



PROCESSO DE HIERARQUIA ANALÍTICA (AHP) APLICADO PARA A GERAÇÃO DA ESTRUTURA FUNCIONAL DE UMA MÁQUINA AUTÔNOMA PARA TRATOS CULTURAIS

**LAÍS KROESSIN¹; JEAN CARLOS ROSALES²; NATAN DA SILVA FAGUNDES³
ANTONIO LILLES TAVARES MACHADO⁴; ROBERTO LILLES TAVARES
MACHADO⁵**

¹*Universidade Federal de Pelotas – kroessinlais15@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – rosjeaneng@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – natanfagundes@gmail.com*

⁴*Universidade Federal de Pelotas – lilles@ufpel.edu.br*

⁵*Universidade Federal de Pelotas – rlilles@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

Os tratamentos culturais, definem-se como a eliminação manual, mecânica, química ou térmica, de plantas invasoras para reduzir a concorrência por água, nutrientes, espaço, assim como para eliminar possíveis hospedeiras de pragas (EMBRAPA, 2021). No controle destas plantas são comumente utilizados equipamentos como cultivadores mecânicos, enxadas rotativas ou pulverizadores agrícolas, tracionados por força mecânica, animal ou manual.

A automação no controle mecânico ou químico dessas plantas melhorou nos últimos anos com uma série de cultivadores e pulverizadores automatizados que foram desenvolvidos em várias partes do mundo. Essas máquinas agrícolas usam visão computacional, algoritmos de imagem, GPS e câmeras para detecção, diferenciação e identificação de plantas não desejadas em culturas (MERFIELD, 2016).

Levando em consideração esses desenvolvimentos, aplica-se o método do Processo Analítico Hierárquico (AHP) para a análise das características de engenharia das máquinas envolvidas no estudo, e assim, gerar uma estrutura funcional em relação a uma máquina autônoma para tratamentos culturais.

Conforme SAATY (2008), o Método do AHP analisa matematicamente as comparações entre fatores em conjunto aos julgamentos e pesos de especialistas para avaliar critérios quantitativos ou qualitativos. Assim, identificados os fatores e selecionados os atributos, são organizados hierarquicamente de modo descendente em critérios e subcritérios, até finalmente estabelecer as alternativas que visam resolver o problema apresentado.

2. METODOLOGIA

Para a obtenção das características das estruturas funcionais das máquinas, foi realizada uma pesquisa nos sites de cada um dos produtos os quais forneceram a folha de dados com a descrição. No quadro da Figura 1, apresenta-se as especificações técnicas de 5 alternativas de máquinas para tratamentos culturais encontradas no mercado (ECOROBOTIX, 2021a; ECOROBOTIX, 2021b; GRIMSTAD, L.; FROM, P., 2021; NAIO TECHNOLOGIES, 2021; PIXELFARMING ROBOTICS, 2021).

Para a geração da estrutura hierárquica mostrada na Figura 2, conforme SAATY (2008), deve-se estabelecer os critérios ou fatores para avaliar as alternativas obtidas da pesquisa de mercado.

