

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Interação solo-planta-máquina: metodologia para avaliação da qualidade  
no processo do arranquio mecanizado de amendoim**

**Eduardo Arouche da Silva**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre  
em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas  
Agrícolas

**Piracicaba  
2023**

**Eduardo Arouche da Silva**  
**Engenheiro Agrícola**

**Interação solo-planta-máquina: metodologia para avaliação da qualidade no  
processo do arranquio mecanizado de amendoim**

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:  
Prof. Dr. **MURILO MESQUITA BAESSO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre  
em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas  
Agrícolas

**Piracicaba**  
**2023**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Silva, Eduardo Arouche da

Interação solo-planta-máquina: metodologia para avaliação da qualidade no processo do arranquio mecanizado de amendoim / Eduardo Arouche da Silva. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. Piracicaba, 2023.

60 p.

Dissertação (Mestrado) - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. *Arachis hypogaea* L. 2. Controle estatístico de processo 3. Controle estatístico de qualidade 4. Perdas na colheita 5. Variabilidade I. Título

À minha mãe, Inês Arouche;  
Aos meus irmãos Taynara e Walney;  
À minha família, em especial ao meu avô Raimundo Ferreira;  
Aos meus amigos e a todos que me apoiaram.

Dedico!

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por me dar forças para realizar esse sonho, colocando sempre pessoas especiais no meu caminho.

À minha mãe, Inês Arouche, por seu apoio e suporte em todos os momentos da minha vida. Obrigado pela educação que me deu! Seguir seus ensinamentos é como me inspirar no melhor exemplo do mundo. Te amo mãe!

Aos meus irmãos Taynara e Walney Arouche, a minha prima Maiane e ao meu amigo Silas, por acreditarem em mim e sempre ouvirem e seguirem meus conselhos, embora eu seja o mais novo. Obrigado pelo companheirismo e irmandade de sempre. Amo vocês!

À minha família, em especial ao meu avô Raimundo Ferreira (*in memoriam*) e minha avó Creuza, por seus valiosos ensinamentos e exemplos. Às minhas primas Fernanda e Raquel, pelo carinho e admiração. E a todos meus tios, tias, sobrinhos e primos.

Ao meu orientador, professor Murilo Mesquita, por acreditar em mim e estar sempre solícito a me ajudar e me conduzir no caminho certo. Obrigado pela confiança no meu trabalho, pelo respeito, por me ensinar e pela compreensão.

Ao professor Rouverson, por me acolher em seu grupo de pesquisa. Obrigado por me ensinar tanto. Sempre que eu alcançar um dos meus objetivos, pensarei em você e em tudo que você me ensinou com o coração cheio de gratidão. Você é um dos meus maiores exemplos de professor, orientador e ser humano. Agradeço por sua presença tão inspiradora!

Aos meus amigos Jarlyson Brunno, Armando Lopes e Samira Luns, por serem o meu elo entre universidades e me acolherem tão bem em Jaboticabal. Eu serei eternamente grato por toda ajuda, conselhos, ensinamentos e todas as palavras de incentivo, bem como gestos que me deram força para continuar. Espero um dia poder retribuir tudo que fizeram por mim.

Ao Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola – LAMMA, pelo acolhimento e ajuda na condução do meu experimento, em especial ao Armando Lopes, Bruno Rafael, Jarlyson Brunno, Jean Lucas, Marcelo Barbosa, Romario Porto, Samira Luns e Vinicius. E a todos os estagiários do período de 2021.1, em especial o Gilson e o Lucas.

Os meus amigos melhores amigos, Ana Karla, Silas Souza, Bruna Tassia, Eliana, Carlos Rodolfo, João Rodrigues e Joaz Sá, por me fazerem acreditar que todo sonho é possível quando se tem pessoas verdadeiras ao nosso lado. E a minha amiga Katarine por todo carinho e ajuda de sempre.

Ao meu amigo Bruno Rafael, pelo companheirismo no dia a dia e na vida acadêmica, pelas risadas e pelo convívio que tivemos na República Toca Fogo. Aos meus amigos Jean, Romário e Marcelo pela parceria e amizade.

