

Metodologia fuzzy aplicada à avaliação do bem-estar de operadores de máquinas portáteis motorizadas

Fatores como calor e vibrações, são alguns dos grandes causadores de enfermidades, encontrados em locais de trabalho onde se utiliza máquinas agrícolas. Ambientes fora das condições adequadas, além de causar danos à saúde dos trabalhadores, provocam diminuição no desempenho dos mesmos e consequentemente, uma queda na produtividade. As máquinas em geral precisam de operadores que saibam manuseá-las com destreza, porém, algumas delas apresentam um grande potencial causador de enfermidades devido a fatores que podem ser físicos como calor, vibração e radiação, químicos como poeiras e vapores ou biológicos como bactérias e microrganismos, que atuam no indivíduo causando danos muitas vezes irreversíveis. Considerando o elevado grau de insalubridade que os operadores de máquinas agrícolas estão submetidos nas operações onde são utilizadas máquinas portáteis motorizadas, objetivou-se com esse estudo, na caracterização dos fatores vibração e IBUTG conjuntamente, embasada nas normas vigentes, para determinar o conforto sentido pelo operador na atividade laboral desenvolvida, utilizando o modelo lógico fuzzy. No modelo fuzzy desenvolvido foi utilizada como variável de entrada: IBUTG (°C) e vibração (m.s-2) e, como variável de saída, o índice de conforto humano para operadores de máquinas portáteis motorizadas (ICH).

Palavras-chave: Máquinas portáteis motorizadas; Ambiente de trabalho; Insalubridade; Modelagem fuzzy.

Fuzzy methodology applied to the evaluation of the well-being of operators of motorized portable machines

Factors like heat and vibration are major causes of illness found in workplaces where farm machinery is used. Environments outside the proper conditions, besides causing health damage to workers, can cause a decrease in their performance and consequently a drop in productivity. The operators of machines need to know handle them deftly, however, some machines show a great potential causing for diseases due to factors that can be physical such as heat, vibration and radiation, chemical such as dusts and mists or biological as bacteria and microorganisms that act on the individual causing damage often irreversible. Considering the high degree of unhealthiness that operators of agricultural machinery are undergoing operations where motorized portable machines are used, the objective of this study was the characterization of vibration factors and IBUTG jointly, based on prevailing rules to determine the comfort felt by the operator in developed labor activity, using the fuzzy logic model. In the fuzzy model was used as the input variable: IBUTG (°C) and vibration (m.s-2) and, as the output variable, the index of human comfort for operators of motorized portable machines (ICH).

Keywords: Motorized manual machines; Work environment; Insalubrity; Fuzzy modeling.

Topic: Engenharia Agrícola

Received: 12/03/2020

Approved: 10/04/2020

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Tony Matheus Carvalho Eugênio 
Universidade Federal de Lavras, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0823437440133853>
<http://orcid.org/0000-0001-7049-2862>
tony.matheus@hotmail.com

Douglas Lamounier Faria 
Universidade Federal de Lavras, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2575514568061593>
<http://orcid.org/0000-0002-5405-8430>
douglas.lamounier@yahoo.com

Tamires Galvão Tavares Pereira 
Universidade Federal de Lavras, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2193131970787592>
<http://orcid.org/0000-0003-3423-6962>
tamires_florestal@hotmail.com

Matheus Campos Mattioli 
Universidade Federal de Lavras, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5100389214802261>
<http://orcid.org/0000-0001-7769-3392>
mattioli-cmatheus@hotmail.com

José Edimar Vieira Costa Júnior 
Universidade Federal de Lavras, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2491231914261726>
<http://orcid.org/0000-0002-5049-2029>
jevjunior@gmail.com

Carolina Rezende Pinto Narciso 
Universidade Federal de Lavras, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7301010567043094>
<http://orcid.org/0000-0002-2149-7832>
carolina.narciso@yahoo.com.br

Laércio Mesquita Júnior 
Universidade Federal de Lavras, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9672446731312267>
<http://orcid.org/0000-0002-4122-1390>
laerciomjr@gmail.com

Thiago Moreira Cruz 
Universidade Federal de Lavras, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7811942414257946>
<http://orcid.org/0000-0003-2808-1810>
thiago.moreira.cruz@gmail.com

Lucas Henrique Pedrozo Abreu 
Universidade Federal de Lavras, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7700019307258405>
<http://orcid.org/0000-0002-5295-0177>
lucas.abreu@ufia.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.003.0002

Referencing this:

