



UNICESUMAR - UNIVERSIDADE DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA.

**DESENVOLVIMENTO DE PROJETO CONCEITUAL DE FERRAMENTA DE
PODA PARA VIABILIZAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DE ROBÔ PARA A
MANUTENÇÃO DA ARBORIZAÇÃO URBANA DE MARINGÁ: ESTUDO DE CASO**

JAIR JUNIOR FERNANDES ARAUJO

MARINGÁ – PR

2021

Jair Junior Fernandes Araujo

**DESENVOLVIMENTO DE PROJETO CONCEITUAL DE FERRAMENTA DE
PODA PARA VIABILIZAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DE ROBÔ PARA A
MANUTENÇÃO DA ARBORIZAÇÃO URBANA DE MARINGÁ: ESTUDO DE CASO**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNICESUMAR – Universidade de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Me. Murillo Vilela Magan.

MARINGÁ – PR

2021

FOLHA DE APROVAÇÃO
JAIR JUNIOR FERNANDES ARAUJO

**DESENVOLVIMENTO DE PROJETO CONCEITUAL DE FERRAMENTA DE
PODA PARA VIABILIZAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DE ROBÔ PARA A
MANUTENÇÃO DA ARBORIZAÇÃO URBANA DE MARINGÁ: ESTUDO DE CASO**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNICESUMAR –
Universidade de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em
Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Me. Murillo Vilela Magan.

Aprovado em: __25__ de __novembro__ de __2021__.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Anderson Rodrigues, Unicesumar

Prof. Me. Leandro Thiago Loureiro, Unicesumar

Prof. Me. Murillo Vilela Magan, Unicesumar

DESENVOLVIMENTO DE PROJETO CONCEITUAL DE FERRAMENTA DE PODA PARA VIABILIZAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DE ROBÔ PARA A MANUTENÇÃO DA ARBORIZAÇÃO URBANA DE MARINGÁ: ESTUDO DE CASO

Jair Junior Fernandes Araujo

RESUMO

Este trabalho apresenta um projeto de pesquisa aplicada, voltada a desenvolver um novo conceito de ferramenta para poda, focado em tornar o processo mais dinâmico através da robotização do mecanismo, almejando atender com um padrão de qualidade, referenciados em normas e literaturas, partindo do contexto da larga demanda das árvores nas vias públicas da cidade Maringá, Paraná onde são corriqueiras as quedas de até centenas de árvores em único dia tempestuoso que sobrecarregam a manutenção da arborização pública. A pesquisa coletou dados de fontes primárias, diretamente dos órgãos oficiais junto de pesquisa de campo e via levantamento bibliográfico dos métodos de podas e a análise da literatura de sistemas na robótica, sendo da natureza quali-quantitativa. Ao final apresenta-se o esboço do novo conceito onde se prevê o escoamento das podas através de um duto para redução de movimentações na atividade de poda que pode ser acoplado aos robôs a serem desenvolvidos para pesquisas do estudo de caso e empregados diretamente em guindautos em caráter emergencial.

Palavras-chave: Gestão pública. Preservação ambiental. Robótica.

DEVELOPMENT OF A CONCEPTUAL PROJECT OF PRUNING TOOL FOR THE FEASIBILITY OF ROBOT DEPLOYMENT FOR THE MAINTENANCE OF URBAN TREES IN MARINGÁ: CASE STUDY

ABSTRACT

This work presents an applied research project, aimed at developing a new concept of pruning tool, focused on making the process more dynamic through the robotization of the mechanism, always meeting a quality standard, referenced in norms and literature, starting from the context the large demand for trees on public roads in the city of Maringá, Paraná, where they are commonplace, as hundreds of trees fall in a single stormy day, which overloads the maintenance of public afforestation. A survey collected data from primary sources, directly from official bodies along with field research, and via a bibliographic survey of pruning methods and the analysis of the literature of systems in robotics, being of a quality-quantitative nature. In the end, the outline of the new concept is presented, which foresees the flow of pruning through a duct to reduce movements in the pruning activity that can be coupled to robots developed for case study research and used directly in cranes on an emergency basis.

Keywords: Environment preservation. Public Management. Robotics.

1 INTRODUÇÃO

A cidade Maringá, situada no noroeste do Paraná, Brasil, desfruta de uma arborização intraurbana de copas frondosas com mais de 142 mil indivíduos arbóreos sobre vias públicas e calçadas que demandam cuidados pelo seu porte, altura de copas, condições de saúde e conflitos com estruturas do ambiente urbano. Atualmente, há uma fila de espera de aproximadamente 13 mil pedidos de poda e/ou remoção. As equipes da secretaria de limpeza urbana do município são incapazes de atender as demandas de manutenção, como podas, remoções de forma independente e lidar com situações de emergência. São frequentes os casos de quedas de centenas de árvores, principalmente na ocorrência de tempestades que se somam a esta lista de espera. Assim, árvores em condições saudáveis, com o atraso de anos, tornam-se fontes de conflitos devido seu porte preocupante, crescimento irregular de copas e raízes e deposição considerável de resíduos orgânicos indesejados (ARAÚJO, 2021; MARINGÁ, 2019; KÖHLER, 2020). A caracterização arbórea de Maringá, o número total de indivíduos é 142893 árvores como exposto na Tabela 1.

Tabela 1. Distribuição arbórea sobre as vias públicas de Maringá no primeiro semestre de 2021

Nome	Nome Científico	Número De Espécies	Quantidade De Indivíduos Arbóreos	Porcentagens Frequência Recomendada (10-15)
SIBIPIRUNA	<i>Poincianella pluviosa</i> (<i>Caesalpinia peltophoroides</i>)	1	33.665	23,56%
OITI	<i>Licania tomentosa</i>	2	21.850	15,29%
IPÊ-ROXO	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	3	9.693	6,78%
AROEIRA-CHORÃO	<i>Schimus molle</i>	4	5.221	3,65%
TIPUANA	<i>Tipuna tipu</i>	5	5.020	3,51%
	OUTROS	149	67.444	47,12 %
	TOTAL	154	142.893	100%

Fonte: Araujo, 2021.

Como tentativa de mitigar essa demanda crescente, nos últimos anos o município aumentou os gastos com arborização contratando equipes terceirizadas que passaram a receber a maior parte dos recursos. Contudo, mesmo com o emprego constante de equipes terceirizadas, a demanda em atraso continua alta, o que sobrecarrega os funcionários e pode levar a execução de podas de forma inadequada, de forma a resultar na necessidade de retrabalho ou até mesmo em acidentes, que são responsáveis por custos crescentes de indenizações pagos pela prefeitura (ARAUJO, 2021).

Atualmente, há patentes em desenvolvimento de veículos que contam com níveis de automação para manipulação de ferramentas para poda, mas que seguem métodos tradicionais baseados nas experiências dos profissionais que trabalham na área ou que não atendem a necessidade da América Latina, como ressalta Castellanos (2019). Conforme expõem Müller; Müller e Siebert *et al.* (2016) na abordagem do trabalho PD&I de poda robotizada, uma patente voltada para melhoria das condições de segurança para os profissionais da poda – que oferece risco de queda e morte por choque elétrico devido movimentações próximas a linhas de altas tensões –, justificando o desenvolvimento do então projeto do braço e ferramentas que substitui o cesto aéreo, estando o braço robô linearmente acoplado do braço hidráulico e suas funções tele operadas por profissionais em solo. Esse projeto pertence ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento Lactec em Curitiba, Paraná, a serviço da COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia).