A todos da República Toca Fogo, Armando Lopes, Bruno Rafael, Francisco Amaral, Jardel Souza, Jarlyson Brunno, Samira Luns e Lucas, por toda parceira, convivência e tantos momentos de descontração que tornaram essa caminhada mais leve. Obrigado por me permitirem conhecer um pouca da cultura de cada um de vocês!

Aos meus amigos Denilson, Breno, Isadora Gomes, Antonio Santana, Fábio, Nilcelia, Carol, Raimundo e meu compadre Otávio, pela amizade e as conversas do dia a dia. A todos os amigos que conheci em Jaboticabal, em especial o Breno.

Às minhas eternas e amadas professoras Leila Mendes e Raquildes, pelo carinho e por serem tão comprometidas com a educação. De suas mãos, eu vi nascer o meu futuro. Obrigado professoras!

À Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo – ESALQ/USP e à Universidade Estadual Paulista – UNESP/FCAV e a todos os professores que tive o prazer de conhecer nessas instituições, que demonstram estar comprometidos com a qualidade e excelência do ensino.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), pelo recurso financeiro.

À universidade Federal do Maranhão e ao grupo de Pesquisa GETAP, em especial aos coordenadores Washington e Edmilson Igor, por me despertarem a paixão pela pesquisa. E ao professor Telmo pelo carinho e amizade que tens com minha família.

A todos os amigos da graduação, mestrado e do Maranhão, pela amizade e companheirismo ao longo destes anos.

Por fim, a todos que diretamente ou indiretamente me apoiaram e que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui, muito obrigado!

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

EDUARDO AROUCHE DA SILVA – nascido em 23 de setembro de 1996 na cidade de Chapadinha, Maranhão, filho de Inês Arouche da Silva. Ingressou no ensino superior em 2015 no curso de Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Estado do Maranhão (UFMA), Câmpus de Chapadinha, obtendo o título de Engenheiro Agrícola em janeiro de 2020. Durante a graduação foi bolsista de Iniciação Científica, desenvolvendo projetos nas áreas de Máquinas e Mecanização, Agricultura de Precisão e Pós-colheita. Foi co-fundador do grupo de pesquisa Grupo de Estudos em Tecnologia e Agricultura Digital - GETAP, no qual colaborou na execução, elaboração, apresentação e publicação de trabalhos científicos em congressos e revistas científicas. Foi monitor das disciplinas Desenho Técnico, Construções Rurais, Tecnologia Pós-colheita, Gênese e Classificação do Solo e Avaliação de Impactos Ambientais. Participou de Empresa Junior. Ao final da graduação, foi estagiário na Embrapa Meio-Norte. Em fevereiro de 2020, ingressou no mestrado em Ciências (Engenharia de Sistemas Agrícolas) na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo - ESALQ/USP, desenvolvendo sua pesquisa em parceria com o Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola – LAMMA, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP/FCAV. Em maio de 2023, submeteu-se à defesa da dissertação para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

**“Somos insignificantes. Por mais que você programe sua vida, a qualquer momento tudo pode mudar”**

*Ayrton Senna.*

## SUMÁRIO

RESUMO .....	10
ABSTRACT .....	11
LISTA DE FIGURAS .....	12
LISTA DE TABELAS .....	13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	14
1. INTRODUÇÃO .....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	17
2.1 Aspectos sobre a cultura do amendoim .....	17
2.2 Colheita mecanizada de amendoim .....	18
2.2.1 Arranquio mecanizado .....	19
2.2.2 Perdas no arranquio mecanizado de amendoim .....	21
2.3 Controle estatístico de processo (CEP) .....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	25
3.1 Descrição da área experimental .....	25
3.2 Máquinas utilizadas .....	26
3.3 Delineamento experimental .....	27
3.4 Indicadores de qualidade .....	28
3.4.1 Teor de água no solo .....	28
3.4.2 Resistência mecânica do solo à penetração .....	29
3.4.3 Resistência do ginóforo ao rompimento .....	29
3.4.4 Altura e largura de leira .....	30
3.4.5 Perdas no arranquio .....	31
3.4.6 Produtividade .....	32
3.4.7 Maturação .....	33
3.6 Metodologia para avaliação da qualidade do processo de arranquio .....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	37
4.1 <i>Run charts</i> .....	37
4.2 Cartas de controle .....	40

