

IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES DE INFLUÊNCIA PARA ADEQUAÇÃO AO PROCESSO DE HOMOLOGAÇÃO DE CABINES AGRÍCOLAS

FERREIRA, L. S.¹, ROMANO, L. N.², SCHLOSSER, J. F.³, AITA, J. C. L.⁴

¹ Eng. Químico, Pós-graduando, Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, UFSM, Santa Maria - RS, Fone: 0xx5532209526, 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.

⁴ Eng. Mecânico, Prof. Doutor, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, UFSM, Santa Maria – RS.

Apresentado no

L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021

08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo identificar os fatores de influência para a adequação ao processo de homologação a serem considerados no projeto de cabines agrícolas, com ênfase na sua qualidade protetiva. Após aplicação de modelo apropriado, o resultado final produzido foi um conjunto de informações baseadas em normas técnicas internacionais com respectivas descrições, abordando ensaios e procedimentos especificados na sua execução e parâmetros de avaliação. Ressalta-se a importância da sistemática empregada que, por meio de suas diretrizes, permitiu a identificação de onze normas internacionais, onde a primeira classifica as cabines agrícolas, três relacionam-se as especificações do posto de operação, três se referem às condições de exposição do operador a fatores insalubres (ruído, vibração, problemas de pressurização da cabine) e, as quatro últimas, ao risco de acidentes do tipo capotamento. Observam-se nessas normas os procedimentos exigidos e os parâmetros de avaliação para que uma cabine agrícola atenda aos requisitos de sua função principal.

PALAVRAS-CHAVE: máquinas agrícolas, projeto de máquinas, normas técnicas.

IDENTIFICATION OF THE INFLUENCE FACTORS FOR ADEQUACY TO HOMOLOGATION PROCESS AGRICULTURAL CABINS

ABSTRACT: This work has been aim to identify influencing factors for adequacy to homologation process to be considered in the agricultural design cabins, with an emphasis on protective quality. After applying an appropriate model, the final result produced was a set of information based on international technical standards with respective descriptions, cover tests and procedures specified in their execution and evaluation parameters. The importance of the method used is highlighted, which, through its guidelines, allowed the identification of eleven standards, the first classifies the agricultural cabins, another three relate to the specifications of the operating station, three refer to the operator exposure conditions (noise, vibration, and cab pressurization issues) and the last four, regarding the risk of rollover accident. These standards observe the required procedures and evaluation parameters for an agricultural cabin to comply with the requirements of its main function.

KEYWORDS: agricultural machinery, machine design, standards.

INTRODUÇÃO: Para aumentar a competitividade no mercado, as empresas de manufatura devem incorporar melhores práticas no processo de desenvolvimento de produtos (PDP). Por meio dessas práticas, aplica-se um conjunto de ações que tem como resultado a criação de uma percepção contínua de excelência do PDP, produzindo uma vantagem competitiva sustentável no desenvolvimento de novos produtos com qualidade superior (ROMANO, 2013). Uma das melhores práticas é a normatização. Quando aplicada, permite produzir máquinas de melhor qualidade, reduzir custos relativos à fabricação, operação e manutenção, impactando sobre todo o ciclo de vida do produto. Neste contexto, padronizar procedimentos técnicos de avaliação e de métodos de ensaio em cabines agrícolas podem aumentar a segurança do trabalho (MÁRQUEZ, 2012; SCHLOSSER, 2011). Definidas como sistema técnico que fornece proteção a integridade física do operador e previne doenças relacionadas ao trabalho. Representa uma barreira contra o capotamento em acidentes, atenua o ruído e a vibração produzidos pela máquina e dificulta a passagem de substâncias consideradas nocivas à saúde. Quando equipada com dispositivos apropriados, propicia-se um ambiente interno seguro e confortável para realização de atividades no posto de trabalho (RENIUS, 2019; MÁRQUEZ, 2012; SCHLOSSER et al., 2002, SCHLOSSER, 2002). O presente estudo tem como objetivo apresentar um conjunto de fatores de influência a serem considerados no projeto de cabines para a adequação ao processo de homologação destes produtos, com ênfase na sua qualidade protetiva.

