

TESTES DE UM PROTÓTIPO INOVADOR DE EQUIPAMENTO PNEUMÁTICO PARA PODA

ANTONIO CARLOS VALDIERO¹, LUIZ ANTONIO RASIA², FRANCISCO DE ASSIS DINIZ DE CARVALHO JÚNIOR³, THIAGO DIAS CAIRES⁴, FABIANO DO PRADO⁵

¹ Dr. Eng. Mec., bolsista Produtividade CNPq, DCEEng/UNIJUÍ Campus Panambi, (55) 3375-4466, valdiero@unijui.edu.br

² Dr. Eng. Ele., DCEEng/UNIJUÍ Campus Panambi, (55) 3375-4466, rasia@unijui.edu.br

³ Eng. Florestal., EIMA/CELPE, (81) 3217-6076, thiago.caires@celpe.com.br

⁴ Eng. Florestal., EIMA/CELPE, (81) 3217-6076, francisco.carvalho@celpe.com.br

⁵ Esp. Eng. Industrial, DCEEng/UNIJUÍ Campus Panambi, (55) 3375-4466, fabiano.prado@kepler.com.br

Apresentado no
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: Apresentam-se os testes de um protótipo de equipamento pneumático para poda. O objetivo foi identificar aspectos de melhoria para o projeto do protótipo cabeça de série a partir dos resultados dos testes do protótipo demonstrativo. Tal equipamento foi desenvolvido com a finalidade de proporcionar uma melhoria funcional no trabalho de poda de manutenção em árvores, através do desenvolvimento de uma solução mecanizada, ergonômica, segura e de alto desempenho, incorporando módulos funcionais inovadores, preferencialmente portátil, possibilitando que este exerça as funções de posicionar adequadamente a ferramenta no galho ou ramo, de cortar e de registrar as informações da tarefa, proporcionando assim maior produtividade e gerenciamento ao processo de poda de árvores. A metodologia de projeto utilizada é baseada na análise das necessidades, no projeto conceitual, no projeto detalhado e na construção do protótipo. O equipamento proposto é composto de sete módulos funcionais: posicionamento e localização da ferramenta, corte, geogerenciamento, comando, estrutural, potência e segurança. O protótipo experimental foi desenvolvido no Núcleo de Inovação e Mecanização da Poda (NIMEP) da UNIJUÍ com o apoio financeiro da Companhia Energética de Pernambuco no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor Energético regulado pela ANEEL. Como conclusões, têm-se os aspectos prioritários para melhoria e incorporação no protótipo cabeça de série.

PALAVRAS-CHAVE: mecanização da arboricultura moderna, mecanização da poda, equipamento modular

TESTS OF AN INNOVATIVE PROTOTYPE OF PNEUMATIC EQUIPMENT FOR PRUNING

ABSTRACT: This work presents tests results an innovative prototype of pneumatic equipment for pruning. The purpose was to identify aspects for improvement in the design of the serial head prototype from the results of testing the demo prototype. This equipment was developed with the aim of providing a functional improvement in work of trees maintenance pruning, by the development of a mechanized solution, ergonomic, safe and with high performance, incorporating innovative functional modules, preferably portable, enabling it to perform the functions of to position adequately the tool on the twig or branch, cut and registering the task information, thus providing greater productivity and management to the tree pruning process. The used design methodology is based on the needs analysis, the conceptual design, the detail design and the prototype construction. The equipment is composed by seven main functional modules: positioning

and location of the tool cutting, geo- management, command, structural, power and safe. The experimental prototype was developed at the Innovation and Mechanization Center for Pruning (NIMeP) in UNIJUÍ University with the financial support of the Energy Company of Pernambuco under the Energy Sector Research and Technological Development Program regulated by ANEEL.

KEYWORDS: mechanization of modern arboriculture, pruning mechanization, modular equipment

INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta os testes de um protótipo de equipamento pneumático para poda, cujos resultados permitem identificar e priorizar aspectos de melhoria para o projeto do protótipo cabeça de série a partir do protótipo demonstrativo. Nas intervenções em árvores, tanto rurais como urbanas, poda é uma atividade que visa conferir a uma árvore uma forma adequada durante o seu desenvolvimento (poda de formação); eliminar ramos mortos, danificados ou praguejados (poda de limpeza); remover partes que colocam em risco a segurança das pessoas (poda de emergência); e remover partes da árvore que interferem ou causam danos incontornáveis às edificações ou aos equipamentos urbanos (poda de adequação), assim cada tipo de poda é feita de acordo com o seu propósito (GILMAN e LILLY, 2008).