EUGÊNIO, T. M. C.; FARIA, D. L.; PEREIRA, T. G. T.; MATTIOLI, M. C.; COSTA JÚNIOR, J. E. V.; NARCISO, C. R. P.; MESQUITA JÚNIOR, L.; CRUZ, T. M.; ABREU, L. H. P.. Metodologia fuzzy aplicada à avaliação do bem-estar de operadores de máquinas portáteis motorizadas. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.11, n.3, p.10-19, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.003.0002>

INTRODUÇÃO

Devido ao processo de modernização que vem ocorrendo na área da agricultura, no que se diz respeito à mecanização e automação de processos antes realizados de forma rudimentar, tem-se dado grande importância a equipamentos que possam melhorar a qualidade do trabalho, assim como reduzir o tempo gasto nas atividades e conseqüentemente obter menores gastos e maiores lucros, enquanto promove, ao usuário do equipamento, um estado de bem-estar físico, mental e social.

A utilização de máquinas portáteis motorizadas como derriçadoras, motosserras, roçadoras, pulverizadores, sopradores, dentre outros, tem tido um importante papel no manejo de áreas agricultáveis. Esses equipamentos vêm sofrendo constantes modificações no que se diz respeito ao melhoramento de suas peças, seus materiais de fabricação, seu formato, seus aspectos de demanda de energia, tudo isso visando melhorar sua capacidade operacional e viabilizar ainda mais sua utilização, porém, surge à preocupação com a questão de como essas modificações estão correspondendo no sentido da segurança e bem-estar dos operadores desses equipamentos. Um ambiente de trabalho deve ser sadio, seguro e agradável em qualquer das situações de trabalho existentes (GOMES et al., 2018), as condições devem proporcionar o máximo de proteção e também satisfação no desempenho da atividade pelo trabalhador (XIMENES et al., 2005).

Agentes físicos como ruído, temperatura, vibração, radiação e agentes químicos como poeira, gases e vapores são alguns dos fatores causadores de estresse encontrados em locais de trabalho onde se utiliza máquinas portáteis motorizadas, no qual, são consideradas insalubres as atividades ou operações que se desenvolvem acima do limite de tolerância aceitável, alterando o funcionamento de todo o organismo, aumentando o risco de acidentes de trabalho e gerando prejuízos também na produção. Essas atividades executadas de forma incorreta podem acarretar lesões que, ao longo do tempo, podem comprometer a salubridade do trabalhador (SILVA et al., 2010).

A vibração é um grande agente causador de problemas no ambiente laboral onde é utilizado maquinário agrícola. A vibração é transmitida ao sistema mão-braço pelos equipamentos e pode levar a distúrbios de circulação sanguínea nos dedos, distúrbios neurológicos e de função motora nas mãos e braços (SAVIONEK et al., 2012). A exposição diária e repetida a vibrações pode causar também modificações patológicas das partes do corpo envolvidas (REGIS FILHO et al., 2010), gerando na maioria das vezes enfermidades nas mãos e braços (GRANDJEAN, 1998), além de graves problemas ao sistema muscular, ósseo, sensitivo, de visão, entre outros (RIBAS, 2012).

Outro risco que compromete tanto a salubridade quanto o desempenho do operador de máquinas portáteis motorizadas é a carga térmica. Em exposição prolongada ao calor em excesso, é possível que o indivíduo desenvolva vários tipos de enfermidades como estresse térmico, câimbras, síncope e fadiga por altas temperaturas e insolação (GOSLING et al., 2008). Segundo Carvalho et al. (2011), a realização de atividades na condição de estresse térmico por altas temperaturas torna a tarefa ainda mais cansativa e insalubre. As diferenças de temperatura presentes no mesmo ambiente não devem ser superiores a 4 °C, sendo que acima de 30 °C se aumenta o risco de danos à saúde do operador, as pausas se tornam maiores e

mais frequentes, o grau de concentração diminui e a frequência de erros e acidentes tende a aumentar significativamente (IIDA, 1990).

Dentre os diversos métodos para modelar matematicamente o bem-estar humano, destaca-se a metodologia *fuzzy*. Os modelos *fuzzy* se baseiam na construção dos conjuntos *fuzzy*, representando as informações em função de termos linguísticos. Deste modo, os conjuntos *fuzzy* expressam conceitos vagos, assim como a linguagem natural (KLIR et al., 1995). A modelagem e o controle *fuzzy* são técnicas para se manusear informações qualitativas de uma maneira rigorosa (LEE, 1990). De acordo com Gomide et al. (1994), essas técnicas modelam de maneira conveniente o conhecimento. A teoria de modelagem e controle *fuzzy* trata do relacionamento entre variáveis de entradas e saídas, agregando vários parâmetros de processo e de controle, o que permite a consideração de problemas mais complexos, como o que será abordado nesse trabalho.