Enquanto na Alemanha, na Universidade de Hohenheim, Reiser *et al.* (2021) desenvolvem uma plataforma robô que se utiliza da metodologia de detecção de luz e alcance, chamada de *Light detection and Ranging* (LIDAR) e inteligência artificial para selecionar e podar galhos de árvores de pomares recolhendo galhos que são indesejáveis para a morfologia da árvore frutífera e cortando-os em seguida com uma pequena serra elétrica na ponta de uma haste que é manipulada por um braço robô da plataforma. Seguindo o método Horikawa (2002), que consiste em uma Adaptação baseada em Hasegawa (1985) para analisar a necessidade da implantação de respectivo robô escolhido, para evitar sua subutilização, analisa-se a possibilidade de que a máquina possa ir além da metodologia já aplicada.

Este trabalho surge como uma continuidade da pesquisa de iniciação científica “Viabilidade De Implantação De Robôs Mantenedores Da Arborização Urbana Da Cidade De Maringá: Um Estudo De Caso Para Levantamento De Características Necessárias” (ARAUJO, 2021), fomentada pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI), fornecido pelo ICETI (Instituto Cesumar de Ciência Tecnologia e Inovação) em parceria com a UNICESUMAR. Sua continuidade tem

o intuito de desenvolver soluções concretas que possam nortear o desenvolvimento de tecnologias para aperfeiçoar a poda intraurbana na cidade de Maringá e diminuir as externalidades negativas consequentes da poda e dos danos causados pela arborização e também evitar que haja perda ou quedas expressivas de árvores, seguindo, assim, com o propósito de preservação das condições da arborização urbana e mitigação dos respectivos conflitos que se estendem atualmente.

O objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento de um conceito de ferramenta que auxilie o processo de podas urbanas, tornando o serviço mais dinâmico e eficiente, e a viabilização da implantação de robôs para a manutenção da arborização urbana almejando a redução de custos operacionais, ampliação da capacidade do serviço e que possa dar continuidade às questões levantadas na pesquisa, as quais norteiam esse projeto, de forma a contribuir para pesquisas posteriores no desenvolvimento de soluções tecnológicas para este problema do estudo de caso. Partindo do pressuposto de que o desenvolvimento do sistema robotizado possa ser operado por inteligência artificial, cujo controle será aplicado em sequência por pesquisas futuras, esta ferramenta será guiada por sensores ópticos para realização das movimentações da operação de poda dentre as complexidades de aproximações nas copas.

Para isso, se faz necessário possuir os objetivos Específicos:

- Desenvolver o método através de uma nova concepção de ferramenta de poda que possa agilizar as operações tornando as etapas do processo mais efetivas em prol de implantação de um futuro robô para poda seguindo a linha do estudo de caso.

- Teorizar os mecanismos e o módulo de controle;

- Analisar o conceito desenvolvido com autores da literatura;

- Confrontar o conceito da ferramenta de poda criado com outros modelos já existentes sob o cenário da arborização urbana de Maringá e o contexto de viabilização da implantação distinguindo vantagens e desvantagens.

Este trabalho consistiu em uma pesquisa aplicada ao campo da robótica, e seguiu a metodologia de seleção de robôs de Horikawa (2002), que guia o projeto como um todo em suas fases para elaboração da natureza da robotização correspondente a este trabalho. Assim, na sequência, se debruça sobre os micros aspectos pelos quais se divide em duas grandes partes: Análise das características do trabalho e Planejamento de métodos de trabalho e processos.

Os dados foram coletados de fontes primárias, diretamente dos órgãos oficiais, quanto à natureza do problema, via levantamento bibliográfico; e através da realização de uma visita

técnica, tanto para o levantamento dos métodos de podas e a análise da literatura de sistemas na robótica. Com a visita técnica, observou-se os fenômenos no tocante aos esforços envolvidos, posições rente a arquitetura da copa, os respectivos conflitos do método aplicado e a gestão dos resíduos para compreender os pré-requisitos e especificidades do estudo de caso. Logo, quanto às técnicas de análise de dados, estas foram adotadas a partir de uma análise documental e estatística. Quanto ao objetivo, a pesquisa se caracterizou como descritiva e exploratória.

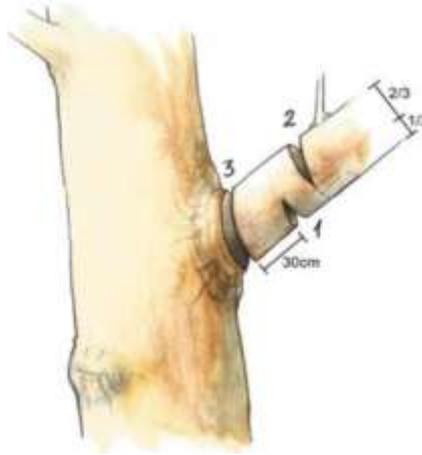
Diferente da pesquisa anterior do estudo de caso, dentro de cada etapa se concentra outro autor para complemento de análises nas suas especificidades para este projeto, os interpretando como parte dentro do processo da análise de viabilidade de Horikawa. Por se tratar de uma análise para um manipulador, como De Brito (2018) caracteriza a ferramenta atuadora robotizada para poda, as etapas de projeto informacional onde se encontram Castellanos (2019), Gilman (1997; 2015) e Bedker (1995), por exemplo. Durante as etapas seguintes, foram realizadas análises que modulam o projeto cruzando autores em adaptação para análise de critérios do projeto conceitual (TSAI, 2001) com enfoque na mecânica. Por fim, Rosário (2005), com a análise do sistema mecatrônico.

2 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DO TRABALHO

2.1 PARÂMETROS DE CORTE

A norma ABNT NBR 16246-1 rege e direciona as técnicas de poda seguidas por São Paulo (2015) e CEMIG (2011). Em síntese, o método de aproximação e de corte vigente quanto às condutas empregadas por arboristas e eletro-arborista para a poda é a Técnica dos três Cortes, cujas sequências de corte almejam queda do galho de forma controlada sem que haja o descascamento de lascas que causem ferimento e sirvam de entrada para vetores infecciosos. A sequência de cortes está esboçada abaixo, na figura 1:

Figura 1. Posições da técnica dos três cortes de poda



Fonte: São Paulo, 2015, p. 26

No primeiro (1) corte ocorre ao se referenciar as regiões da crista e do colar no pé dos ramos e da (Figura 1), onde é cortada com leve aprofundamento de um terço do diâmetro do ramo, em sequência, o segundo (2) corte é feito mais distante com o mesmo propósito com aprofundamento de dois terços, sendo esses dois cortes dedicados ao controle da queda de todo o ramo a ser retirado. Por último e mais importante, o terceiro (3) corte ocorre sobre a região da bissetriz entre a frente e crista, e a região do caule do ramo.

Para Gilman (1997) e Bedker (1995), a execução correta do terceiro corte define o êxito do processo de poda em relação às árvores, pois além de levar em consideração as características da crista, colar e fenologia do processo, é importante evitar a super brotação e retirada de lascas da região do corte para que haja a regeneração da casca e compartimentalização.