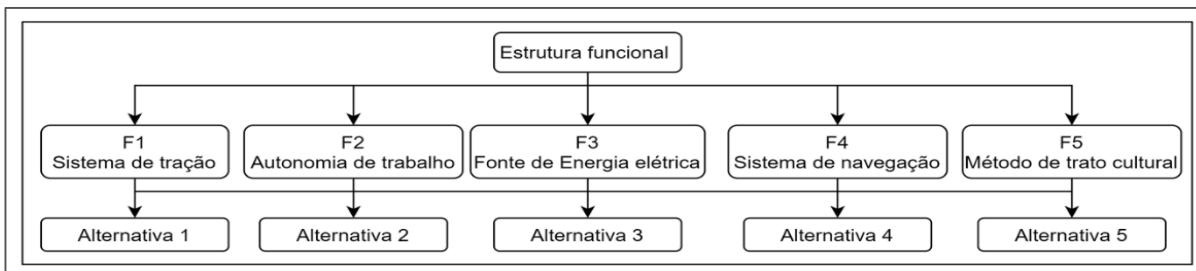


Figura 1 – Quadro de especificações técnicas das alternativas

Características	Marca	Ecorobotix		Saga Robotics	Naio Technologies	Pixelfarming
	Modelo	Avo – Weeding Robot	Smart Weeding	Thorvald platform II	DINO – Weeding Robot	Robot One
	Alternativa	A1	A2	A3	A4	A5
Função	Pulverizador	Pulverizador	Capinador mecânico	Capinador mecânico	Capinador mecânico	Capinador mecânico
Comprimento (m)	3.75	1.70	1.50 – 1.75	2.50	1.86	
Largura (m)	2.45	2.20	1.00 – 3.00	1.50 – 2.00	3.51	
Altura (m)	1.30	1.30	0.825	1.30	2.40	
Peso (kg)	750 (baterias 60 kg)	130	180	800	1100	
Velocidade máxima (m/s)	1.0	0.4	1.5	2.5	1.0	
Potencia (kW)	3.0	1.5	2.0	Não há dados	2.0	
Sistema de navegação	Câmera + RTK GPS	Câmera + RTK GPS	LiDAR sensor + GPS	Câmera + RTK GPS	Câmera + RTK GPS	
Sistema de direção	Motor nas 4 rodas	Motor nas rodas dianteiras	Motor nas 4 rodas	Motor nas 4 rodas	Motor nas 4 rodas	
Sistema de tração	4WD	2WD (Tração dianteira)	4WD	4WD	4WD	
Energia de propulsão	Placas solares	Placas Solares	Energia elétrica (Plug-in)	Energia elétrica (Plug-in)	Placas solares	
Placas solares (Watts)	1150 (3 x 380W)	760 (2 x 380W)	Não contem	Não contem	2000 (5 x 400W)	
Bateria (V/Ah)	48 V/75 Ah x (3)	48 V/75 Ah	48V/70 Ah x (2)	Não há dados	48V/250 Ah	
Tempo de autonomia (h)	5	12	10	8	6	
Implemento de trabalho	Braço pulverizador	Braço pulverizador	Cultivador com haste	Enxada rotativa e Haste	Enxada rotativa e Haste	

A equipe de trabalho estabeleceu 5 critérios de avaliação: F1 – Sistema de tração (Potência do motor e o arranjo do trem de força); F2 – Autonomia de trabalho (horas contínuas de trabalho fornecidas pela capacidade da bateria); F3 – Fonte de energia elétrica (modo de carregamento da bateria); F4 – Sistema de navegação (Capacidade de detecção da linha da cultura e manobrar pelo campo); e F5 – Método de tratamento cultural (mecânico ou químico que não danifique o solo e a cultura).

Figura 2 - Hierarquia proposta com os criterios de avaliação das alternativas



Com o propósito de obter os pesos de cada um dos critérios, uma planilha de cálculo eletrônico foi desenhada e programada para aplicar o método de hierarquização. Inserindo os julgamentos de acordo a escala fundamental de SAATY (2012), foi possível calcular os pesos e a classificação de cada requisito em ordem de importância. Para a equipe de trabalho envolvida, perguntou-se especificamente, “Quais dos critérios F_i e F_j é mais importante para a escolha da estrutura funcional da máquina de acordo com o seu uso para atividades de tratamento culturais? E quanto mais importante?”

A seguir, foi aplicado o processo anterior para definir quais dentre as 5 alternativas proporcionava a melhor estrutura funcional para cada um dos 5 critérios de classificação das 5 alternativas com cada um dos 5 critérios avaliadores, usando a planilha eletrônica semelhante à primeira, mas neste caso, perguntou-se, Quais das alternativas A_i e A_j é mais importante em relação ao critério F? E quanto mais importante?

Para ter a certeza de que o método está sendo aplicado corretamente, SAATY (2012) definiu o parâmetro de razão de consistência (CR), o qual indica que se $CR > 0.10$, na matriz de comparação, a avaliação feita pela equipe de trabalho é inconsistente.



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No que diz respeito aos critérios, os que tiveram maior peso com relação à importância dos sistemas envolvidos neste estudo se apresentaram sequencialmente da seguinte maneira: Sistema de Tração, Fonte de Energia, Sistema de Navegação, Autonomia de Trabalho e Tratos Culturais.

Dentro da técnica AHP, na Figura 3, apresenta-se sua aplicação com relação ao primeiro critério F1 (Sistema de tração), onde a alternativa A1 (Avo – Weeding Robot) ficou com a maior ponderação por parte da equipe de trabalho. A alternativa em questão possui uma potência elétrica nos motores de 3kW distribuídas num sistema de tração nas quatro rodas, que pode oferecer até 3m/s de velocidade máxima de operação.

Figura 3- Avaliação das alternativas em relação ao critério F1 (Sistema de tração) mediante a aplicação do método AHP.



No seguinte critério F3 (Fonte de Energia), foram levados em conta o modo de carregamento de baterias, seja com placas solares ou tomada da rede elétrica. Depois da aplicação do método AHP, a equipe constatou que a melhor alternativa é oferecida pela máquina Robot One (A5) a qual possui um arranjo de placas solares com uma geração de energia elétrica total de 2kW.