Tendo em vista os prejuízos causados pela insalubridade, decisões devem ser tomadas para que os operadores das máquinas tenham adequado bem-estar e por consequência, melhor rendimento. Portanto, objetivou-se com o presente trabalho, desenvolver um modelo *fuzzy* para prever o índice de conforto dos operadores de máquinas portáteis motorizadas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Sistemas Fuzzy

Na lógica *fuzzy*, o valor verdade de uma proposição pode ser um subconjunto *fuzzy* de qualquer conjunto parcialmente ordenado, ao contrário dos sistemas lógicos binários, onde o valor verdade só pode assumir os valores: verdadeiro (1) ou falso (0) (GOMIDE et al., 1995). As técnicas de modelagem e controle *fuzzy* levam em conta o modo como a falta de exatidão e a incerteza são descritas e, fazendo isso, conseguem uma excelente ferramenta para manipular de maneira conveniente o conhecimento.

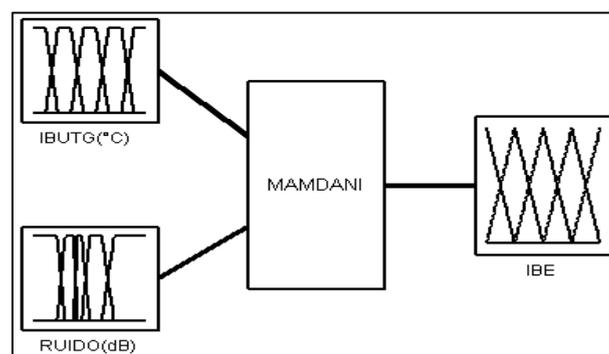


Figura 1: Esquema do sistema *fuzzy*.

A teoria *fuzzy* é extremamente versátil, e essa versatilidade está na possibilidade de modelar e manipular matematicamente informações vagas e imprecisas, sendo assim particularmente úteis em problemas de classificação, onde ocorrem situações com alto grau de aleatoriedade, como a salubridade. A Figura 1 ilustra o esquema de um sistema *fuzzy*.

A análise foi desenvolvida com o auxílio do *software* MATLAB® 7.8.0, sendo que o método de

inferência *fuzzy* utilizado foi o de Mamdani, que traz como resposta um conjunto *fuzzy* originado da combinação dos valores de entrada com os seus respectivos graus de pertinência, através do operador mínimo e em seguida, pela superposição das regras por meio do operador máximo. A defuzzificação foi feita utilizando o método do Centro de Gravidade (Centroide ou Centro de Área), que considera todas as possibilidades de saída, transformando o conjunto *fuzzy* originado pela inferência em valor numérico, conforme proposto por Tanaka (1997). Foram utilizadas variáveis linguísticas, que são variáveis cujos valores são nomes de conjuntos *fuzzy*. A principal função das variáveis linguísticas é fornecer uma maneira sistemática para uma caracterização aproximada de fenômenos complexos. A utilização de variáveis linguísticas, e não de variáveis quantificadas, possibilita o tratamento de sistemas complexos para análise através de termos matemáticos convencionais (TANSCHKEIT, 2004). As variáveis de entrada utilizadas foram a vibração ($m.s^{-2}$) e o IBUTG ($^{\circ}C$), e como variável de saída, o índice de conforto humano dos operadores de máquinas portáteis motorizadas.

Variáveis de entrada

São vários os agentes que podem causar danos à saúde dos operadores que trabalham com máquinas portáteis motorizadas. Existem os agentes físicos, como o ruído, a radiação não ionizante (solar), a vibração, o calor, dentre outros, agentes químicos como poeira, gases e vapores, névoas, e agentes biológicos como microrganismos, vírus e bactérias. No caso desses trabalhadores, os agentes físicos são os que mais causam enfermidades. A vibração é um agente físico presente e difícil de ser amenizado nas atividades onde se utilizam essas máquinas. Por ser manual, a vibração decorrente do funcionamento dessas máquinas, é transmitida para o sistema mão-braço.

Tabela 1: Indicações das reações com relações ao conforto.

Aceleração RMS ($m.s^{-2}$)	Reações com relação ao conforto
< 0,315	Confortável
0,315 a 0,63	Um pouco desconfortável
0,5 a 1	Razoavelmente desconfortável
0,8 a 1,6	Desconfortável
1,25 a 2,5	Muito desconfortável
> 2,0	Extremamente desconfortável

Fonte: ISO 2631 (1997).