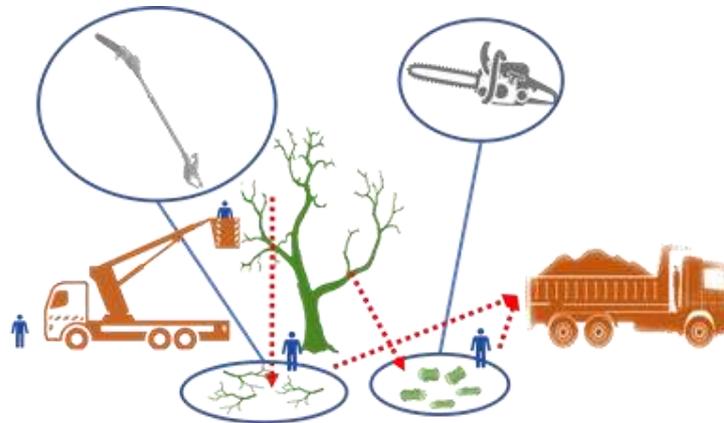
Esse método conduz o crescimento evitando conflitos com o meio urbano, de modo a mitigar infecções com a exposição do ramo. É importante ressaltar que tratamentos borrifando agentes químicos inibidores de gemas como aplica a TerraTech™ documentada no panorama de Castelhanos (2019), ou até mesmo a aplicação de pastas cicatrizantes fungicidas sobre a região do corte a fim de evitar infecções, coadunam medidas não executadas por não serem consideradas necessárias (MARINGÁ, 2019). Além disso, indica a utilização de substâncias estimuladoras do crescimento do calo cicatricial ou semeadura de fungos antagônicos dos degradadores da parede celular. O CEMIG (2011) complementa que essas medidas interferem

no processo natural de compartimentalização, e que nesse cenário poderiam aumentar ainda mais os custos operacionais do município de Maringá.

2.2 TEMPOS E MOVIMENTOS DE OPERAÇÕES

Para desenvolver um novo método, primeiro analisa-se neste tópico os movimentos realizados para se alcançar o êxito da atividade de poda. Atualmente, tanto para poda quanto remoção completa das árvores, são necessárias duas equipes. Uma primeira equipe de corte, que com um guincho de cesto elevatório eleva o arborista a uma posição desejada, ergonômica, na qual os esforços do operador da ferramenta ocorrem abaixo da altura do ombro e também de modo a movimentá-lo, posicionando-o de forma que as partes cortadas do ramo possam cair em queda livre. Uma segunda equipe que realiza atividades com o auxílio de caminhões é responsável pelo recolhimento dos troncos e galhos, e destinação até a pedreira.

Figura 2. Esquema representando os movimentos durante o processo de poda.



Fonte: O Autor, 2021

Seguindo o processo descrito aplicado, atualmente para análise dos movimentos são descritos por setas tracejadas, as ferramentas e equipamentos estão em cor cinza, da esquerda para direita, como aplicação de moto-poda em podas de limpeza para retiradas de excessos de copa, podas levantamento de copa e desbarra, já motosserra para as mesmas atividades mais as remoções das árvores já indicado com ramos acima 150mm de diâmetro, tal como expõe a Figura 2.

Através do processo descrito, os troncos e galhos atingem o chão de forma segura, onde serão recolhidos pela equipe e levados ao caminhão responsável pelo transporte. Nos

ramos de maior diâmetro são novamente utilizados motosserras pelos ajudantes que processam previamente. Em alguns casos de troncos ou galhos de folhagem densa, a equipe de limpeza se utiliza de retro escavadeira, principalmente em cenários tempestuosos. O mesmo ocorre nos sistemas que empregam automação e controles remotos com os descritos por Siebert *et al.* (2016) e Reiser *et al.* (2021), bem como nos demais sistemas descritos por Castellanos (2019).

Dois caminhões da SELURB (Secretaria de limpeza Urbana do município de Maringá), responsável pelas podas e remoções, contam com trituradores engatados a traseira para trituração dos tocos e galhos que são destinados também à pedreira municipal, onde terão os devidos fins, como destinação à adubação de hortas públicas e venda dos tocos não processados, gerando verba ao município. É comum em situações nas quais as equipes estão sobrecarregadas que esta etapa de limpeza atrase.

As podas de limpeza, levantamento, condução e adequação se limitam a retirada de 1/3 das copas. Em casos de remoção sem caráter emergencial, ao chegar ao tronco das árvores, é serrado no pé e então içado e coletado pela equipe de limpeza que destina a jardinagem e também a venda. Por último, cabe atualmente a uma equipe de destoca retirar as raízes restantes das remoções para dar espaço a futuras mudas.

2.3 CUSTOS OPERACIONAIS

Ao investir nesse método nos últimos anos, os custos mais expressivos são com locações de caminhões e tratores, e as aquisições por parte de prefeitura que caem para patamares menores, seguido de custos de manutenção. É possível enxergar no gráfico de custos dos últimos sete anos levantados por Araujo (2021), que se constatou com a visita técnica quanto ao uso de motosserras, que são realizadas manutenções frequentes, e há pouca infraestrutura. Em casos de chuvas e vendavais fortes, regiões nas quais ocorre maior número de quedas de árvores, há também uma maior demanda por estes equipamentos, havendo atraso nas manutenções e compra de equipamentos extra que também servem para estoque de peças, mantendo o custo médio de compras e manutenções de motosserra e moto-poda deste período (2014 a 2020), em R\$40.192,20/ano. Na Figura 3, o gráfico com custos operacionais:

Figura 3. Gráfico de custos da arborização com maquinário e ferramentas utilizados pelo Município



Fonte: O Autor, 2021

Os danos com o método atual chegam a representar 0,56% das indenizações com arborização na média dos últimos 7 anos, de 2014 a 2021 como apresentado no gráfico da Figura 4:

Figura 4. Causas de custos indenizatórios com a arborização.

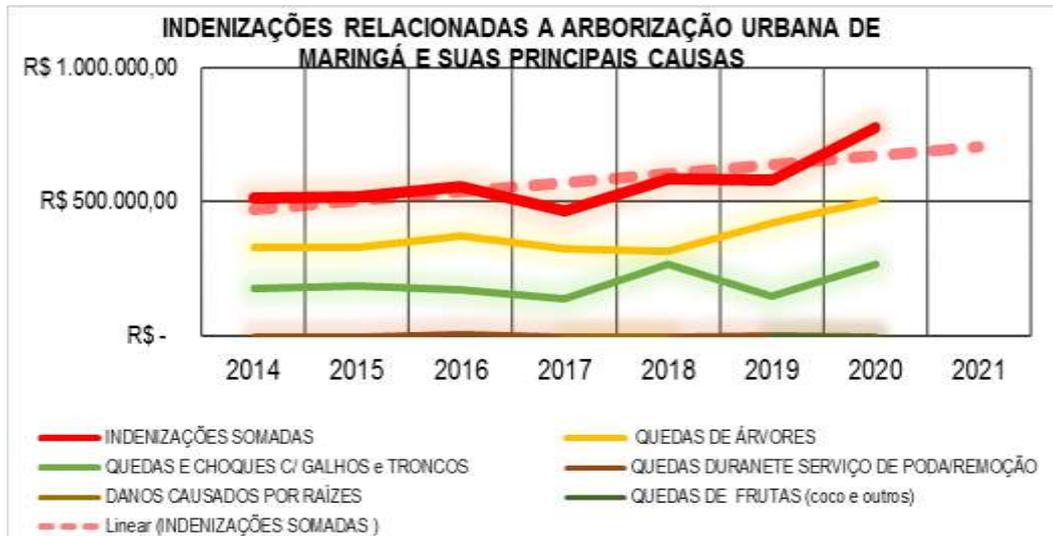


Fonte: O Autor, 2021

Entre os problemas com o método estão por exemplo danos, choques e quedas de toras que propiciam danos patrimoniais. Segundo Araujo (2021) os custos com indenizações com

arborização de Maringá cresceram no período de 2014 a 2020 como expõe o gráfico da Figura 5:

Figura 5. Custos com indenizações com a arborização dos últimos 7 anos.