O principal problema abordado são as podas realizadas por concessionárias e prefeituras para manutenção do afastamento necessário entre os galhos e as partes energizadas das redes aéreas de distribuição de energia elétrica, que atualmente apresentam deficiências que resultam em aspectos insatisfatórios (VELASCO et al., 2003; FIEDLER et al., 2006; ELETROPAULO, 2007) de baixa produtividade; grande número de cortes imprecisos e danosos à árvore com tocos e/ou descascamento acarretando ferimento, apodrecimento ou rebrota; dificuldade de acesso aos locais de corte; problemas de ergonomia (zona de risco, postura inadequada, esforço repetitivo e excessivo, fadiga, falta de equilíbrio, visão prejudicada); ferramental rudimentar dependente de esforço manual, método operacional ineficiente e dificultoso. Isto ocorre em razão da utilização de equipamentos improvisados desenvolvidos originalmente para as atividades de jardinagem (serra e tesoura), produção agrícola e florestal.

Dá a importância da pesquisa e desenvolvimento de um equipamento inovador e apropriado que contribua para a saúde da árvore (realização de cortes adequados e enfoque ambiental), para a saúde do trabalhador (melhores condições ergonômicas e de segurança do trabalho), para o aumento da produtividade (maior frequência de podas e menos drástica, redução do custo) e para melhoria da qualidade de fornecimento de energia elétrica (menos incidência de galhos nas linhas aéreas de energia elétrica com menos interrupções por acidentes de queda de galhos na rede).

Inexistem, no mercado, equipamentos ou máquinas específicos que atendam às necessidades técnicas, produtivas e de segurança para a poda de árvores com incidência em componentes energizados realizada pelas concessionárias. Atualmente, no setor elétrico brasileiro, as operações de poda de árvores destinadas a garantir a integridade dos condutores e demais partes energizadas das redes aéreas de distribuição de energia elétrica é realizada de forma manual, utilizando-se de uma diversidade de modelos de facões, serras, tesouras e podões de jardinagem ou manejo agrícola/florestal com acionamento manual, além de motosserras e motopodas acionadas por motores de combustão, ambas ferramentas desprovidas de características ergonômicas, de segurança e de produção, que atendam plenamente as peculiaridades e requisitos demandados pelas concessionárias.

Existem algumas concepções de equipamentos de poda na forma de implementos montados em trator para poda de árvores frutíferas e de cercas vivas com o objetivo de superar as desvantagens das ferramentas manuais de poda. Entretanto tais concepções não asseguram a execução correta da poda de acordo com objetivos e métodos adequados, tais como a remoção seletiva de galhos (quebrados, doentes e mortos), a poda ao redor de redes de serviços que mantem os galhos longe de cabos da linha de transmissão de energia elétrica e de outras estruturas de

utilidade pública, e a poda de desbaste de brotações da base da árvore e de brotos epicórmicos do interior da copa (SEITZ, 1995).

A próxima seção descreve a metodologia utilizada e logo em seguida tem-se uma breve descrição do equipamento pneumático para poda. Os resultados obtidos nos testes são então apresentados. Por fim, têm-se as conclusões e perspectivas futuras.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o sucesso do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) na fase de Pesquisa Aplicada, utilizou-se de metodologias de Gerenciamento de Projetos e Desenvolvimento de Produtos (GPDP), conforme proposto nas melhores literaturas científicas da área (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2009; BACK *et. al.*, 2008; BRALLA, 1999). A metodologia adotada na execução do projeto compôs-se da definição da estratégia competitiva (foco, produto e campo) com alinhamento e sinergia do parceiro apoiador, Companhia Energética de Pernambuco (Celpe) no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, da sistematização das etapas de desenvolvimento científico-tecnológico, do uso de infraestrutura laboratorial (equipamentos, softwares e instrumentação) num espaço físico adequado (foi criado um novo laboratório de pesquisa, chamado de NIMEP_Núcleo de Inovação e Mecanização da Poda) e de recursos humanos qualificados (pesquisadores doutores, mestres e especialistas, além de auxiliares) em uma instalação predial adequada e segura na UNIJUÍ Câmpus Panambi (Câmpus Temático Metal Mecânico), mantida pela Fundação de Integração, Desenvolvimento e Educação no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – FIDENE.

A FIGURA 1 apresenta as principais etapas da metodologia de projeto de P&D com enfoque na etapa de Testes e modificações do Protótipo do Equipamento Pneumático para poda. Uma visão sistemática do planejamento de testes de equipamentos é apresentada por Back e Leal (1991), com a discussão dos diversos tipos de testes aplicados ao longo das fases do ciclo de vida do produto, sendo que em cada fase pode-se realizar um tipo de teste apropriado.