Por outro lado, no terceiro critério F4 (Sistema de Navegação) houve semelhança em todas as alternativas quanto aos sistemas para o posicionamento da máquina no campo. No entanto, a metodologia determinou que a alternativa 4 (DINO – Weeding Robot) com câmera e GPS, pode oferecer boa performance com um custo baixo em comparação com os sensores ultrassónicos LiDAR. Por outro lado, tem direção nas 4 rodas.

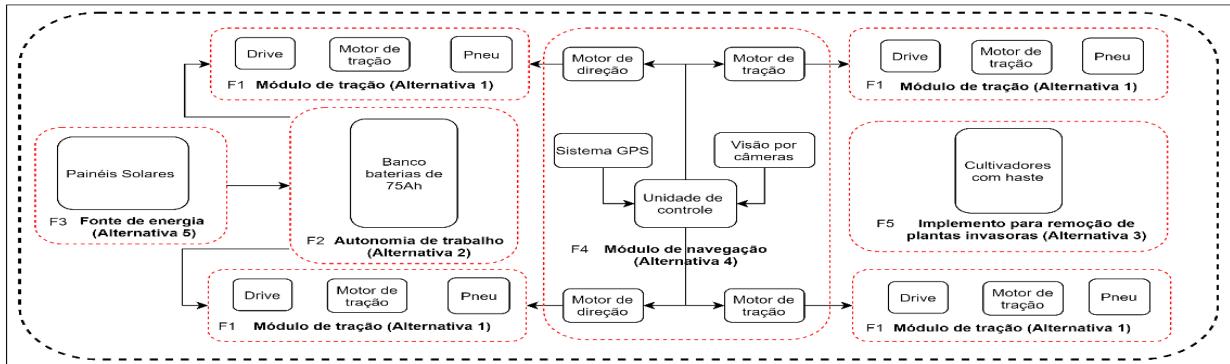
Em seguida, no quarto critério F2 (Autonomia de Trabalho), foi levado em consideração as horas contínuas de trabalho que a máquina pode realizar e sua capacidade de bateria. Como resultado, a alternativa A2 (Smart Weeding) disponibiliza maior autonomia de trabalho de 12 horas e uma capacidade na bateria de 75 amperes por hora.

Por último, o critério F5 (Método de Tratamento Cultural) foi escolhido de acordo com o implemento de trabalho usado para a remoção de plantas invasoras, sendo a alternativa 3 (Thorvald Platform) que dispõe de cultivadores com haste, a opção com maior valor na ponderação.

Com base na aplicação do Método AHP obteve-se a estrutura funcional de uma máquina autônoma para remoção de plantas invasoras (Figura 4).



Figura 4 – Diagrama da estrutura funcional de uma máquina autônoma para remoção de plantas invasoras.



4. CONCLUSÕES

O estudo apresentado é de grande relevância, visto ter demonstrado que o Método AHP pode auxiliar à equipe de trabalho quanto a escolha da estrutura funcional de uma máquina autônoma para tratamentos culturais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ECOROBOTIX. **AVO Weeding Robotic Platform.** Disponível em: <https://www.ecorobotix.com/en/avo-autonomous-robot-weeder/>. Acesso em: 23 julho. 2021.
- ECOROBOTIX. **Smart Weeding.** Disponível em: <https://www.ecorobotix.com/en/autonomous-robot-weeder/>. Acesso em: 23 julho. 2021.
- EMBRAPA- **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** Embrapa Hortaliças. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortaticas/tratos-culturais> Acesso em: Julho 2021.
- GRIMSTAD, L.; FROM, P. Thorvald II – a Modular and Re-Configurable Agricultural Robot. **IFAC-PapersOnline**, v. 50, n. 1, p. 4588 – 4593, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1005>. Acesso em: Julho. 2021.
- MERFIELD, C N. Robotic weeding's false dawn Ten requirements for fully autonomous mechanical weed management. **Weed Research**. 2016, v. 56, n. 5, p. 340-344. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/wre.12217>. Acesso em: 20 nov. 2020.
- NAIO TECHNOLOGIES. **Dino - Weeding robot for large-scale vegetable crops.** Disponível em: <https://www.naio-technologies.com/en/dino/>. Acesso em: 23 julho. 2021.
- PIXELFARMING ROBOTICS. **Robot One Platform.** Disponível em: <https://pixelfarmingrobotics.com/assets/documents/robot-one.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2021.
- SAATY, T & VARGAS, L. **Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process.** 2. Ed. New York: Springer Us, 2012.
- SAATY, Thomas. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**. 2008, v.1, n. 1, p. 83-98. Disponível em:https://www.researchgate.net/publication/228628807_Decision_making_with_the_Analytic_Hierarchy_Process. Acesso em: 18 julho. 2021.