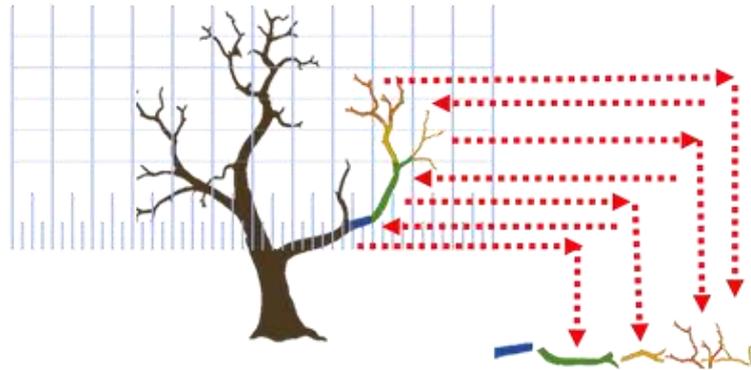


Fonte: Portal da Transparência, Maringá (2021); Araujo (2021)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO - PLANEJAMENTO DE MÉTODOS DE TRABALHO E PROCESSO

É preciso ter em mente que o objetivo de um projeto de robotização não é o de simplesmente reproduzir métodos e sistemas existentes através da troca de pessoas por robôs (HORI KAWA, 2002). Para propor, voltemos às movimentações realizadas, demarcando todo o trajeto ideal, que possa reduzir ao máximo o tempo e energia empregados na poda descritos na Figura 6.

Figura 6. Esquema das movimentações de poda com garra tele operada.



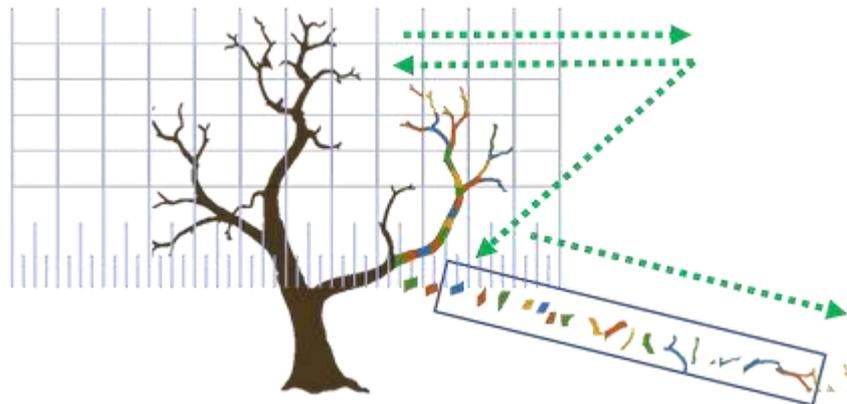
Fonte: O Autor, 2021

Na Figura 6 estão os movimentos realizados nas copas das árvores pelo projeto PD&I do braço robô de poda tele operada descrito por Müller e Müller, Siebert *et al.* (2016) e Lactec (2018). Quando os galhos apresentam diâmetro superior ao suportado pelo equipamento, utilizam-se motosserras para a realização da poda.

Conforme a Figura 6, quanto ao uso de garra hidráulica, o movimento após o corte é a manipulação horizontal e soltura do galho e em sequência o braço é direcionado para o próximo ponto. O despejo ocorre na caçamba ou no chão próximo ao triturador, onde os dois componentes já são integrados ao chassi do caminhão que contém todo o sistema. Portanto, a ferramenta de corte e manipulação se distancia do próximo ponto de corte na copa e realiza um movimento maior de aproximação se comparado com a distância do ponto do corte anterior.

A proposta do presente trabalho é a de movimento combinado baseada nos estudos de Gilman (1997; 2015) e Bedker (1995), que analisaram os cortes empregados em diferentes finalidades, possibilitando o entendimento das movimentações necessárias para as podas de manutenção em caráter preditivo, como limpeza e levantamento, aplicados amplamente em Maringá. Na situação de exemplificação da operação no diagrama abaixo, após a aproximação de subida da copa até o ponto de interesse, o processo idealiza o menor distanciamento entre os pontos de corte, vide Figura 7:

Figura 7. Esquema das movimentações ideais de poda.



Fonte: O Autor, 2021

A proposta de movimentos combinados tem como foco o aproveitamento dos movimentos, aos quais é empregada a energia pelos mecanismos. Logo, é idealizado o método ideal com o escoamento de resíduos provenientes do processo por um duto, ainda teórico, para escoamentos dos ramos seccionados. O recolhimento dos ramos cortados de modo constante conforme ocorre o corte, busca redução de movimentos e o aproveitamento da energia potencial gravitacional para mover estes diretamente ao ponto final, onde se conclui a atividade sequencial de limpeza. Isso pode ocorrer tanto na caçamba ou diretamente ao triturador, evitando quedas descontroladas e choques que possam causar danos a patrimônios que geraram para prefeitura custos de indenizações cujo valor sinaliza em média R\$902,00 nos últimos sete anos, de 2014 a 2020, conforme levantados por Araujo (2021); ou ainda acidentes de operadores com quedas do cesto aéreo, choques com galhos e tocos, cortes acidentais com motosserras e esmagamentos com deslocamentos imprecisos.

Portanto, para que haja o escoamento e processo mais contínuo e linear possível, a ferramenta deve fracionar o ramo e direcionar ao duto. Se baseando nos projetos apresentados nas pesquisas mais promissoras na área, a ferramenta concebe uma aproximação tele operada inicial feita pelo operador, assim como faz o braço tele operado, como apresenta Siebert *et al.* (2016), visando sobreposição do sensoriamento da ferramenta aos ramos de interesse como faz o robô Phoenix de Reiser (2021), ao tangenciar a copa.

Deste modo, consta na concepção que o manipulador contenha espaço ao sensoriamento de forma a não sofrer interferência com a detecção dos próprios mecanismos, como ressalta Brito (2018). Partindo do pressuposto de que a utilização de câmera 3D auxilia a inteligência artificial, dedicada ao reconhecimento de vetores do eixo central da área de

seção transversal dos ramos, que trabalham em conjunto com sensor de tecnologia LIDAR, responsável por realizar o mapeamento tridimensional de toda a superfície que reflete sinal de luz, sendo essas duas tecnologias cruciais para a navegação autônoma entre os pontos de corte.

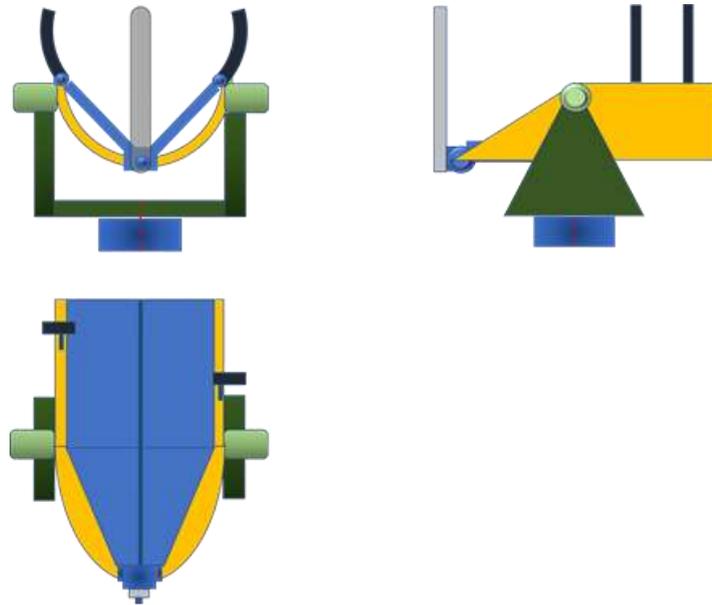
Ao realizar a aproximação tele operada próximo ao ramo desejado e selecionado pelo operador dentre as possíveis ramificações reconhecidas, este sistema de sensoriamento permite a aproximação, agarrar (*gripper*), cortar e despejar dentro dos parâmetros de forma autônoma quando recebido o comando de autorização do operador, gravando somente informações necessárias, limitando-se aos ramos direcionados previamente. Tendo isto posto, o sensoriamento remoto permite referenciar o sinal de erro $E(s)$, gerando um *feedback* do estado atual do sistema, sendo o posicionamento do manipulador referente ao próximo ponto de corte quanto a quantidade e posição a ser cortada para eliminar a ramificação indesejada da copa.

