fase 3, bem como, mantém-se abaixo do nível de pressurização máximo de 200 Pa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017a). Na Etapa 4, apresenta o maior desvio padrão. Ambas, apresentam valores bastante dispersos, causado pelos movimentos inadequados durante realização do teste. A média para a Etapa 1, está próxima de uma diferença que caracteriza uma equalização de pressão entre a cabine e a atmosfera, permitindo a continuação do teste. O valor mínimo registrado negativo indica uma pressão atmosférica acima da medida na cabine. Na Etapa 2, constata-se a necessidade de aguardar um período mínimo de 20 a 25 minutos para que se alcance a pressurização, superior ao período de tempo mínimo de 15 minutos exigido pela NBR ISO 14269-5 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017b). Pode-se visualizar a dispersão dos diferenciais de pressão estática pela Figura 3.

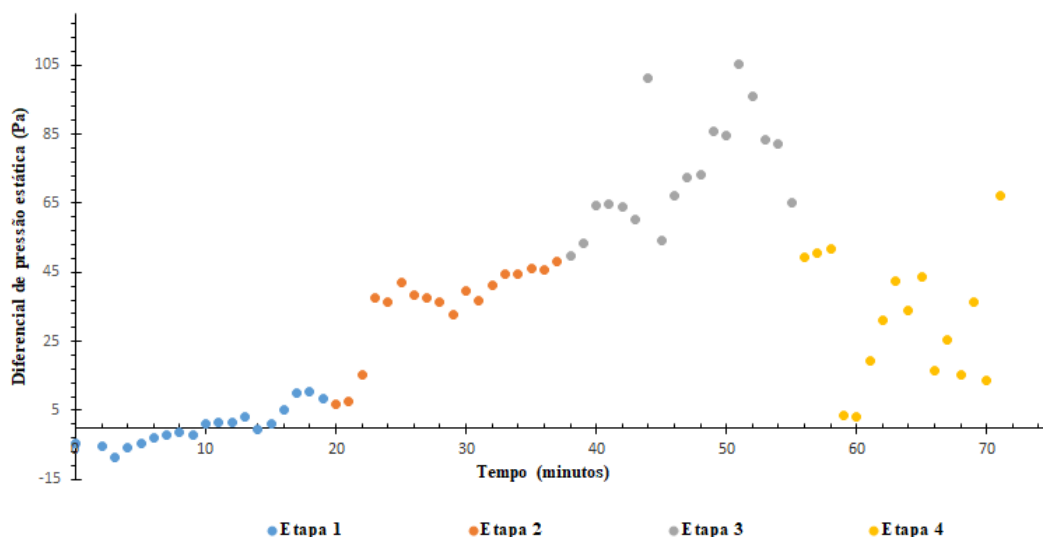


Figura 3 – Resultados do diferencial de pressão estática medido na cabine do trator em Pascal (Pa).

Com o intuito de verificar no teste a influência da pressurização da condição do trator, foi aplicado um tratamento de efeito fixo, bifatorial e sem repetição para uma análise de variância (ANOVA) com a planilha eletrônica Excel. A hipótese a ser testada refere-se a igualdade dos tratamentos aplicados. Ou seja, se não há diferenças significativas nos diferenciais de pressão estática medidos a um nível de probabilidade de erro de 0,05. Os resultados encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise de variância (ANOVA), com probabilidade de erro de 0,05.

Parâmetros estimados	Trator parado	Trator em deslocamento	Ventilação desligada	Ventilação ligada
Média (Pa)	17,86	56,89	20,15	54,60
F calculado	3042,02	3042,02	2368,84	2368,84
F crítico	161,45	161,45	161,45	161,45
P-valor	0,0115	0,0115	0,0131	0,0131

De acordo com os resultados apresentados pela Tabela 3, o P-valor estimado apresenta-se menor que a probabilidade de erros de 0,05. Por esta inferência, constata-se que a hipótese formulada deve ser rejeitada e, as médias são diferentes entre si. Os tratamentos referentes a deslocamento e ventilação ligada foram as que apresentaram as maiores médias, o que permite ambas podem interagir para obter uma pressurização adequada.