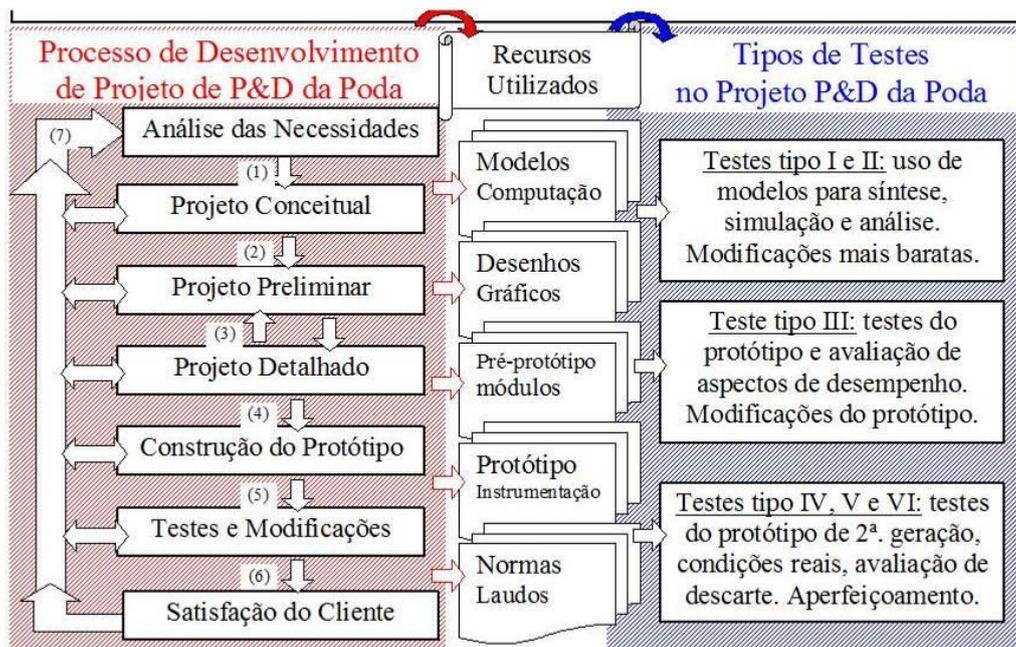


FIGURA 1. Processo de desenvolvimento de produto: etapas da metodologia de Pesquisa Aplicada e os tipos de Testes do Protótipo do Equipamento Pneumático para Poda.

Neste trabalho são apresentados os resultados do teste tipo III que é utilizado na fase final do projeto detalhado e na fase de fabricação do protótipo dos módulos, onde é possível realizar testes experimentais e demonstrações formais num protótipo do equipamento pneumático para poda, mas ainda não certificado para uso em campo. Um planejamento de testes tipo III do protótipo pode constituir-se numa série de testes individuais que visam avaliar os aspectos principais de desempenho das funções para as quais foi projetado.

DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO PNEUMÁTICO PARA PODA

O equipamento pneumático para poda de árvores, cuja patente de pedido de invenção foi depositada no INPI no dia 31/7/2013 sob o protocolo de registro BR1020130194700 (VALDIERO et al. 2013), compreende sete módulos funcionais (de posicionamento e localização da ferramenta, de corte, de geogerenciamento, de comando, estrutural, de potência e de segurança), e é formado a partir de uma arquitetura versátil e por interfaces padronizadas que permitem a interação entre os módulos, sua conexão e comunicação, com o apoio no chão em um suporte regulável ou a fixação num colete do operador enquanto portátil, mas que também pode ser disposto e facilmente adaptado numa estrutura móvel ou fixa, de um veículo ou base, eliminando nesta última forma todo o esforço físico do operador. A FIGURA 2 mostra uma vista em perspectiva do equipamento e seus principais módulos.

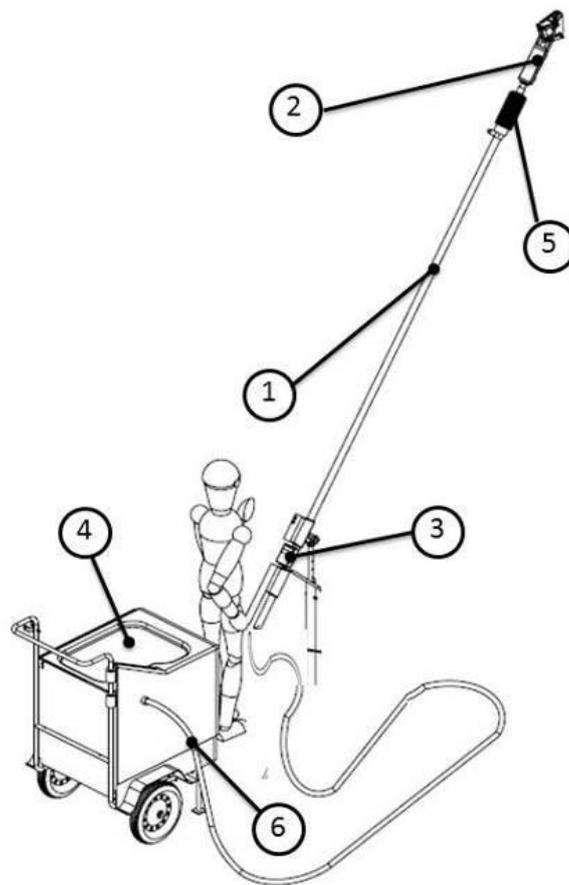


FIGURA 2. Vista em perspectiva do equipamento pneumático de poda e seus principais módulos.