3.1 PROJETO DO ARRANJO FÍSICO

Para chegar ao arranjo físico do manipulador robótico, os desenhos foram realizados com base na perspectiva de garras robóticas, onde pretendeu-se prender uma forma cilíndrica levemente empenada. Seu padrão de operação prevê modularidade de ferramentas conforme se altera o padrão de operação, para motosserras e podões comuns às operações semimecanizadas e manuais aplicadas a podas mais pesadas e mais leves, respectivamente, vantagem essa do projeto descrito por Siebert *et al.* (2016) em relação ao projeto de pesquisa de Reiser *et al.* (2021).

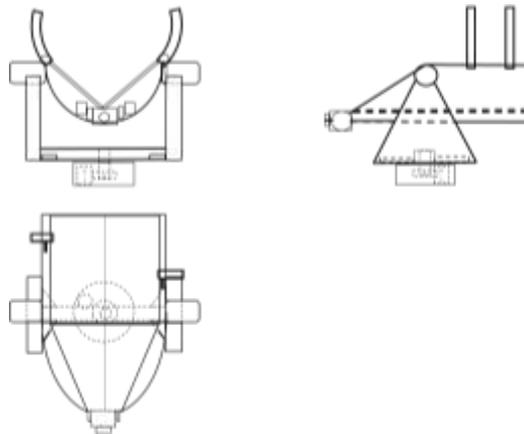
Conforme a Figura 8, os componentes principais são destacados por cores: Em azul inferior, base de rotação. Em verde mancal de inclinação de base. Amarelo: capa protetora que contém sensores. Azul em “v” formando um “berço” para tora, sendo essa base de apoio de corte para troncos de até 350mm. Em preto: garra. Em cinza motosserra elétrica. Em azul superior: Pulso. A Figura apresenta o esboço principal do novo conceito de ferramenta para poda urbana:

Figura 8. O conceito com suas partes destacadas em cores.



Fonte: O Autor, 2021

Figura 9. O conceito exposto em três vistas sem sabre.



Fonte: O Autor, 2021

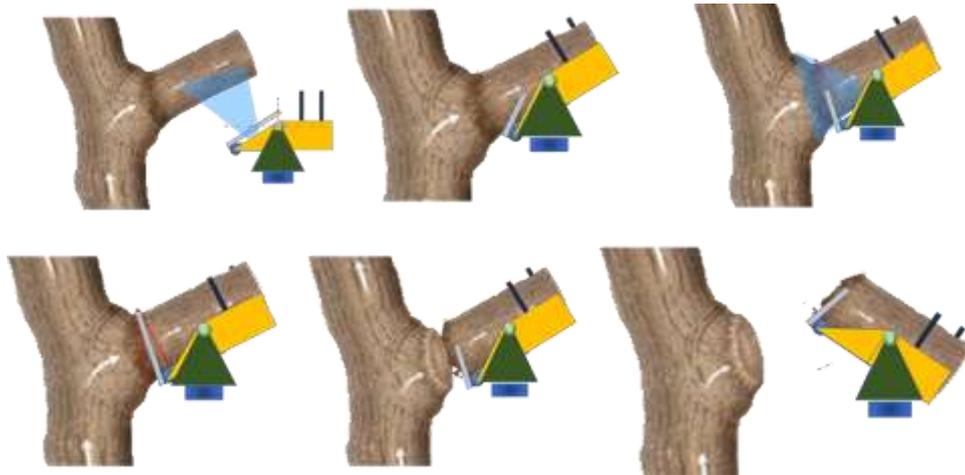
Seguindo nesta etapa, Tsai (2001), partindo dos requisitos do principal interessado, a Prefeitura de Maringá via SELURB e requisitos dos parâmetros ideais de operação, foi idealizado podador nas medidas limites:

Função

Cortar seguindo a norma NBR 16246-1; permitir o processamento de galhos e escoamento por um duto para o futuro robô viabilizar uma melhor gestão e segurança quanto

aos resíduos, evitando danos patrimoniais. Na demonstração da Figura 10, as fases de aproximação via sensores, prevendo a detecção das regiões da crista e colar pelos sensores abaixo da base, e, por fim, a aplicação do corte e inclinação para liberação ao duto:

Figura 10. Demonstração do conceito em fase de aproximação e corte de ramo de diâmetro limite.

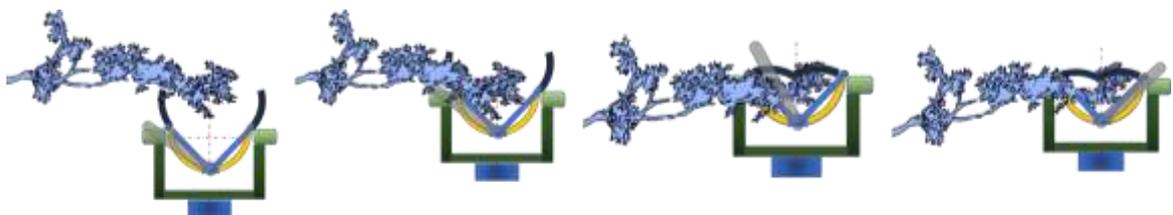


Fonte: O Autor, 2021

Forma

Conter troncos com diâmetros de até 338mm (limite dos trituradores disponível) ou até 350mm nos casos empenados. Galhos com ramos com diâmetros inferiores a 150mm. Comprimentos entre 500mm até ≤ 1000 mm, limites estes de distância da região do corte final para evitar mecanismos de defesa, tendo como resultado o crescimento de gemas seguindo indicações do PGAU (Plano de Gestão da Arborização Urbana) de Maringá (2019), onde se objetiva melhor regeneração da região sendo suficiente para portar as porções das copas;

Figura 11. Demonstração do conceito em fase de aproximação e corte de galho frondoso teórico

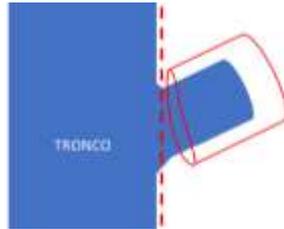


Fonte: O Autor, 2021

Ao espaço para sensoriamento é pensado para detectar galhos próximos a garra que é fechada prendendo-os ao berço em “v”, dando apoio para o corte em sentido horário, cujo, é o

mesmo sentido de rotação a ser empregado na ferramenta. Caso o pulso gire em sentido anti-horário, o mesmo será aplicado na serra evitando a expulsão dos galhos do manipulador. A operação ainda deve evitar o corte acidental de ramos próximos e da casca do tronco (em tracejado vermelho nas Figuras 12 e 13) que origina o ramo a ser retirado na operação;

Figura 12. Problemática do corte final na base do ramo

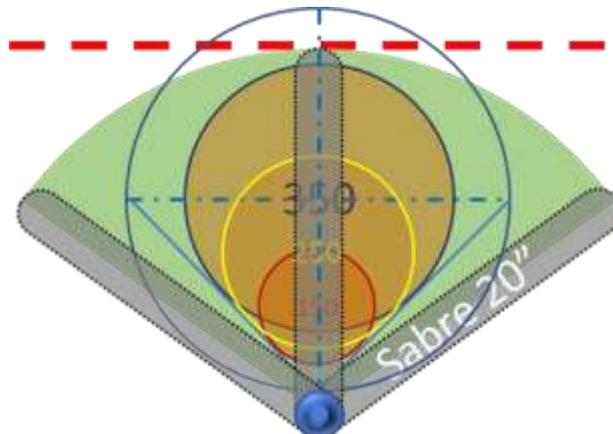


Fonte: O Autor, 2021

Modularidade

Conter sabres de 14, 16, 18 e 20”, selecionando-os de forma a concentrar os esforços ao centro, evitando o rebote da ferramenta. Possibilidade de emprego emergencial em situações de risco, para a retiradas de copas. A figura 13 apresenta as posições dos diversos diâmetros de ramos onde em 150mm é aplicável sabre de 14 polegadas, 250 com 18 polegadas e em 350, sabre de 20 polegadas de comprimento.