CONCLUSÕES: De acordo com a análise do teste realizado, conclui-se que a pressurização da cabine estudada, o diferencial mantém-se acima do limite mínimo aceitável com trator no deslocamento com sistema de ventilação ligado para o trator utilizado. É importante ressaltar que este teste não permite estabelecer interações ou relações entre os fatores aplicados. A dispersão medida pelo desvio padrão estimado e pela visualização gráfica mostra a necessidade de melhorar as condições de coleta de dados. Pelos resultados apresentados, o equipamento desenvolvido apresenta capacidade de constatar a equalização das pressões interna e externa, que permite poder usar o equipamento para análise diferencial. Porém, necessita-se instalar uma estrutura de proteção aos sensores piezo resistivos (de pressão) para

evitar que flutuações de velocidade do ar não produzam interferências na medição. Os sensores mostraram-se bastante sensíveis ao movimento e parada, que ocorreram de forma repentina pelo deslocamento do trator e do tripé. Recomenda-se analisar a exequibilidade de se verificar a tensão no ventilador em testes com tratores em deslocamento, onde ocorra o aumento de rotação nominal do motor, por provocar uma elevação da tensão nominal do motor do ventilador.

REFERÊNCIAS

AITA, J. C. L. **Desenvolvimento de Um Equipamento de Medição da Pressão, Radiação Ultravioleta, Temperatura e Umidade Relativa em Cabines de Máquinas Agrícolas**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

ARSLAN, S.; AYBEK, A.; EKERBIÇER, H. Ç. Measurement of Personal PM10 , PM2 . 5 and PM1 Exposures in Tractor and Combine Operations and Evaluation of Health Disturbances of Operators Traktör ve Biçerdöver İşlemlerinde Kişisel PM10, PM2. 5 ve PM1 Maruziyetinin Ölçümü ve Operatörlerin Sağlığı. **Agricultural Technologies**, v. 90, n. 344, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT ISO 14269-2**. Tratores e Máquinas Agrícolas e Florestais auto propelidas; Ambientes do compartimento do operador; Parte 2: Método de ensaio e desempenho de sistemas de aquecimento, ventilação e condicionamento de ar. Rio de Janeiro, 2017a. iv, 4 p.

_____. **ABNT ISO 14269-5**: Tratores e Máquinas Agrícolas e Florestais auto propelidas; Ambientes do compartimento do operador; Parte 5: Método de ensaio do sistema de pressurização. Rio de Janeiro, 2017b. v, 2 p.

BARAČ, Ž.; PLAŠČAK, I.; JURIŠIĆ, M.; TADIĆ, V.; ZIMMER, D.; DUVNJAK, V. Noise in the Cabin of Agricultural Tractors. **Tehnicki vjesnik - Technical Gazette**, v. 25, n. 6, p. 1611–1615, dez. 2018.

CAUCHICK_MIGUEL, P. A. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2018. 50p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 15695-1**: Agricultural Tractors and self-propelled sprayers; Protection of the operator (driver) against hazardous substances; Part 1: Cab classification, requirements and test procedures. European Committee for Standardization (CEN). Brussels, Belgium. 2017.

GILBEY, S. E.; SELVEY, R. MEAD-HUNTER; MULLINS, B.; NETTO, Y. Z.; RUMCHEV, K. Occupational exposures to agricultural dust by Western Australian wheat-belt farmers during seeding operations. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 15, n. 12, p. 824–832, 2 dez. 2018.

MACHADO NETO, J. G.; COSTA, G. M.; OLIVEIRA, M. L. Segurança do trabalhador em aplicações de herbicidas com pulverizadores de barra em cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 639–648, set. 2007.

MÁRQUEZ, L. **Tractores Agrícolas: tecnología y utilización**. Madri, España: Blake y Helsen España S.L., editores, 2012. 693 p.

RENIUS, K. T. **Fundamentals of Tractor Design**. First edition. ed. Cham: Springer Nature Switzerland, 2019. 181 p.

ROMANO, L. N. **Desenvolvimento de máquinas agrícolas: planejamento, projeto e produção**. São paulo: Ed. Blucher Acadêmico, 2013.

SCHLOSSER, J. F., DEBIASE, H., PARCIANELLO, G., RAMBO, L. Caracterização dos acidentes com tratores agrícolas. **Ciência Rural**, v. 32, n. 6, p. 977–981, 2002.

SCHLOSSER, J. F. Barulho sob controle. **Cultivar Máquinas**, v. Jul/Ago, n. 13, p. 20–23, 2002.