4.3 Metodologia para avaliação da qualidade do processo de arranquio mecanizado de amendoim .....	48
5. CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS .....	53
ANEXO .....	59

## RESUMO

### **Interação solo-planta-máquina: metodologia para avaliação da qualidade no processo do arranquio mecanizado de amendoim**

Durante a operação de arranquio mecanizado de amendoim a interação entre alguns fatores relacionados à planta, ao solo e ao maquinário interfere na qualidade do processo. Portanto, buscamos neste trabalho desenvolver uma metodologia para avaliação da qualidade do processo de arranquio mecanizado de amendoim, combinando os resultados de cartas de controle para diferentes indicadores de qualidade, relacionados à interação solo-planta-máquina. Como objetivo adicional, procuramos avaliar a variabilidade do processo de arranquio mecanizado de amendoim, utilizando ferramentas do Controle Estatístico de Processo (CEP), para dois modelos de arrancadores em função de duas velocidades de deslocamento. O experimento foi conduzido em duas lavouras comerciais na região de Jaboticabal, São Paulo, na safra 2021/2022. O delineamento experimental seguiu as premissas do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ), sendo coletados 160 pontos amostrais divididos em duas áreas e subdivido em quatro tratamentos, representados pela combinação de dois modelos de arrancadores 2x1 (arranquio de duas fileiras da cultura formando uma leira) e 4x2 (arranquio de quatro fileiras formando duas leiras) nas velocidades de trabalho de 3 e 5 km h<sup>-1</sup>. Os indicadores de qualidade utilizados foram as seguintes variáveis: teor de água no solo (TAS), resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), resistência do ginóforo ao rompimento (RGR), altura de leira (AL), largura de leira (LL), perdas visíveis (PVA), perdas invisíveis (PIA), perdas totais (PTA), produtividade (PROD) e a caracterização de maturação nas áreas. A qualidade do processo foi monitorada por meio de gráficos sequenciais e cartas de controle de valores individuais. Para desenvolvermos a metodologia consideramos a uniformidade dos indicadores de qualidade relativos ao solo (TAS e RMSP) e à planta (FD e PROD) bem como a variabilidade dos indicadores de qualidade relacionados à ação da máquina (AL, LL, PVA, PIA e PTA) encontrados nas cartas de controle. Posteriormente, foram definidas notas de 1 a 4 para variabilidade encontrada nas cartas de controle e para estabilidade e/ou instabilidade do processo. A metodologia desenvolvida foi capaz de avaliar a qualidade no processo de arranquio de amendoim, e a melhor qualidade foi obtida para o arrancador 4x2 a 3 km h<sup>-1</sup> e 5 km h<sup>-1</sup>. As cartas de controle permitiram avaliar a variabilidade do processo e a detecção de causas especiais, sendo encontrados os maiores percentuais de perdas visíveis, invisíveis e totais quando utilizado o arrancador 2x1 a 3 km e 5 km h<sup>-1</sup>.

Palavras-chave: *Arachis hypogaea* L., Controle estatístico de processo, Controle estatístico de qualidade, Perdas na colheita, Variabilidade