Figura 13. Modelo idealizado para respeitar o limite do corte na base do ramo sem agressão externas.

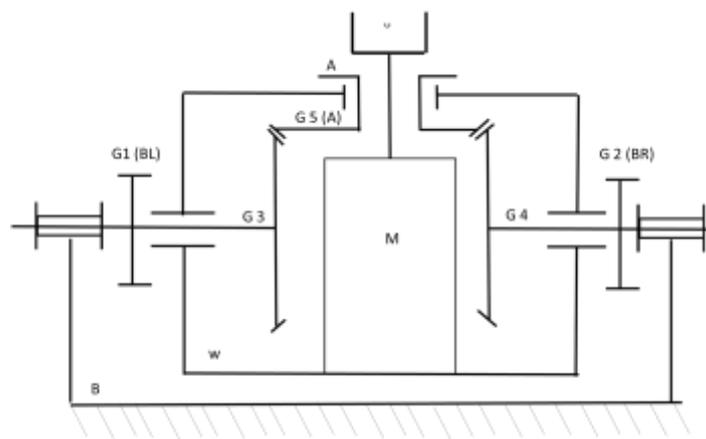


Fonte: O Autor, 2021

Mecanismos

Devem permitir operações constantes com menor nível de desgaste. Como caráter de inovação do projeto de pesquisa, o conceito contém Servo-passo-motores para controle das posições e motor da ferramenta sem escova (*Brushless*), que apresentam melhores performances e facilidade com a manutenção em relação à quantidade de peças de motores de combustão. Os redutores de velocidade com rosca sem fim e coroa serão utilizados para que, em caso de desligamento acidental, não haja a queda do ramo cortado em ângulo inapropriado, resultando em situação de risco aos operadores e danos patrimoniais. Deste modo, o desligamento resulta em travamento mecânico. Na Figura 14, encontra-se a função esquemática do Pulso.

Figura 14. O esquema funcional do pulso.

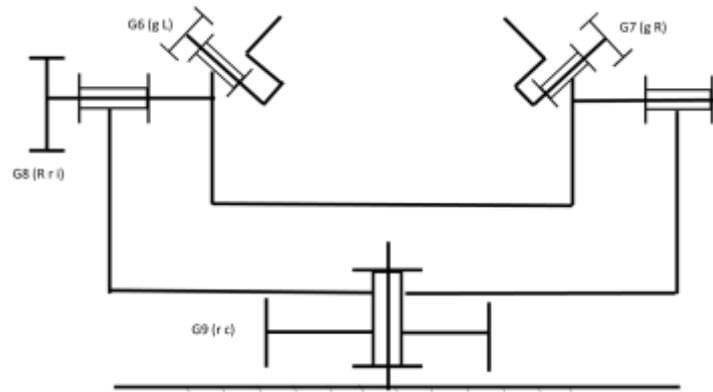


Fonte: O Autor, 2021

Ao se desacoplar os dois rolamentos de mancal, cabos de potência e controle do motor *brushless* e o cabo de lubrificação do sabre, se desacopla todo o sistema de movimento de pulso (w) da Base (B).

G3, G4 e G5 são engrenagens cônicas, ambas são responsáveis pelo movimento de giro de ferramenta (o sabre, por exemplo) e também movimento de “quebra de punho”, que em caso de um dos dois lados do sistema pare ainda no alto, o outro ainda permitirá a inclinação deste segundo movimento para recolhimento da ferramenta em posição segura ao centro berço em “v” na base da garra, para baixar o sistema até nível seguro para uma manutenção sem que haja a possibilidade de obstáculos. G1 e G2 são engrenagens cilíndricas de dente reto que transmitem movimento do pinhão na saída das reduções dos servos motores.

Figura 15. O esquema funcional da base.



Fonte: O Autor, 2021

Engrenagens G6, G7, G8 e G9 estão representadas como engrenagens cilíndricas de dente reto que transmitem movimento do pinhão na saída das reduções dos servos motores. Os eixos de rotação das presas da garra contam com sensores de corrente para controle do aperto da lenha. Todos os motores da Base de apoio de tora do manipulador (B) são servos *brushless* com redução com caixa de engrenagens rosca sem fim e coroa assim como no conjunto do sistema responsável pelo movimento de pulso. Em ambos os casos, na ocorrência de pane e desligamento total do sistema não há o risco de queda iminente da poda.

Tendo em vista o maior tempo de operação com a movimentação da ferramenta, foi projetado um espaço que servirá como reservatório destacável de lubrificação para evitar o desgaste, o qual fará alimentação por meio de uma mangueira com engate rápido, lubrificando o sabre na região do acoplamento presente na saída do mecanismo de movimentos de pulso (giro e “quebra de punho”). A posição de repouso da ferramenta para o sensoriamento é do lado oposto à dos sensores. M1 acionar a corrente ao mesmo sentido giro do pulso no manipulador.

Legenda: gR= garra direita; gL= garra esquerda; M1= Motor de ferramenta; S-CAM = Câmera 3D; S-SCAN= Sensor scanner.

Limites dos mecanismos em nomenclatura conforme Rosário 2005

Giro de base = 300° (180° a região frontal em relação ao braço, 60 para trás a esquerda e direita); Inclinação para afrente e trás = 75° (desce 45 a frente- desce a traseira 30° para trás); Quebra de punho = 60° (90°- 60°, Chanfro a 30° inclinação de repouso); Giro de ferramenta $\geq 108^\circ$; Corte de bisettriz 30° a um ramo em crescimento em paralelo a um tronco em 45°;

Materiais e operação

Quanto ao uso de motosserra, seguindo o Manual Técnico de Poda (2015), todos os operadores devem ser capacitados a norma regulamentadora NR 12, para “Máquinas e Equipamentos”, com licença de porte e com o uso permitido pelo IBAMA seguindo a instrução da Normativa nº31, lançada em dezembro de 2009. A COPEL (Companhia Paranaense de Energia) – responsável pelas redes de distribuição de energia elétrica em Maringá – instrui no Procedimentos de Poda de Árvores MIT 160909:2012 quanto ao uso de bastões podadores, moto-poda e motosserra hidráulicos, que deverão possuir isolamento classe 4 (36kv) e veículos isolados para 46 kv. Grau de proteção IP 65, ou seja, protegido contra jatos de águas e totalmente protegido contra poeira;

Figura 18. Demonstração do conceito em aplicação emergencial.