MATERIAL E MÉTODOS: Esta pesquisa é um estudo qualitativo que segue a metodologia de fatores de influência no projeto (FIP) apresentada em MARINI e ROMANO (2009). A metodologia FIP apresenta um conjunto de diretrizes para a obtenção das informações que devem ser consideradas no desenvolvimento do projeto de uma máquina ou implemento agrícola. A tipologia da pesquisa é de caráter exploratório e descritiva. A pesquisa exploratória foi realizada para reunir informações com o intuito de buscar conhecimento geral das operações realizadas em cabines agrícolas na literatura disponível, tais como: atividades, tarefas, situações de trabalho e normas técnicas relacionadas. Com isso, aspectos operacionais, ambientais e normativos puderam ser definidos para enquadrá-los em categorias e dividida em classes estabelecidas pela sistemática empregada. A pesquisa descritiva foi feita pelo desdobramento da classe em propriedades, que produz dados de entrada correspondente a uma informação que pode - tanto apontar, quanto materializar - os fundamentos necessários para a definição de características qualitativas e parâmetros mensuráveis relacionados a classe de adequação de processos de homologação de cabines agrícolas. No final, apresenta-se um campo destinado a saída desse processo. Uma descrição das informações obtidas em dados que definem as necessidades da classe. Os fatores de influência são mostrados conforme a informação e sua descrição associada. Encontram-se organizados em colunas conforme o Quadro 1.

Classe	Propriedade	Informações	Descrição
Divisão da categoria que orienta a definição dos fatores de influência	Características qualitativas e parâmetros mensuráveis	Dado de entrada. Define os parâmetros citados em Propriedades	Define as necessidades de para alcançar o que foi declarado em Informações.

QUADRO 1. Modelo de organização de informações que mostram os fatores de influência. Fonte: MARINI e ROMANO (2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na execução da metodologia de FIP, percebe-se que suas diretrizes são destinadas para definir fatores de influência em projetos de máquinas agrícolas e implementos como um todo, cuja orientação para obtê-los na classe de Adequação ao Processo de Homologação, aborda a segurança contra acidentes. Portanto, os resultados aqui apresentados são ampliados para um conjunto de informações relacionadas à adequação ao processo de homologação que devem ser consideradas no projeto de uma cabine agrícola. Correspondem a uma descrição de normas técnicas que já estão sendo estudadas por pesquisadores na análise da relação homem-máquina-ambiente. Estão agrupadas pelas propriedades estabelecidas em: ensaios especificados – descreve o ensaio que deve ser realizado para homologação da cabine; procedimentos exigidos – que identifica os procedimentos necessários para a execução dos ensaios; e, parâmetros de avaliação – identifica os critérios de desempenho avaliados no ensaio. Estão disponíveis no Quadro 2, os fatores de influência obtidos com descrição, onde apresenta um conjunto de documentos normativos de instituições de reconhecimento internacional para homologação, tais como: as normas EN (*European Norm*) – produzidas pelo comitê de normatização da União Europeia, as normas ISO – produzidas pela Organização Internacional de Padronização e, os códigos (*code*) da OECD – feitos pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico, na Europa. No Quadro 3 e no Quadro 4, tem-se a discussão dos mesmos.