## ABSTRACT

### **Soil-plant-machine interaction: methodology for quality evaluation in the peanut mechanized digging process**

During the mechanized peanut plucking operation, the interaction between some factors related to the plant, the soil and the machinery interferes with the quality of the process. Therefore, in this work, we sought to develop a methodology for evaluating the quality of the mechanized plucking process of peanuts, combining the results of control charts for different quality indicators, related to soil-plant-machine interaction. As an additional aim, we tried to evaluate the variability of the peanut mechanized plucking process, using Statistical Process Control (SPC) tools, for two plucking models as a function of two displacement speeds. The experiment was carried out in two commercial crops in the region of Jaboticabal, São Paulo, in the 2021/2022 harvest. The experimental design followed the premises of Statistical Quality Control (CEQ), with the collection of 160 sample points divided into two areas and subdivided into four treatments, represented by the combination of two models of 2x1 pullers (uprooting of two rows of the crop forming a windrow) and 4x2 (uprooting four rows forming two windrows) at working speeds of 3 and 5 km h<sup>-1</sup>. The quality indicators used were the following variables: soil water content (CWC), soil mechanical resistance to penetration (SMRP), gynophore resistance to rupture (GRR), windrow height (WH), windrow width (WW), visible losses (VL), invisible losses (IL), total losses (LT), productivity (PROD) and the characterization of maturation in the areas. Process quality was monitored with sequential charts and individual value control charts. To develop a methodology, we considered the uniformity of quality indicators related to the soil (SWC and SMRP) and to the plant (GRC and PROD) as well as the variability of quality indicators related to machine action (PH, PW, VL, IL, and TL) found in the control charts. Subsequently, grades 1 to 4 were determined for the variability in the control charts and process stability and instability. The developed methodology evaluated the quality of the peanut arrangement process and the best quality resulted for the 4x2 puller at 3 km h<sup>-1</sup>. The control charts evaluated the process variability and detected particular causes possible. The highest percentages of visible, invisible and total losses were found using the 2x1 puller at 5 km h<sup>-1</sup> and 3 km h<sup>-1</sup>.

Keywords: *Arachis hypogaea* L., Statistical process control, Statistical quality control, Harvest losses, Variability.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema funcional do arrancador e seus componentes. ....	20
<b>Figura 2.</b> Localização da área experimental: Santa Ernestina (a); Monte Alto (b).....	25
<b>Figura 3.</b> Resumo gráfico do delineamento experimental. ....	27
<b>Figura 4.</b> Determinação do teor de água no solo utilizando uma sonda TDR (Time Domain Reflectometer).....	28
<b>Figura 5.</b> Determinação da resistência mecânica do solo à penetração com penetrômetro de impacto.....	29
<b>Figura 6.</b> Determinação da resistência do ginóforo ao rompimento por meio de um dinamômetro digital. ....	30
<b>Figura 7.</b> Dimensionamento de altura e largura de leira após o arranquio .....	30
<b>Figura 8.</b> Fluxograma do processo de avaliação de perdas e produtividade no arranquio mecanizado de amendoim.....	32
<b>Figura 9.</b> Fluxograma do processo de avaliação da maturação do amendoim. Adap. Williams e Drexler (1981). ....	33
<b>Figura 10.</b> Modelo de gráfico sequencial (Run chart). ....	34
<b>Figura 11.</b> Modelo de cartas de controle de valores individuais.....	35
<b>Figura 12.</b> Cartas de controle de valores individuais para teor de água no solo durante o arranquio de amendoim.....	40
<b>Figura 13.</b> Cartas de controle de valores individuais para índice de cone durante o arranquio de amendoim.....	41
<b>Figura 14.</b> Cartas de controles de valores individuais para resistência do ginóforo ao rompimento durante o arranquio de amendoim. ....	42
<b>Figura 15.</b> Cartas de controle de valores individuais para altura (a) e largura (b) de leira durante o arranquio de amendoim.....	44
<b>Figura 16.</b> Cartas de controle de valores individuais para perdas visíveis (a), invisíveis (b) e total (c). ....	46
<b>Figura 17.</b> Cartas de controle de valores individuais para produtividade durante o arranquio de amendoim.....	48

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Análise granulométrica do solo das áreas avaliadas.....	26
<b>Tabela 2</b> - Conjuntos de tratores-arrancadores utilizados.....	27
<b>Tabela 3</b> - Dimensões das armações utilizadas para avaliação de perdas no arranquio. ....	31
<b>Tabela 4</b> – Notas para avaliar a qualidade do arranquio de amendoim quanto a variabilidade, estabilidade e instabilidade.....	36
<b>Tabela 5.</b> Classificação da qualidade no arranquio mecanizado de amendoim.....	49