O módulo de posicionamento e orientação (1), confeccionado preferencialmente em peças de nylon e tubos de alumínio revestidos de polímero com isolamento elétrico na superfície externa (7),

formando um corpo tubular na versão haste fixa, ou na forma de um cilindro pneumático diferencial de dupla ação na versão haste telescópica, onde a haste móvel (8) pode ser protegida com uma sanfona isolante (5), e em cuja extremidade é acoplada ao módulo de corte (2) por meio de uma interface por flange padrão ISO, que permite maior versatilidade na montagem de outras ferramentas para trabalho próximo às linhas de transmissão de energia elétrica de acordo com a necessidade da tarefa de poda ou manutenção, sendo manuseados e operados pelo trabalhador por meio do módulo de comando e geogestão (3), ambos conectados ao módulo de potência (4) por meio de mangueiras e cabos inseridos numa mangueira corrugada de proteção (6).

A FIGURA 3 mostra uma vista lateral do equipamento com destaque para a área de trabalho e para as especificações técnicas do alcance, onde o módulo de posicionamento (1) e orientação permite o alcance dos galhos pelo módulo de corte (2).

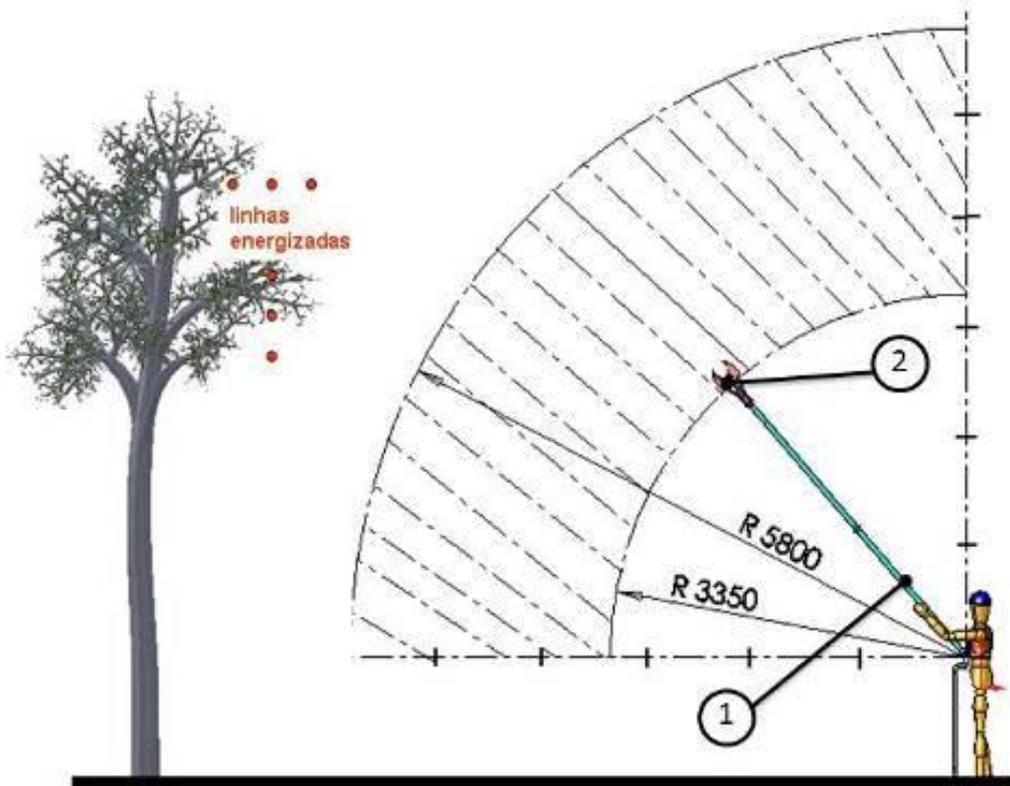


FIGURA 3. Vista lateral do equipamento com a especificação técnica do alcance e a área hachurada do espaço de trabalho, onde o módulo de posicionamento e orientação permite o alcance dos galhos pelo módulo de corte.