Classe	Propriedade	Informação	Descrição dos Resultados
Adequação ao Processo de Homologação de Cabines Agrícolas	Ensaio especificados	EN 15695-1	Categorização de cabines agrícolas e de pulverizadores auto-propelidos. Requisitos, descrição e método de teste.
		ISO 4253	Dimensões para o assento do operador e da localização dos controles específicos em relação ao SIP (<i>Seat Index Point</i>), ou Ponto Índice do Assento.
		ISO 15077	Requisitos relativos ao acionamento do operador por pés e mãos. Recomendações para forças máximas de acionamento, sentido de movimento e localização dos comandos.
		ISO 5721	Determinação do campo de visão do operador do trator agrícola – dianteiro, lateral e traseiro - em ambiente escuro.
		ISO 2631-1	Estimativa da aceleração resultante de exposição normalizada e do valor de dose de vibração transmitidas ao corpo inteiro (pela coluna vertebral)
		ISO 5131	Estimativa do nível equivalente (médio) do ruído referente à máquina na posição do operador por período de tempo.
		ISO 14269-5	Pressurização uniforme do compartimento do operador equipado com sistema de ventilação, em laboratório.
		ISO 3463	Método de ensaio dinâmico e das condições de aceitação para Estruturas de Proteção na Capotagem (EPC), aplicados a tratores agrícolas e florestais.
		ISO 5700	Método de ensaio estático e das condições de aceitação para estruturas de proteção na Capotagem (EPC), aplicados a tratores agrícolas e florestais.
		OECD Code 3	Código de padronização para testes dinâmicos de estruturas protetivas em tratores agrícolas e florestais. Condições de aceitação.
		OECD Code 4	Código de padronização para testes estáticos de estruturas protetivas em tratores agrícolas e florestais. Condições de aceitação.

QUADRO 2. Fatores de influência para adequação ao processo de homologação de cabines - resultados.

Classe	Propriedade	Informação	Discussão
Adequação ao Processo de Homologação de Cabines Agrícolas	Procedimentos exigidos	Dispositivo para SIP	Construção com dimensões dadas e detalhadas conforme ISO 5353, com dimensões: largura de 380 mm, comprimento de 450 mm e altura de 230 mm (ROZIN, SCHLOSSER, <i>et al.</i> , 2010).
		Assento e comandos - referencial	Dispositivo posicionado na base e no encosto do assento, regulagem na posição média, com o SIP determinado e o ponto central do volante situado no mesmo plano vertical longitudinal. Estabelecer uma linha (corda) entre o SIP e o volante, fixando no dispositivo. O SIP é a origem do plano do sistema de coordenadas (ROZIN, SCHLOSSER, <i>et al.</i> , 2010).
		Assento e comandos - medições	Uso de trenas e de níveis para a coleta de medidas (coordenadas) dos comandos e alavancas dispostos em volta do posto, bem como as de acesso aos pedais de freio, embreagem e acelerador, em relação ao SIP (RODRIGUES, <i>et al.</i> , 2012).
		Campo de visão - dianteiro, lateral e traseiro	Acomodação do dispositivo SIP no assento. Instalação de lâmpada 760 mm acima e 150 mm à frente do SIP. Máquina agrícola é conduzida para um ambiente escuro e em seguida, liga-se a lâmpada. Com sombreamento produzido no piso, faz-se demarcação da área obscurecida (SCHLOSSER, <i>et al.</i> , 2011).
		Assento - vibração de corpo inteiro	Acelerômetro triaxial - fixado no assento, posicionado com os eixos de direção para medição da ISO 2631 e, um analisador integrador com filtro de ponderação em frequência. Ambos, especificados de acordo com a ISO 8041- Instrumentação para medição (ALMEIDA, <i>et al.</i> , 2015).
		Posto de operação - ruído da máquina	Instalação de medidor de nível sonoro (sonômetro) com precisão estabelecida pela IEC 61672-1 para equipamento integrador. Ajustado para medir em dB (A) e tempo de resposta rápida. O microfone deve estar posicionado na horizontal com centro do microfone a 700 mm acima do SIP e 100 mm à frente (FARIAS e SCHLOSSER, 2020).
		Posto de operação - ruído ocupacional	Instalação dosímetro de ruído com precisão estabelecida pela IEC 61672-1 para equipamento integrador. Ajustado para medir em dB (A) e tempo de resposta lenta. Dosímetro deve ser posicionado no ombro do operador (FUNDACENTRO, 2001).
		Compartimento do operador - vedação	Operar o sistema de pressurização da cabine (por 15min antes da medição), com o uso do sistema de ventilação a fornecer ar externo ajustado com velocidade máxima. Sistemas de ventilação desligados (CAPACCI e RONDELLI, 2014).
		Compartimento do operador - categorização	Classificar a cabine em categorias. Operar o sistema de pressurização da cabine com a ventilação especificada e verificar o sistema de filtragem de ar (CAPACCI e RONDELLI, 2014).
		Estrutura de proteção (cabine) – zona livre	Determinar zona livre (<i>clearance zone</i>). Um espaço interno propiciado pela EPC com dimensões suficientes para proteger o operador quando sentado dentro da estrutura. Uma área teórica que não pode ser alcançada durante os carregamentos nos ensaios (ALFARO <i>et al.</i> , 2010).
		Estrutura de proteção (cabine) – teste dinâmico (impacto)	Instalar a EPC no chassi do trator e submetê-la a um impacto frontal, lateral e posterior por um bloco de 2000 kg com movimento pendular. Para o impacto posterior, o trator precisa ser posicionado para que a EPC colida com a face do pêndulo, a formar um ângulo de 20° entre a corrente de sustentação com a vertical. Para o frontal, difere-se o ponto de impacto, cuja colisão precisa ser ajustada para um dos vértices superiores. Para o lateral, o pêndulo precisa estar na direção vertical com o local de impacto na estrutura, a ser posicionado na borda superior. Ressalta-se que o local de colisão do pêndulo na estrutura deverá ser o mesmo que receberia o impacto no solo.