A norma ISO 2631 (1997), demonstra os valores de aceleração eficaz ponderada global os quais indicam a reação dos indivíduos em relação ao conforto quando expostos à vibração, porém esses valores são para avaliação da exposição humana às vibrações de corpo inteiro, ou seja, ela não quantifica valores para análise de conforto específico para situação mão-braço, sendo assim, esse trabalho utiliza as mesmas metodologias presentes na norma ISO 2631 (1997) para verificar o conforto dos operadores de máquinas portáteis motorizadas apenas para fins de classificação nesse trabalho e não para avaliar o nível de conforto transmitido ao sistema mão-braço. Vários são os autores que utilizaram esses valores (FRANCHINI, 2007; KADERLI et al., 2011; BALBINOT et al., 2002; ANFLOR, 2003), dentre outros. A Tabela 1 relaciona aceleração e as respectivas reações com relação ao conforto.

Por outro lado, a radiação não ionizante (solar), assim como a alta temperatura, são fatores causadores de grande estresse e de várias doenças, em ambientes onde o trabalhador está exposto à radiação solar direta ou indireta. Para classificar o ambiente de trabalho em relação à salubridade, optou-se em utilizar como variável de entrada o IBUTG (°C) com cinco faixas de classificação, sendo que seus limites foram definidos de acordo com Schiassi et al. (2013), que relaciona limites de tolerância para a exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente, com períodos de descanso no próprio local de trabalho. Para fins de classificação neste trabalho, o tipo de atividade exercida pelos operadores de máquinas portáteis motorizadas foi classificado como moderada e o regime de trabalho, contínuo. O limite de tolerância para a exposição ao calor em regime de trabalho contínuo e atividade moderada é de 26,7 °C sendo que, para temperaturas acima de 31,1 °C não é permitida a exposição para essa classificação. A Tabela 2 relaciona limites de tolerância para a exposição ao calor, levando em conta o regime de trabalho e o tipo de atividade desempenhada.

Tabela 2: Limites de tolerância para a exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente, com períodos de descanso no próprio local de trabalho (IBUTG, °C).

Regime de trabalho (min. trab./min. descanso)	Tipo de atividade		
	Leve	Moderada	Pesada
Trabalho contínuo	≤ 30,0	≤ 26,7	≤ 25,0
45/15	30,1-30,6	26,8-28,0	25,1-25,9
30/30	30,7-31,4	28,1-29,4	26,0-27,9
15/45	31,5-32,2	29,5-31,1	28,0-30,0
Exposição não permitida	> 32,2	>31,1	> 30,0

As funções de pertinência trapezoidais que são representadas na Figura 2A e Figura 2B, associadas às variáveis de entrada vibração (Tabela 1) e IBUTG (Tabela 2), determinam um melhor comportamento dos dados de entrada, e são mais utilizados na literatura (SCHIASSI et al., 2008).

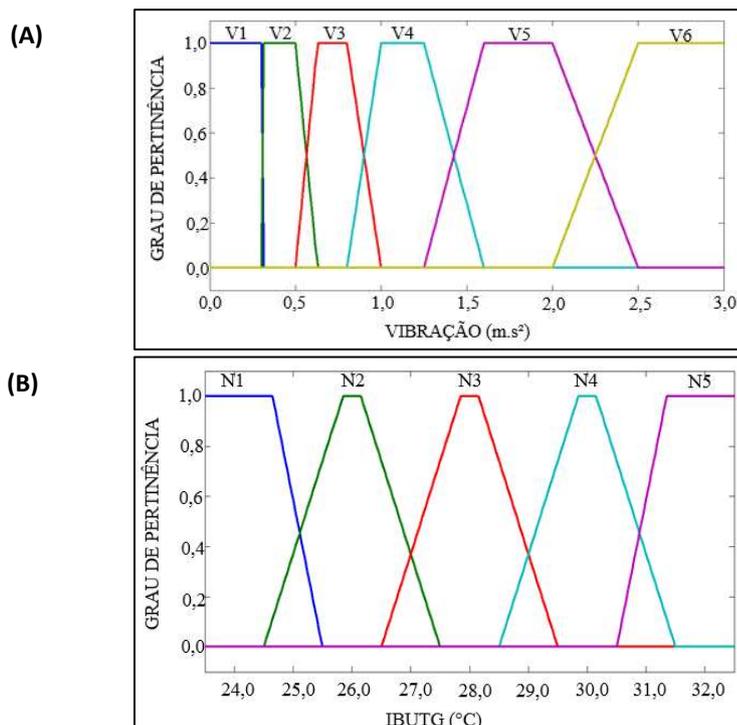


Figura 2: Curvas de pertinência para as variáveis de entrada. (A) Vibração (m.s⁻²); (B) IBUTG (°C).