Uma vista em perspectiva do módulo de posicionamento e orientação, com destaque para o mecanismo que permite o avanço/retorno e o giro do módulo de corte é mostrada na FIGURA 4. O módulo de posicionamento e orientação (1) possui uma haste móvel (8), com movimento de avanço e retorno em relação ao cilindro (7), que o permite posicionar o módulo de corte (2) para a poda e também orientá-lo no ângulo adequado por meio de um giro manual do manipulador de corte (10), também chamado de punho de giro, fixo na haste (7), em relação ao manipulador de avanço/retorno (9), também chamado de punho de apoio, que é segurado firmemente pelo operador e que permite o deslizamento angular da haste (7) em seu interior, sendo os demais giros necessários realizados pela movimentação do operador ou pelo suporte regulável de apoio no chão com o giro horizontal da base, fixada no manipulador de avanço/retorno (9) e articulada em torno do garfo por meio do pino horizontal, e também com o giro vertical do garfo articulado em torno do pino vertical preso pelo anel elástico.

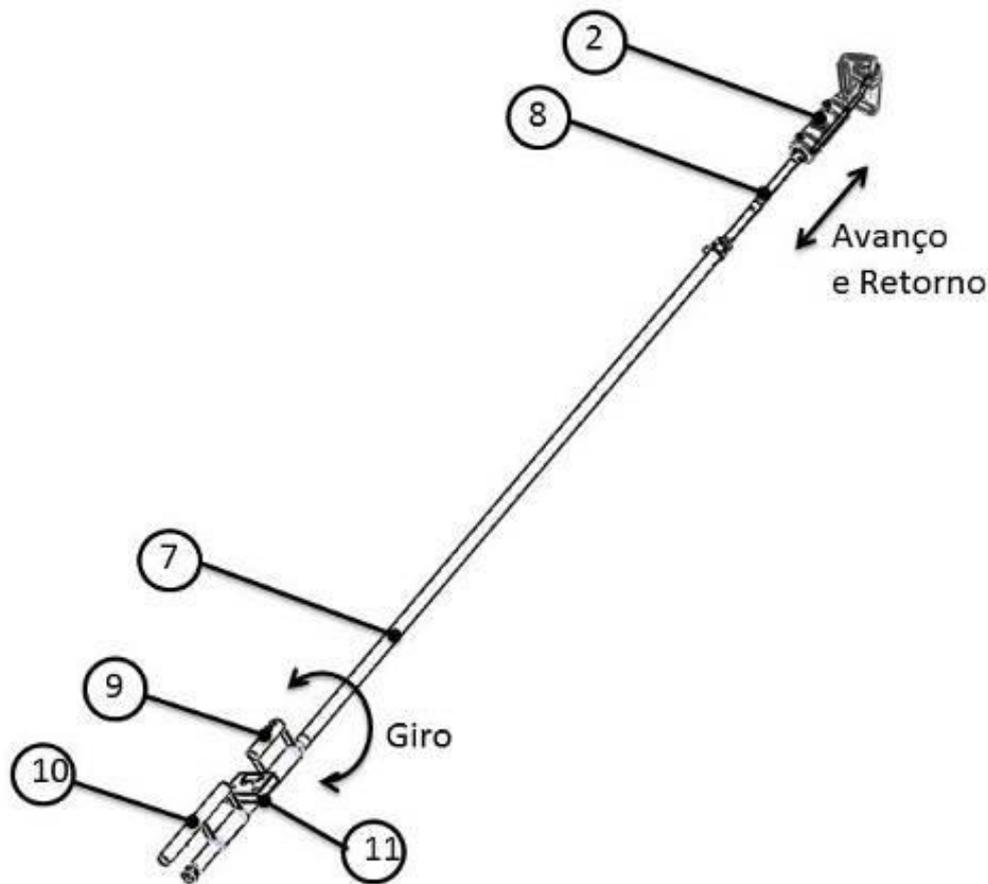


FIGURA 4 – Vista em perspectiva do módulo de posicionamento e orientação, com destaque para o mecanismo que permite o avanço/retorno e o giro do módulo de corte.

O módulo de comando e geogestão (3), mostrado na FIGURA 2, é constituído de um manípulo de avanço/retorno (9), onde são montados os botões de comando de avanço e de retorno, de um manípulo de corte e giro (10), onde é montado o botão de comando de corte, e de uma caixa eletrônica (11) onde estão acondicionados os elementos do sistema eletrônico embarcado composto de microcontrolador, módulo de alimentação, módulo GPS (sistema de posicionamento geográfico), módulo de display (mostrador), módulo de SD-card (transferência e armazenagem de informações), módulo de temperatura e módulo de comando dos solenoides das válvulas pneumáticas.

O módulo de potência (4), mostrado na FIGURA 2, possui um circuito elétrico de energia e de sinais, onde um motor-gerador, movido preferencialmente a biocombustível, fornece energia elétrica a 220 volts (corrente alternada) para um compressor e uma tomada de energia a 12 volts (corrente contínua) para o acionamento dos solenoides das válvulas pneumáticas e para os módulos da caixa eletrônica (11) que possui cabos de ligação com os manípulos de corte (10) e de avanço/retorno (9).