		Estrutura de proteção (cabine) – teste dinâmico (impacto)	Continuação do Quadro 3. O trator deve estar ancorado com pontos de fixação localizados a 2 m, atrás do eixo traseiro e a 1,5 m, à frente, do eixo dianteiro, com duas amarrações em cada eixo (LINDHORST et al., 2018 MÁRQUEZ, 2012).
		Estrutura de proteção (cabine) – teste dinâmico (esmagamento posterior)	Submete-se a EPC ao esmagamento posterior. Instala-se o trator sobre blocos de modo que as rodas permaneçam suspensas, para evitar o esmagamento nos pneus. Utiliza-se uma viga de 250 mm a ser posicionada em direção transversal da EPC presa por juntas universais ao mecanismo de aplicação de carga e deve estar instalada na parte traseira da estrutura superior, de forma que a força resultante incida sobre o plano vertical do trator. Pode ser necessário adicionar mais um ponto de ancoragem no eixo dianteiro durante o ensaio (LINDHORST et al., 2018; MÁRQUEZ, 2012).
		Estrutura de proteção (cabine) – teste dinâmico (esmagamento frontal)	Submete-se a EPC ao esmagamento frontal. O trator deve estar instalado como no ensaio posterior, com a viga posicionada na parte frontal da estrutura com força resultante de esmagamento a incidir no plano de referência vertical do trator (MÁRQUEZ, 2012).
		Estrutura de proteção (cabine) – teste estático	O ensaio consiste num conjunto de cinco testes: carregamento longitudinal, primeiro teste de esmagamento, carregamento lateral, um segundo de esmagamento e um segundo de carregamento longitudinal, respectivamente. Esta sequência apresenta similaridade de acordo com a norma SAE Standard SJ1194. A massa do trator sem lastro é que deverá a ser utilizada como referência nos cálculos de força e energia necessárias para a avaliação, com a máquina em funcionamento e montada em quadro com método de fixação determinado pelo fabricante (ALFARO et al., 2010).
		Estrutura de proteção (cabine) – teste estático (longitudinal)	Aplica-se uma carga uniformemente distribuída por uma viga na EPC perpendicular em direção da carga, na parte superior transversal da estrutura (local com probabilidade de atingir o solo em caso de capotamento) (ALFARO et al., 2010).
		Estrutura de proteção (cabine) – teste estático (esmagamento posterior)	Viga instalada na parte posterior e superior da EPC, para que a força resultante seja aplicada no plano vertical de referência do trator. Caso a EPC não venha a suportar os esforços durante o ensaio, executa-se a força até que o plano superior (teto) seja defletido e seja coincidente ao plano traseiro. Este seria a parte que poderia apoiar a estrutura o trator tombado (ALFARO et al., 2010).
		Estrutura de proteção (cabine) – teste estático (esmagamento frontal)	Viga instalada na parte frontal e superior da EPC, para que a força resultante seja aplicada no plano de referência vertical do trator. Caso a EPC não venha a suportar os esforços durante o ensaio, executa-se a força até que o plano superior (teto) seja defletido e seja coincidente ao plano frontal. Este seria a parte que poderia apoiar a estrutura do trator tombado. Remove-se a força e repete-se o ensaio, com mudança de posicionamento da viga para o ponto de apoio da estrutura que estaria em contato com o solo, após tombamento (ALFARO et al., 2010).
		Estrutura de proteção (cabine) – teste estático (lateral)	Força lateral aplicada na EPC na direção horizontal, a formar um ângulo de 90° como plano de referência vertical do trator. Posicionado na extremidade superior, com localização determinada com base no SIP (ALFARO et al., 2010).