Variáveis de saída

A indicação do índice de conforto humano (ICH) obtido pela aplicação da lógica *fuzzy* é gerada a partir da base de regras, como função das variáveis de IBUTG e vibração. Os valores das variáveis de saída foram estabelecidos em intervalos no domínio de [0,1], onde o bem-estar do trabalhador é quantificado e classificado de acordo com o grau de salubridade ao qual o indivíduo está sendo submetido (OWADA et al., 2007). Os valores próximos de zero indicam as piores condições e os valores próximos de 1, as melhores. Desta forma, os seguintes conjuntos *fuzzy* foram especificados, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 3: Intervalo dos conjuntos *fuzzy* para o índice de conforto humano para trabalhadores.

Conjuntos <i>fuzzy</i>	Intervalo
Muito ruim	[0 ;0,25]
Ruim	[0 ;0,5]
Médio	[0,25; 0,75]
Bom	[0,50; 1,0]
Muito bom	[0,75; 1,0]

Para a variável de saída ICH, os intervalos adotados foram caracterizados por curvas de pertinência do tipo triangular (Figura 3).

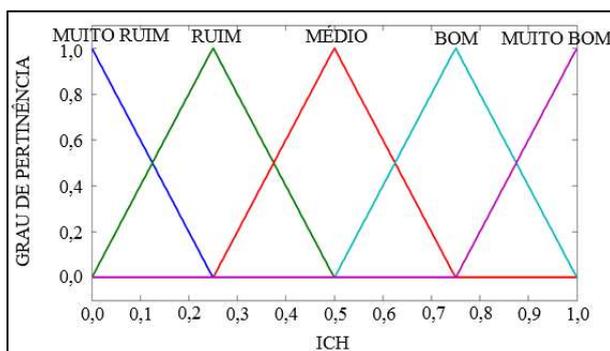


Figura 3: Funções de pertinência para a variável de saída.

Sistema de regras

A especificação do conjunto de regras foi baseada na literatura e nas opiniões de especialistas sobre a influência que cada fator tem sobre o índice de conforto humano. Elas foram formuladas em forma de sentenças linguísticas, e se constituem em um aspecto fundamental no desempenho de um sistema de inferência *fuzzy*, que terá um bom desempenho somente se as regras que definem a estratégia de controle forem consistentes. De acordo com as combinações de vibração e IBUTG foram definidas 30 regras e para cada regra foi atribuído um fator de ponderação igual a 1. A Tabela 4 mostra a composição da base de regras utilizadas no desenvolvimento do modelo.

Tabela 4: Composição da Base de Regras utilizando as variáveis de entrada e saída.

REGRAS	
1.	Se (IBUTG é N1) e (Vibração é V1) então (ICH é Muito Bom)
2.	Se (IBUTG é N1) e (Vibração é V2) então (ICH é Muito Bom)
3.	Se (IBUTG é N1) e (Vibração é V3) então (ICH é Bom)
4.	Se (IBUTG é N1) e (Vibração é V4) então (ICH é Médio)
5.	Se (IBUTG é N1) e (Vibração é V5) então (ICH é Ruim)
6.	Se (IBUTG é N1) e (Vibração é V6) então (ICH é Muito Ruim)

7.	Se (IBUTG é N2) e (Vibração é V1) então (ICH é Muito Bom)
8.	Se (IBUTG é N2) e (Vibração é V2) então (ICH é Bom)
9.	Se (IBUTG é N2) e (Vibração é V3) então (ICH é Médio)
10.	Se (IBUTG é N2) e (Vibração é V4) então (ICH é Ruim)
11.	Se (IBUTG é N2) e (Vibração é V5) então (ICH é Muito Ruim)
12.	Se (IBUTG é N2) e (Vibração é V6) então (ICH é Muito Ruim)
13.	Se (IBUTG é N3) e (Vibração é V1) então (ICH é Bom)
14.	Se (IBUTG é N3) e (Vibração é V2) então (ICH é Médio)
15.	Se (IBUTG é N3) e (Vibração é V3) então (ICH é Ruim)
16.	Se (IBUTG é N3) e (Vibração é V4) então (ICH é Muito Ruim)
17.	Se (IBUTG é N3) e (Vibração é V5) então (ICH é Muito Ruim)
18.	Se (IBUTG é N3) e (Vibração é V6) então (ICH é Muito ruim)
19.	Se (IBUTG é N4) e (Vibração é V1) então (ICH é Médio)
20.	Se (IBUTG é N4) e (Vibração é V2) então (ICH é Ruim)
21.	Se (IBUTG é N4) e (Vibração é V3) então (ICH é Muito Ruim)
22.	Se (IBUTG é N4) e (Vibração é V4) então (ICH é Muito Ruim)
23.	Se (IBUTG é N4) e (Vibração é V5) então (ICH é Muito Ruim)
24.	Se (IBUTG é N4) e (Vibração é V6) então (ICH é Muito Ruim)
25.	Se (IBUTG é N5) e (Vibração é V1) então (ICH é Muito Ruim)
26.	Se (IBUTG é N5) e (Vibração é V1) então (ICH é Muito Ruim)
27.	Se (IBUTG é N5) e (Vibração é V3) então (ICH é Muito Ruim)
28.	Se (IBUTG é N5) e (Vibração é V4) então (ICH é Muito Ruim)
29.	Se (IBUTG é N5) e (Vibração é V5) então (ICH é Muito Ruim)
30.	Se (IBUTG é N5) e (Vibração é V6) então (ICH é Muito Ruim)