O módulo de segurança tem o objetivo de contribuir para a garantia da segurança tanto do operador (riscos de choque elétrico, de queda de galhos, de espinhos e de ruídos), como da linha de transmissão (risco de curto-circuito, de danos na linha, de queda de galho) e da ferramenta de corte (risco de contato com a linha, de danos em contato com galhos e de queda) e inclui o revestimento externo em polímero das peças e tubos de alumínio, a proteção sanfonada, as proteções acústicas em fibra de vidro, preferencialmente de parede dupla com revestimento interno de material absorvedor de ruído e parede interna em alumínio perfurado, montadas no carrinho do módulo de potência (4), mostrado na FIGURA 2, além dos equipamentos de proteção individual do operador exigidos pela legislação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados dos testes do tipo III do equipamento pneumático para poda. Estes testes foram realizados com a infraestrutura disponível no Núcleo de Inovação e Mecanização da Poda e no Centro Operacional da CELPE no bairro Bongi de Recife/PE.

Inicialmente apresentam-se os resultados dos testes de bancada do módulo de corte do equipamento pneumático para poda, onde foram avaliados os aspectos de capacidade de força de corte, eficiência das vedações pneumáticas estáticas e dinâmicas, flambagem da haste de acionamento do mecanismo de corte e as medidas estimadas dos parâmetros de confiabilidade. Foram testados quatro protótipos evolutivos do módulo de corte, cujas melhorias foram implementadas a partir das observações das características de desempenho obtidas nos testes. A FIGURA 5 mostra as fotografias da bancada e da instrumentação do NIMEP utilizadas para os testes do módulo de poda.