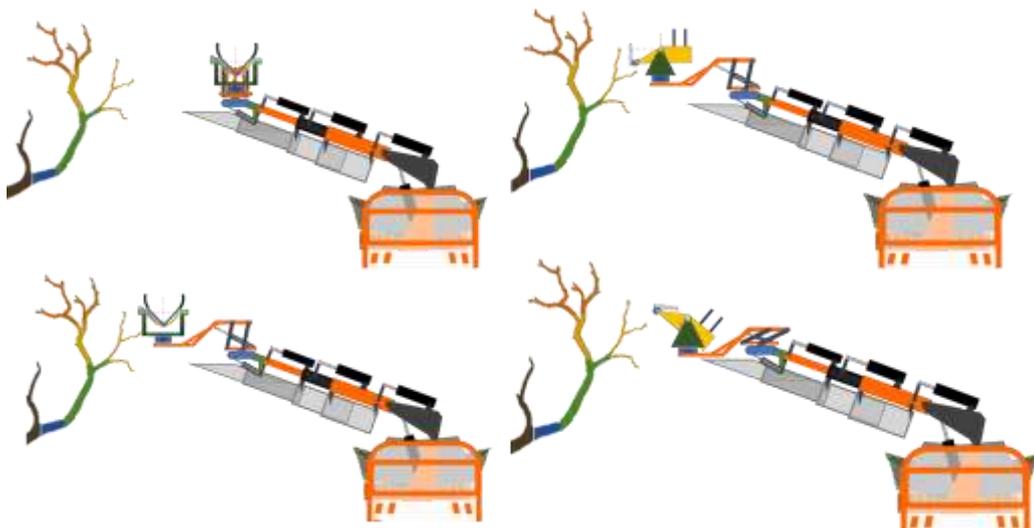


Figura 19. Demonstração do conceito em aplicação emergencial em lateral.



Fonte: O Autor, 2021

É destacável na sugestão do emprego emergencial que ao final do duto os galhos e tronco chegam à uma rampa de escoamento que direciona os resíduos sobre caçamba no sentido oposto de escoamento. As rampas têm suas pontas projetadas para fora do caminhão sendo sinalizadas em verde fluorescente, visíveis em operações noturnas. Ao final da operação recomenda-se o desmonte deste aparato de caráter emergencial.

Conforme indica a norma MIT 160909:2012 na folha 21.25 referente ao triturador, o duto deve ter no mínimo 20cm, sendo o projeto idealizado com no mínimo entre 35 e 50cm, estando este item perfeitamente de acordo. Entende-se que os dutos se encontrarão acoplados aos braços mecânicos e serão escalonados de forma a permitir retração, permitindo o emprego emergencial em guindautos, nos quais, em visita técnica, constatou-se a chegada recente de um novo guindauto para a frota, que conta com um controle remoto para operação do braço hidráulico e por isso elaborou-se uma sugestão de desenvolvimento no emprego em lança telescópica. Porém, ainda não foram calculados o peso total do equipamento e o peso de tora que a ser suportado, assim como também não foi determinado ainda o tipo de lança telescópica que possa ser implantado.

Quanto à gestão dos resíduos e a destinação de galhos verdes com folhagem densa e mais finos, e troncos que são triturados para produção de adubos, é importante frisar que alguns troncos, ao invés de se tornarem “cavacos”, também são vendidos pela prefeitura para outros fins, como lenha para caldeiras, serralherias, madeireiras e outros. Sendo o barateamento de processos de poda e remoção propícios a um retorno financeiro com

emprego de automação. Atualmente, alguns troncos principais são destinados à jardinagem pública, sendo essa atividade não prevista no desenvolvimento no conceito do manipulador;

4 CONCLUSÃO

Em busca de contribuir com o desenvolvimento de novas tecnologias que possam auxiliar nos desafios da gestão pública, este trabalho elaborou um novo conceito de ferramenta para podas mais dinâmicas a fim de contribuir para projetos de pesquisa nos estudos de caso de viabilização de implantação de robôs para a manutenção da arborização pública de Maringá. Este trabalho limitou-se até ao desenvolvimento do conceito dentro dos parâmetros levantados que servirão como ponto de partida para a elaboração dos robôs para casos de grande demanda urbana, contribuindo assim com pesquisas na área.

Devido a limitações do autor para validação do conceito criado rente ao tempo de reabertura da pandemia de Covid-19 ser insuficiente em relação ao prazo de entrega deste artigo, indica-se para trabalhos futuros deste estudo de caso a execução da validação do conceito na fase de projeto detalhado, a partir do qual se realizam simulações. Os autores poderão se referenciar pelas funções esquemáticas. Como sugestão para validação, os *softwares*: para desenho mecânico *SolidWorks*, para simulação via *Simulink* e a plataforma *open source Robot Studios*, ROS.

Ficam aqui os agradecimentos à Secretaria Municipal de Limpeza Urbana de Maringá (SELURB), por contribuir com o fornecimento de dados e a disponibilidade da visita técnica à sede de operação das equipes de manutenção, que seguiu dentro das normas de distanciamento social. Ao fornecimento de dados da Secretaria Municipal de Gestão de Maringá (SEGE) e Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Bem-Estar Anima (SEMA).

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Poda Robotizada de árvores em áreas urbanas**. Projeto de P&d. lactec. 2018. Disponível em: https://lactec.org.br/wp-content/uploads/2019/08/PED_Lactec_04_Poda_Atualizado_2018_ALTA.pdf. Acesso em 10 jan. 2021.
- ARAUJO, Jair Junior Fernandes. Viabilidade De Implantação De Robôs Mantenedores Da Arborização Urbana Da Cidade De Maringá: Um Estudo De Caso Para Levantamento De Características Necessárias. **XII Encontro de Produção Científica da UniCesumar EPCC 2021**, Maringá. Disponível em: <https://www.unicesumar.edu.br/anais-epcc-2021/wp-content/uploads/sites/236/2021/11/416.pdf> . Acesso em: 27 nov. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16246-1 de novembro de 2013**: Florestas urbanas - Manejo de árvores, arbustos e outras plantas lenhosas. São Paulo: ABNT, 2013
- BEDKER, Peter John. **How to prune trees**. Londres: Forgotten Books, 1995.
- CASTELLANOS, Leandro Barragán *et al.* Tree Pruning in Electrical Network: Topic and Fundamentals in Machines and Robots. **Revista Tecnología y Ciencia**, 2017, n. 36, pp. 186-201, 2019. Disponível em: <http://190.114.222.115/index.php/rtyc/article/view/348>. Acesso em: 16 mai. 2020.
- CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. **Manual de arborização**. Belo Horizonte: Cemig / Fundação Biodiversitas, 2011. 112p. ISBN: 978-85-87929-46-4
- COPEL. Companhia Paranaense de Energia. **Manutenção e Redes de Distribuição: Procedimentos de Poda de Árvores**. 2012. Disponível em: [https://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/0/3D7B3716C0DCD642032574F1005C8FF4/\\$FILE/MIT_160909_intranet.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/0/3D7B3716C0DCD642032574F1005C8FF4/$FILE/MIT_160909_intranet.pdf). Acesso em: 20 jan. 2021
- DE BRITO, José Nuno Gomes. **Manipulador robótico para poda automática** (Projeto ROMOVI). 2018. Dissertação. Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. 2018. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/113778>. Acesso em: 17 jul. 2020.
- GILMAN, Edward F.; MIESBAUER, Jason W.; MASTERS, F. J. Structural Pruning Effects on Stem and Trunk Strain in Wind. **Arboriculture & Urban Forestry**, v. 41, n. 1, 2015. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20163376797>. Acesso em: 20 abr. 2021.
- GILMAN, Edward F. **An illustrated guide to pruning**. 2ed. Londres: Cengage Learning, 1997.

HASEGAWA, Y. "Evaluation and Economic Justification", In: NOF, S. Y. (ed), **Handbook of Industrial Robotics**, 1 ed.. EUA: John Wiley & Sons, 1985.