A resposta do sistema de inferência para o IBUTG foi de 26 °C e da vibração foi igual a 0 (zero) m.s⁻² mostrada na Figura 4, porém para todo valor abaixo de 26,2 °C, a variável de saída (ICH) foi a mesma. O Valor do ICH para essa situação foi de 0,92 (escala: 0-1).

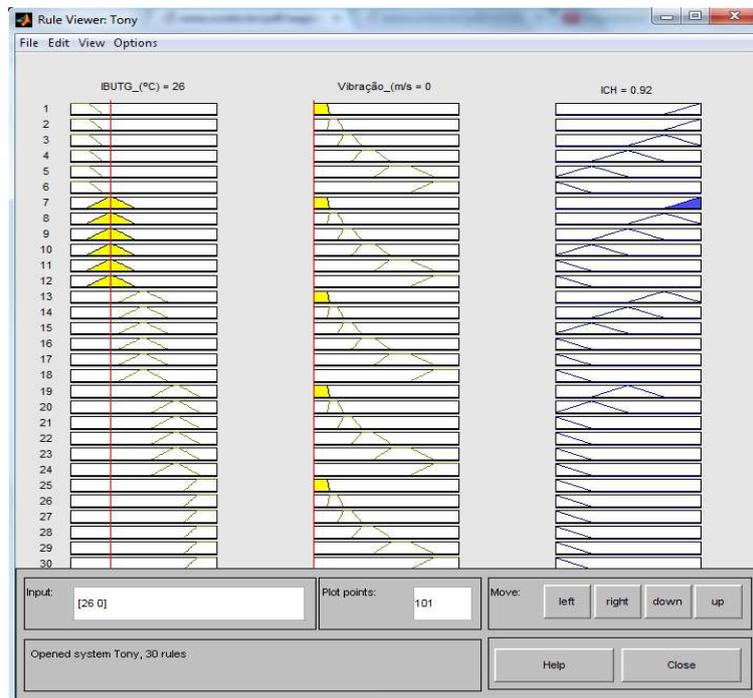


Figura 4: Base de regra com melhor situação de associação dos valores das variáveis dependentes (IBUTG e vibração), tendo como variável de saída o índice de conforto humano (ICH) para os operadores de máquinas portáteis motorizadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A superfície gerada na modelagem *fuzzy* (Figura 5), mostra a composição dos valores de vibração e IBUTG e a interação entre eles, classificando o ICH dos operadores de máquinas portáteis motorizadas. As

depressões indicam as faixas onde o conforto para os trabalhadores é baixo e os pontos mais elevados indicam as faixas onde se tem melhor conforto ao desenvolver as atividades laborais em máquinas portáteis motorizadas. Para IBUTG e vibração acima de $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, respectivamente, os valores de IS estariam entre 0 e 0,2, caracterizando ambiente com conforto muito ruim e ruim, de acordo com a metodologia proposta. Para a NR-15 são consideradas atividades insalubres, temperaturas acima de $26,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ para atividades moderadas e em regime de trabalho contínuo. As condições de IBUTG e vibração acima dos valores das normas vigentes podem ser observadas na Figura 5, conforme simulado no modelo proposto.

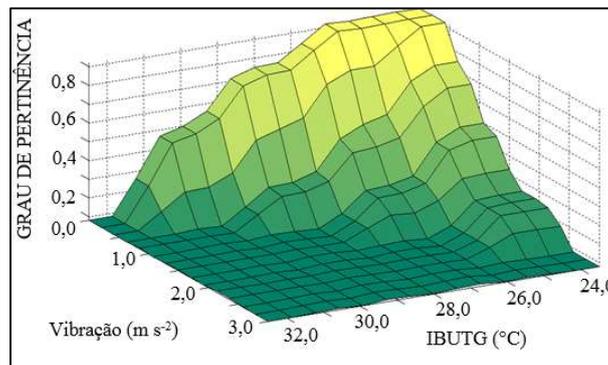


Figura 5: Índice de Conforto Humano (ICH) simulado em função da vibração e IBUTG.