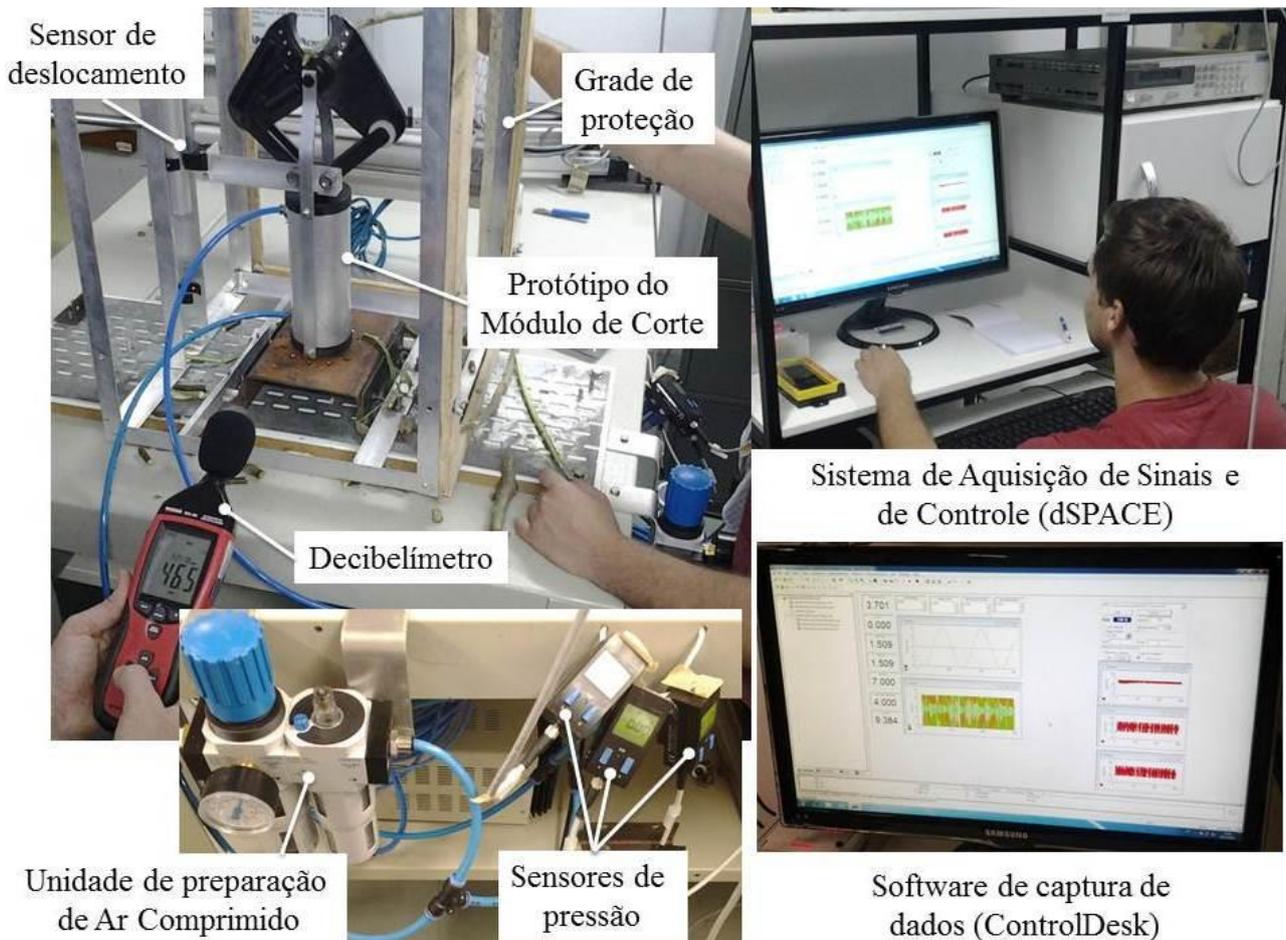


FIGURA 5. Bancada de Testes do Protótipo do módulo de poda (corte de galhos) na bancada instrumentalizada no NIMEP.

A FIGURA 6 mostra a dinâmica temporal das pressões nas câmaras do atuador pneumático durante o funcionamento do módulo de corte em um dos testes realizados no último protótipo com uma sequência de aberturas e fechamentos do mecanismo de corte. Nota-se que as pressões nas câmaras do cilindro alcançam a pressão de suprimento nos limites do curso do cilindro, no instante de repouso do êmbolo da haste. Este fato evidencia que os vazamentos de ar foram minimizados e que as novas vedações do protótipo estão adequadas. Considerando-se um trecho do movimento da haste de acionamento do corte do módulo de poda, note que ocorre um corte entre os instantes de 8,65 a 8,8 segundos e neste trecho foi estimada uma força pneumática que alcança um valor aproximado de 800 N, disponível para acionamento do mecanismo de corte. Com a otimização do módulo de corte foi possível alcançar uma força pneumática de 2800 N.

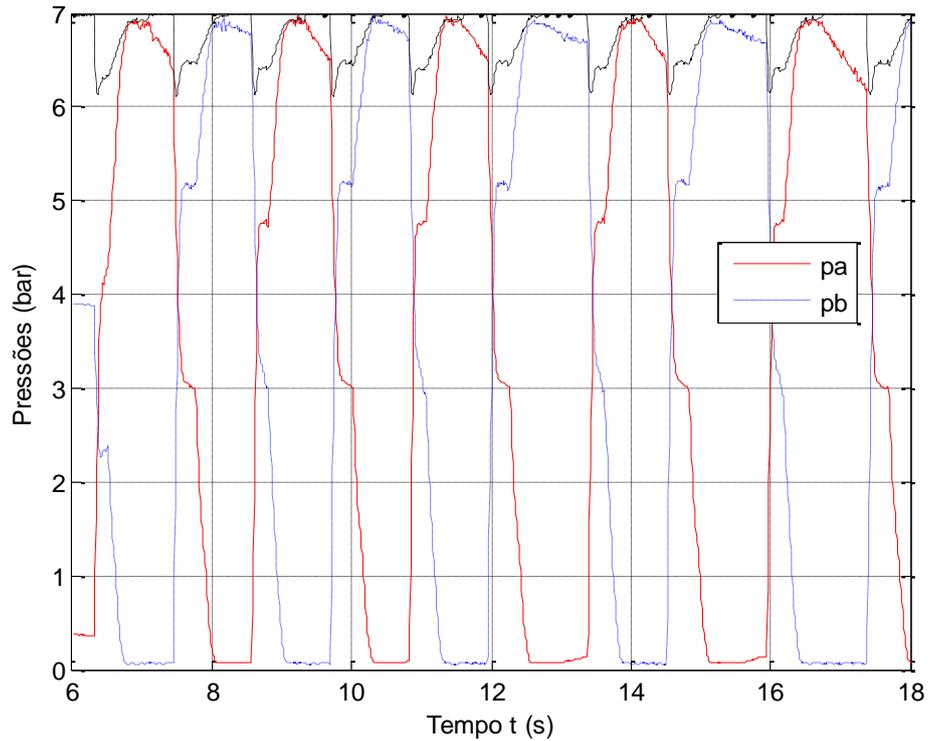


FIGURA 6. Gráfico das pressões nas câmaras do cilindro pneumático do módulo de poda da solução mecanizada (p_a é a pressão na seção de área maior) para pressão de suprimento de 7 bar (curva superior em cor preta).

A FIGURA 7 mostra dois tipos de navalhas testadas, a navalha com o fio de corte liso e a navalha com o fio de corte estriado. Ao analisar os resultados dos testes para diferentes diâmetros de galhos, notou-se um melhor desempenho da navalha com fio de corte estriado.