QUADRO 3. Discussão dos procedimentos exigidos para os fatores de influência.

Classe	Propriedade	Informação	Discussão
Adequação ao Processo de Homologação de Cabines Agrícolas	Parâmetros de avaliação	Distâncias mínimas	A localização de comandos (embreagem, freios e aceleradores) deve ser menor que 300 mm e maior que 75 mm, a partir da linha longitudinal central (ROZIN, <i>et al.</i> , 2010, RODRIGUES, <i>et al.</i> , 2012).
		Sombreamento (efeito máscara)	Área de visibilidade nula. Dimensões: distância entre componente que causa sombreamento e posição do olho (lâmpada), largura do componente, raio de visão e distância entre olhos (SCHLOSSER, <i>et al.</i> , 2011).
		Aceleração e dose	Aceleração ponderada em frequência, aceleração resultante de exposição normalizada e valor de dose de vibração. Valores toleráveis de $1,1m.s^{-2}$ (ALMEIDA, <i>et al.</i> 2015).
		Nível equivalente e dose	Estimativa do nível médio de intensidade sonora baseado na equivalência de energia - ambiental e ocupacional - e, da dose de ruído. Nível tolerável de 85 dB(A) e dose de 100%, para 8h de exposição (FARIAS e SCHLOSSER, 2020).
		Pressurização	Valores entre 20 a 50 Pa de pressão positiva interna à cabine. Classificação por categorias (de 1 a 4) de acordo com a sua eficácia de vedação e da filtragem do ar (CAPACCI e RONDELLI, 2014).
		Capotamento (dados iniciais)	Conferir se a normatização é adequada para a máquina agrícola – neste estudo, tratores com massa entre 600 kg a 6000 kg (ISO, 2006; OECD, 2021a; OECD, 2021b). Faz-se o uso de dados fornecidos pelo fabricante, tais como: massa de referência do trator (kg) e massa máxima permissível (kg) – para o dinâmico e, a distância entre eixos (mm) – para o estático (ALFARO <i>et al.</i> , 2010; LINDHORST <i>et al.</i> , 2018).
		Capotamento (Resultados)	Proporção mássica menor que 1,75 (razão entre a massa máxima permissível e a massa de referência), a força de esmagamento, energia absorvida pela EPC e a energia fornecida pelo pêndulo (no dinâmico). Todas as deformidades ocorridas no início dos ensaios devem ser registradas e mantidas até o fim. Para cada norma aplicada, utiliza-se uma EPC diferente. A EPC só será considerada homologada se as deformidades não alcançarem a zona livre (ALFARO <i>et al.</i> , 2010).

QUADRO 4. Discussão sobre os parâmetros de avaliação dos fatores de influência.

CONCLUSÕES: No que tange a identificação dos fatores de influência a serem considerados no projeto de cabines agrícolas aptas à homologação específica para os mercados pretendidos, conclui-se que a aplicação das normas técnicas vigentes, identificadas no trabalho, permite a agregação de qualidade protetiva no uso destes produtos. Recomenda-se a leitura do escopo ou do campo de aplicação de cada norma, pois é necessário analisar antes de verificá-la no projeto de uma cabine, se a máquina agrícola é atendida pela abrangência da norma. Da mesma forma, pode-se inferir que os resultados apresentados permitem a rastreabilidade das informações padronizadas durante o desenvolvimento do projeto de cabines, por meio de procedimentos e parâmetros de avaliação.