De acordo com a ISO 2631 (1997), faixas de conforto em relação à vibração são determinadas, podendo indicar o grau de salubridade sofrido pelos trabalhadores em diferentes valores de aceleração, onde vibrações acima de $2,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, são consideradas de extremo desconforto para o operador. A superfície gerada mostra que, na medida em que os valores de vibração e IBUTG aumentam, menor é o Índice de Conforto Humano (ICH) e conseqüentemente, pior é a sensação de bem-estar do operador de máquinas portáteis motorizadas.

Os valores elevados do Índice de Conforto Humano mostram que o ambiente está dentro da faixa considerada confortável para as atividades desempenhadas. Já nas depressões, devem ser tomadas medidas para assegurar um melhor bem-estar do operador, onde é necessária alguma ação no sentido de alterar as condições do ambiente laboral por meio de EPIs e/ou os aspectos das máquinas e equipamentos utilizados, adequando estes fatores às normas vigentes. Para testar o modelo *fuzzy* foram utilizados dados obtidos por Marzano (2013) e Poletto Filho (2013).

Marzano (2013) fez algumas coletas de dados relativos à IBUTG e vibração de máquinas motocoveadoras da marca Sthill, modelo BT 121, com peso de 11 kg, com combustível em plantios de *Eucalyptus* spp., pertencentes a uma empresa florestal localizada na cidade de Guanhães ($42^{\circ}58' \text{ W}$ e $18^{\circ}38' \text{ S}$), estado de Minas Gerais, com altitude média de 801 metros acima do nível do mar, onde obteve o valor de aceleração em uma das máquinas de $5,05\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, e o valor de IBUTG para o dia 2 de setembro de 2012 de $24,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Com a análise dos dados segundo o modelo *fuzzy* desenvolvido, foi obtido um índice de conforto humano de 0,08, caracterizando um estado muito ruim de bem-estar do operador da máquina.

Poletto Filho (2013) coletou dados de IBUTG, vibração e ruído das atividades exercidas por operadores que fizeram a manutenção dos elementos de drenagem da Rodovia Comandante João Ribeiro de

Barros, entre os municípios de Bauru e Marília, na região oeste do Estado de São Paulo. Os equipamentos analisados foram roçadoras transversais motorizadas de diferentes fabricantes, utilizadas para roçar o mato dos canteiros na extensão da referida rodovia. Para uma das máquinas, o valor de vibração obtido foi de 1,6 m.s⁻² e o valor de IBUTG médio obtido para o mês de agosto foi de 19,9 °C. Utilizando o modelo desenvolvido nesse trabalho, foi obtido um ICH de 0,25, caracterizando um estado ruim de bem-estar do operador da máquina.

CONCLUSÕES

No desenvolvimento do Índice de Conforto Humano a partir da metodologia *fuzzy* foram obtidos resultados que demonstram que a teoria dos conjuntos *fuzzy* é uma excelente ferramenta na predição do bem-estar dos operadores de máquinas portáteis motorizadas utilizando as variáveis vibração e IBUTG. Utilizando o sistema desenvolvido, foi possível, estimar o conforto de trabalhadores com relação ao IBUTG e vibração que operam máquinas portáteis motorizadas.

O ambiente de trabalho dos operadores de máquinas portáteis motorizadas necessita de mudança para adequação às normas vigentes, buscando melhoras no ambiente de trabalho. Em relação à temperatura, o uso de EPIs como protetor solar, chapéu, óculos escuros e roupas que cubram boa parte do corpo são de extrema importância para quem trabalha sob o sol, que, com o tempo, vai causando danos que são acumulativos, podendo causar mudanças na estrutura da pele, fazendo com que as células se multipliquem de forma desordenada. Deve-se, além de utilizar os EPIs, evitar exposições prolongadas quando possível. Já em relação à vibração, medidas devem ser adotadas para diminuir a transferência da vibração para o operador, ou seja, deve-se fazer alterações no projeto da máquina, visando uma melhoria no que diz respeito à vibração da mesma.

REFERÊNCIAS

ANFLOR, C. T. M.. **Estudo da transmissibilidade da vibração no corpo humano na direção vertical e desenvolvimento de um modelo biomecânico de quatro graus de liberdade.**

Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BALBINOT, A.; TAMAGNA, A.. Avaliação da transmissibilidade da vibração em bancos de motoristas de ônibus urbanos: um enfoque no conforto e na saúde. **Revista brasileira de Engenharia Biomédica**, Rio de Janeiro, v.18, n.1, p.31-38, 2002.