FIGURA 7. Fotografia dos dois tipos de navalhas testadas no módulo de poda: a navalha com o fio de corte liso e a navalha com o fio de corte estriado.

Os testes do protótipo em campo foram realizados na área arbórea na UNIJUÍ em Panambi/RS, no entorno do Núcleo de Inovação e Mecanização da Poda e com pessoal da equipe executora do projeto de P&D, e também na área arborizada do Centro Operacional da CELPE no bairro Bongi de Recife/PE, onde neste último contou com a participação de pessoal terceirizado que trabalha na rotina de poda em Pernambuco/PE, destacando-se as fotografias dos testes mostradas nas FIGURA 8 e FIGURA 9.



FIGURA 8. Testes gerais em campo do protótipo da solução mecanizada para a poda de árvores (abril/2013, Recife/PE).



FIGURA 9. Testes gerais em campo do protótipo da solução mecanizada para a poda de árvores (junho/2013, Recife/PE).

Nos testes de campo, os resultados permitiram avaliar os seguintes aspectos: facilidade de manuseio e operação; possibilidade de girar manualmente o módulo de corte por meio do giro na mão direita do comando, facilitando o ângulo adequado de corte do galho durante a poda; facilidade de acondicionamento e transporte, pois a haste se desmonta em partes de 1,5 metros de comprimento; redução da massa do equipamento, onde a massa do módulo de corte alcançou o valor mínimo de 1,3 kg; capacidade de corte na faixa de 15 a 25 mm de diâmetro do galho cortado na versão portátil. O nível de ruído a 5 metros foi de 66,6 dB para as medições obtidas com o motor-gerador ligado em plena carga e com o compressor ligado (fonte de ruído de 80 dB), o que permite concluir que o isolamento acústico foi um sucesso.

CONCLUSÕES

Os resultados dos testes do equipamento pneumático para poda, desenvolvido em um projeto de pesquisa aplicada, mostram a importância da utilização de uma metodologia de projeto com forte ação de gestão e com a utilização de ferramentas modernas para avaliação do comportamento do equipamento e do seu processo de manufatura. Muitos aspectos e falhas observados nos testes do protótipo experimental demonstrativo permitiram levantar uma lista de requisitos de projeto para a construção do protótipo cabeça de série e sua certificação. O apoio financeiro e a efetiva participação da CELPE, além da qualificação da infraestrutura laboratorial da UNIJUÍ, no âmbito do Programa de P&D da ANEEL, tem permitido vencer os desafios no desenvolvimento de uma solução mecanizada adequada para a poda de árvores. As próximas etapas da pesquisa preveem o projeto do protótipo cabeça de série e sua certificação. Pretende-se assim contribuir para o desenvolvimento de novos equipamentos mais ergonômicos, seguros e produtivos.

REFERÊNCIAS

- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. da. *Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem*. Barueri: Manole, 2008. 601 p.
- BACK, N.; LEAL, L. C.M. *Uma metodologia de planejamento de teste de produtos industriais*. Revista Produção. Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 61-69, outubro/1991.
- BRALLA, J. G. *Handbook of product design for manufacturing*. 2. ed. New York: McGraw Hill, 1999.
- ELETROPAULO. *Harmonia entre meio ambiente e rede de distribuição: alternativa como a poda apropriada de árvores reduz riscos do sistema*. Revista Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL, n. 2, nov. 2007.
- FIEDLER, N. C.; SONE, E. H.; VALE, A. T.; JUVÊNCIO, J. F.; MINETTE, L. J. *Avaliação dos riscos de acidentes em atividades de poda de árvores na arborização urbana do distrito federal*. Rev. Árvore [online]. 2006, v.30, n.2, p. 223-233.
- GILMAN, E. F.; LILLY, S. J. *Melhores práticas de manejo: poda de árvores*. Champaign: Sociedade Internacional de Arboricultura (ISA), 2008, 46p. Publicação complementar a ANSI A300 Parte 1: Manutenção de árvores, arbustos e outras plantas – prática padrão, poda.
- PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. *Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (guia PMBOK)*. 4 ed. Pennsylvania: Project Management Institute, 2009.
- SEITZ, R. S. *Manual de poda de espécies arbóreas florestais*. Curitiba: FUPEF, 1995.
- VALDIERO, A. C.; RASIA, L. A.; CARVALHO JUNIOR, F. A. D. *Equipamento pneumático para poda de árvores*. INPI: Brasil, 2013. Patente de Invenção. Número do registro: BR1020130194700. Data de depósito: 31/07/2013. Depositante: Companhia Energetica de Pernambuco.
- VELASCO, G. D. N. *Arborização viária x sistemas de distribuição de energia elétrica: avaliação dos custos, estudo das podas e levantamento de problemas fitotécnicos*. 2003. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, 2003.