HORIKAWA, Oswaldo et al. CAPÍTULO 7 SELEÇÃO DE ROBÔS: ALGUNS ASPECTOS. In: HORIKAWA, Oswaldo; MARUYAMA, Newton; SANTOS FILHO, Diolino Jose dos; MIYAGI, Paulo Eigi. **Seleção de robôs industriais**. Robótica industrial: aplicação na indústria de manufatura e de processos [Sl: sn]. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

KÖHLER, Diana Mayra *et al.* Análise da área livre de canteiros de caesalpinia peltophoroides (sibipiruna) em diferentes bairros da cidade de Maringá–Pr. **Arquivos do Mudi**, v. 24, n. 1, p. 40-49, 2020. Disponível em: https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/capitulo-1_historico.pdf. Acesso em: 20 mai. 2020. Doi: <https://doi.org/10.4025/arqmudi.v24i1.45847>.

MARINGÁ. **Plano de gestão da arborização urbana da cidade**. Prefeitura de Maringá. 2019. Disponível em: <http://www2.maringa.pr.gov.br/sistema/arquivos/9766d9d24016.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2020.

MÜLLER, Alexandre; MÜLLER, André Luis. Desenvolvimento de um equipamento robotizado telecomando para poda de árvores junto à rede elétrica energizada: Aspectos de segurança. In: **XXII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica SENDI 2016 - 2016**. Disponível em: <http://abradee03.org/sendi2016/wp-content/uploads/2016/12/4102.pdf> > Acesso em: 19 abr. 2020.

REISER, David; STRAUB, Jonas; GRIEPENTROG, Hans W. **Autonomer Baumschnitt in Streuobstwiesen**. 41. GIL-Jahrestagung, Informations-und Kommunikationstechnologie in kritischen Zeiten, 2021.

ROSÁRIO, João Maurício. **Princípios de mecatrônica**. São Paulo: Prentice Hall, 2005. ISBN 85-76-0501.

SIEBERT, L. C. *et al.* Desenvolvimento de um Equipamento Robotizado Telecomando para Poda de Árvores Junto à Rede Elétrica Energizada: Aspectos de Segurança. In: **SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**, 22, Curitiba – PR, 2016. Anais... Curitiba: ENEL, ABRADDEE, 2016.

TSAI, L.W. **Mechanism Design: Enumeration of Kinematic Structures According to Function**. Mechanical Engineering series, CRC Press, Washington, D.C., 2001

APÊNDICE A– VISITA TÉCNICA

Figura 9. Operação de poda acompanhada pelo autor.



Fonte: Arquivo pessoal do autor. Araujo, 2021.

Data da visita: 26/08/2021: R. Piem, 722 - Parque das Laranjeiras.

Observa-se no corte de remoção, sem uma base de apoio, retira uma lasca que leva o arborista a realizar um segundo corte. Há o toque e esticamento em cabos de rede telefônicas e internet.

Nessa região a rede elétrica é vertical.

APÊNDICE B – VISITA TÉCNICA

Figura 20. O triturador BC1200XL em demonstração.



Fonte: Arquivo pessoal do autor. Araujo, 2021.

APÊNDICE C – VISITA TÉCNICA

Figura 21. Os trituradores na sede da SELURB.



Fonte: Arquivo pessoal. Araujo, 2021.

Atualmente são os únicos disponíveis pertencente a secretaria.

ANEXO D – ESPECIFICAÇÕES DO TRITURADOR VERMEER BC1200XL

Figura 22. Especificações Vermeer BC1200XL.

BC1200XL GAS BRUSH CHIPPER	
GENERAL	CUTTING SYSTEM
Length: 168" (426.7 cm)	Drum dimensions: 20" diameter x 20" wide (50.8 cm x 50.8 cm)
Width: 79" (200.7 cm)	Drum speed: 2000 rpm
Height: 103" (261.6 cm)	Knives: Two A8 chipper steel
Weight (with winch): 5980 lb (2712.49 kg)	Bedknife: Four usable edges
Weight: 5680 lb (2576.4 kg)	
ENGINE	CAPACITIES/ELECTRICAL
Make/Model: PSI 4.XL Electronic Fuel Injection	Fuel tank: 25 gal (94.6 L)
Horsepower: 135 hp (101 kW)	Hydraulic tank: 12 gal (45.4 L)
Max torque: 258 ft-lb (349.8 Nm) @1400 rpm	System voltage: 12 V
Fuel type: Gasoline	Lights: LED brake, turn, tail, license, side indicators
Number of cylinders: 6	CHASSIS/BRAKES
Cooling medium: Liquid	Frame: 7" x .25" (17.8 cm x .6 cm) Z-channel
FEED SYSTEM	Tires (option 1): ST235/80/R16 Load Range E
Chipping capacity (max): 13.3" (33.8 cm)	Tires (option 2): ST285/75/R16 Load Range E
Infeed opening height: 32" (81.3 cm)	Axle/Suspension: 7000 lb (3175.2 kg) rubber torsion
Infeed opening width: 52" (132.1 cm)	Electrical brakes with breakaway switch
Feed roller orientation: Dual horizontal offset	OPTIONS
Feed table height: 32" (81.3 cm)	Extended warranty
Feed speed (max): 110 fpm	Special paint
Feed roller dimensions (upper roller): 15" (38.1 cm) diameter x 17" (43.2 cm)	Planned maintenance
Feed roller dimensions (lower roller): 11.1" (28.2 cm) diameter x 17" (43.2 cm)	Vermeer Confidence Plus® asset protection program

Fonte: VERMEER, 2021. Disponível em: <https://www.vermeer.com/em/brush-chippers/bc1200xl-international?hl=pt-BR>.

ANEXO E – ESPECIFICAÇÕES DA COPEL QUANTO A DUTOS PARA ATIVIDADE DE PODA.

Figura 23. Procedimentos de Poda de Árvores.

 COPEL Companhia Paranaense de Energia MANUAL DE INSTRUÇÃO TÉCNICA - MIT		 PARANÁ <small>ESTADO DO PARANÁ</small>		
Título:	Manutenção de Redes de Distribuição	Título	Módulo	Folha
		9	9	21.25
Módulo:	Procedimentos de Poda de Árvores	Versão		
		Maior/2012		
Veículo de apoio com capacidade mínima para transporte de 9 pessoas		1		
Veículo para supervisor		1		
Veículo para transporte da equipe	1			
Caminhão médio equipado com hidroelevador de lança isolada para 46 kV. Com caçamba-basculante.				1
Triturador: <ul style="list-style-type: none"> a) Capacidade: para trituração de galhos com 20 cm (ou 8") de diâmetro. b) Acionamento: por motor com potência mínima de 28 HP. c) Sistema de transmissão: por correias, protegido por carenagem. d) Que a emissão de ruído não ultrapasse 85dB conforme NR 15.7 e) Conjunto de trituração com as seguintes características: <ul style="list-style-type: none"> -acionamento hidráulico; -velocidade de alimentação variável e reversível; -comando por barra de controle, dotado de mecanismo que gerencie automaticamente a velocidade de alimentação em função dos diâmetros e dureza diferentes dos resíduos a serem triturados; -duto de descarga com diâmetro de 20 cm (ou 8"), giratório em 360° e com sistema de travamento, permitindo o direcionamento adequado dos resíduos triturados à caçamba do caminhão; -Calha de alimentação com dimensões mínimas de 70 x 70 cm, comprimento mínimo de 150 cm e distante, no máximo, a 70 cm do solo, visando assegurar melhor segurança e ergonomia ao operador. f) Chassis: rebocável e equipado com sinalização que atenda as Normas de trânsito. g) Normas: atender a Norma Regulamentadora n.º 12 (NR12). h) Documentação: dispor de Manual de operação e manutenção da máquina, em língua portuguesa, e a aprovação junto ao órgão de trânsito competente. 		1		1

Fonte: COPEL, 2012.

Quanto aos dutos, destaca-se as abordagens no item "e".