CARVALHO, C. C. S.; SOUZA, C. F.; TINÔCO, I. F. F.; VIEIRA, M. F. A.; MINETTE, L. J.. Segurança, saúde e ergonomia de trabalhadores em galpões de frangos de corte equipados com diferentes sistemas de abastecimento de ração. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.3, p.438-447, 2011.

REGIS FILHO, G. I.; ZMIJEVSKI, T. R. L.; PIETROBON, L.; FADEL, M. A. V.; KLUG, F. K.. Exposição ocupacional do cirurgião-dentista à vibração mecânica transmitida através das mãos:

um estudo de caso. **Produção**, Florianópolis, v.20, n.3, p.502-509, 2010.

FRANCHINI, D.. **Análise do nível de vibrações verticais no assento de um trator agrícola.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

GOMES, M. F.; SOUZA, M. B. S.. Access to jurisdiction and the collective writ of mandamus to ensure the work environment prevention balanced in slaughterhouses. **Revista Cidadania e Acesso à Justiça**, p.74-97, 2018.

GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R.. Modelagem, controle, sistemas e lógica *fuzzy*. **SBA Controle & Automação**, Campinas, v.4, n.3, p.97-115, 1994.

GOMIDE, F.; GUDWIN, R.; TANSCHKEIT, R.. Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos *fuzzy*, lógica *fuzzy* e aplicações. In: IFSA CONGRESS-TUTORIALS, 6. **Anais**. 1995.

GOSLING, M.; ARAÚJO, G. C. D.. Saúde física do trabalhador rural submetido a ruídos e à carga térmica: um estudo em

operadores de tratores. **O Mundo da Saúde**, São Paulo, v.32, n.3, p.275-286, 2008.

GRANDJEAN, E.. **Manual de Ergonomia**: adaptando o trabalho ao homem. 4 ed. Porto Alegre: Artes Médicas; 1998.

IIDA, I.. **Ergonomia Produto e Produção**. São Paulo: Edgard Blucher, 1990.

ISO. International Organization for Standardization. **ISO 2631**: Mechanical Vibration and Shock: Evaluation of Human Exposure of Whole-Body Vibration. Geneva: General requirements, 1997.

KADERLI, F.; GOMES, H. M.. Análise do conforto quanto à vibração em automóveis de passeio. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v.12, n.18, p.107-206, 2011.

KLIR, G. J.; YUAN, B.. **Fuzzy sets and fuzzy logic**. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1995.

LEE, C. C.. *Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controllers - Part I and II*. **IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics**, Arlington, v.20, n.2, p.404-435, 1990.

MARZANO, F. L. C.. **Avaliação de metas de produção eficientes e compatíveis com fatores ergonômicos de atividades de silvicultura**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

OWADA, A. N.; NÄÄS, I. A.; MOURA, D. J.; BARACHO, M. S.. Estimativa do bem-estar de frangos de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.3, p.611-618, 2007.

POLETTI FILHO, J. A.. **Análise dos riscos físicos e ergonômicos em roçadora transversal motorizada**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2013.

RIBAS, R. L.. **Exposição humana a vibrações de corpo inteiro em um trator agrícola em operação de semeadura**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SAVIONEK, D.; GOMES, H. M.. Medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braco durante a atividade ciclística. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v.13, n.20, 2012.

SCHIASSI, L.; MELO, N. S. M.; TAVARES, G. F.; SOUZA, I. P.; ARAÚJO, H. B.; GIUSTINA, C. D.. Modelagem fuzzy em parâmetros de bem-estar humano. **Nativa**, Sinop, v.1, n.1, p.8-12, 2013.

SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; FERREIRA, L.; DAMASCENO, F. A.; YANAGI, S. N. M.. Metodologia fuzzy aplicada à avaliação do aumento da temperatura corporal em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.16, n.2, p.181-191, 2008.

SILVA, E. P.; COTTA, R. M. M.; SOUZA, A. P.; MINETTE, L. J.; VIEIRA, H. A. N. F.. Diagnóstico das condições de saúde de trabalhadores envolvidos na atividade em extração manual de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.3, p.561-565, 2010.

TANAKA, K.. **An introduction to fuzzy logic for practical applications**. Tokyo: Springer, 1997.

TANSCHKEIT, R.. Sistemas fuzzy. In: **Inteligência computacional**: aplicada a administração, economia e engenharia em Matlab, 2004. p.229-264.

XIMENES, G. M.; MAINIER, F. B.. Programas de proteção de saúde e segurança de exposição às vibrações. In: ENEGEP, 25. **Anais**. Porto Alegre, 2005. p.1-8.