REFERÊNCIAS

ALFARO, J. R. ARANA, I. ARAZURI, S. JARÉN, C. Assessing the safety provided by SAE J2194 Standard and Code 4 Standard Code for testing ROPS, using finite element analysis. **Biosystems Engineering**, v. 105, n. 2, p. 189–197, 1 fev. 2010.

ALMEIDA, S. F.; ABRAHÃO, R. F.; TERESO, M. J. A. Avaliação da exposição ocupacional à vibração de corpo inteiro em máquinas de colheita florestal. **CERNE**, Campinas - SP, 2015. 1-8.

CAPACCI, E.; RONDELLI, V. Tractor cab to protect the operator from hazardous substances in spray application. **International Conference of Agricultural Engineering**, Zurich, Julho 2014.

FARIAS, M. S. D.; SCHLOSSER, J. F. Níveis de ruído no posto de operação de um trator agrícola na operação de semeadura. **TECNO-LÓGICA**, Santa Cruz do Sul - RS, 30 jan. 2020. 47-52.

FUNDACENTRO. **Norma de Higiene Ocupacional N° 01 (NHO 01): Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído – Procedimento Técnico**. São Paulo-SP. 2001.

ISO. **Standard 3463: Wheeled tractors for agriculture and forestry - Protective structures - Dynamic test method and acceptance conditions**. Geneva, Switzerland: International Standartization Organization. 2006.

ISO. **Standard 3463: Wheeled tractors for agriculture and forestry - Protective structures - Dynamic test method and acceptance conditions**. Geneva, Switzerland: International Standartization Organization. 2006.

LINDHORST, C. M. et al. Dynamic ROPS test for tractors over 6,000 kilograms. **Transactions of the ASABE**, v. 61, n. 1, p. 53–62, 2018.

MARINI, V., K., ROMANO, L. N. Influencing factors in agricultural machinery design. **Product: Management & Development**, vol. 7, n. 2, p. 111-130. 2009.

MARQUEZ, L. **Tractores Agrícolas: Tecnología y Utilización**. Madrid: B&H Grupo Editorial, 2012.

OECD. **Code 3: OECD Standards for The Official Testing of Protective Structures on Agricultural and Forestry Tractors (dynamic test)**. Paris: Organization for Economic Cooperation and Devolpment. 2021a.

OECD. **Code 4: OECD Standards for The Official Testing of Protective Structures on Agricultural and Forestry Tractors (static test)**. Paris: Organization for Economic Cooperation and Devolpment. 2021b.

RENIUS, K. T. **Fundamentals of Tractor Design**. Switzerland: Springer Nature, 2019.

RODRIGUES, F. A. SCHLOSSER, J. F., RIBAS, R. L., FARIAS, M. S., FRANTZ, U. G. Distribuição dos comandos de operação em tratores agrícolas nacionais com até 55 KW de potência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 41, 2012, Londrina. **Livros**. Jaboticabal, Unesp, 2012.

ROMANO, L. N. **Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas: Planejamento, Projeto e Produção**. São Paulo: Blücher Acadêmico, 2013.

ROZIN, D., SCHLOSSER, J. F., WERNER, V., PERIN, G. F., SANTOS, P. M. dos. Conformidade dos comandos de operação de tratores agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental**, Campina Grande - PB, 19 mar. 2010. 1014-1019.

SCHLOSSER, J. F., DALLMEYER, A., DEBIASI, H., MENEGAS, M. T., NIETIEDT, G. H. Alteração do campo visual em função do uso de cabinas em tratores agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, abril 2011. 259-266.

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

SCHLOSSER, J. F. DEBIAZI, H. PARCIANELLO, G. . Caracterização dos acidentes com tratores agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria/RS, v. 32, n. 6, p. 977-981, 2002.