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AL – Altura de Leira

CEP – Controle Estatístico de Processo

CEQ – Controle Estatístico de Qualidade

h – hora

ha – hectare

IC – Índice de Cone

IDU – Índice de Uniformidade

IDV – Índice de Variabilidade

kg – Quilograma

km – Quilômetro

LIC – Limite inferior de controle

LL – Largura de Leira

LSC – Limite superior de controle

MPa – Mega pascal

N – Newton

PIA – Perdas Invisíveis no Arranquio

PROD – Produtividade

PTA – Perdas Total no Arranquio

PVA – Perdas Visíveis no Arranquio

RGR – Resistência do Ginóforo ao Rompimento

RMSP – Resistência Mecânica do Solo à Penetração

TAS – Teor de Água no Solo

TDP – Tomada de Potência

TDR - Time Domain Reflectometer

VCR – Válvula de Controle Remoto

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre os sistemas mecanizados agrícolas, a colheita é tida como uma das etapas mais relevantes e cruciais, uma vez que garante o retorno do investimento realizado em todas as etapas de produção. Como penúltima operação mecanizada do sistema de produção de amendoim, arrancar amendoim é extremamente desafiador, uma vez que a interação entre vários fatores relacionados ao cultivo, tais como condições de solo, época de colheita, clima, sanidade da lavoura, desenvolvimento da cultura e maturação, hábito geocárpico da cultura, bem como aquelas relacionadas ao maquinário (velocidade de deslocamento, regulagens e manutenção), afetam a qualidade dessa operação.

O processo de colheita mecanizada de amendoim é dividido em duas etapas, sendo elas o arranquio e o recolhimento. Durante o arranquio, as perdas ainda são um grande gargalo dentro do processo. No Brasil, as perdas encontradas nesta etapa são muito elevadas, variando entre 3,1 a 47,1% da produtividade (MAHL *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2013; CAVICHIOLI *et al.*, 2014; ZERBATO *et al.*, 2017) sendo a etapa de arranquio responsável pela maior parte da perda total. Portanto, é necessário estabelecer adequadas condições de trabalho de forma a minimizar estas perdas e garantir a viabilidade econômica da cultura.

Deste modo, para diminuir os índices de perdas obtidas durante o processo de arranquio é necessário o monitoramento rigoroso das velocidades de trabalho, das regulagens do maquinário e das condições de cultivo (BRAGACHINI; PEIRETTI, 2008; ZERBATO *et al.*, 2017). Em culturas como soja e milho, a relação de perdas é praticamente definida pelo monitoramento e ajuste de mecanismos internos, bem como pela velocidade de deslocamento da máquina, o que pode reduzir perdas e aumentar a qualidade do processo (ORMOND *et al.*, 2016; MENEZES *et al.*, 2018).

Na cultura do amendoim, o desenvolvimento de novas ferramentas voltadas para uma tomada de decisão mais assertiva, com estratégias para definir a regulagem dos maquinários, pode proporcionar maior efetividade na operação e, conseqüentemente, aumentar os lucros para o produtor. Nesse sentido, algumas ferramentas do Controle Estatístico de Processo (CEP) têm se mostrado eficientes no monitoramento das áreas de cultivo agrícola, destacando-se as cartas de controle (ZERBATO *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2021a; BRITO FILHO *et al.*, 2023).

Embora a colheita de amendoim resulte em perdas significativas, estudos sobre arranquio mecanizado de amendoim realizados no Brasil são escassos. Ademais, ainda não foram explorados efetivamente o efeito do modelo de arrancador na qualidade da operação e a velocidade de deslocamento, fatores primordiais na operação de colheita. Dito isso, pressupõe-

se que a interação da velocidade de deslocamento e o modelo de arrancador podem interferir na qualidade desse processo.

Portanto, objetivou-se com este trabalho desenvolver uma metodologia para avaliação da qualidade do processo de arranquio mecanizado de amendoim, combinando os resultados de cartas de controle para diferentes indicadores de qualidade, relacionados à interação solo-planta-máquina. Como objetivo adicional, procurou-se avaliar a variabilidade do processo de arranquio mecanizado de amendoim, utilizando ferramentas do CEP, para dois modelos de arrancadores: 2x1 (arranquio de duas fileiras da cultura formando uma leira), 4x2 (quatro fileiras formando duas leiras) e duas velocidades de deslocamento (3 e 5 km h<sup>-1</sup>).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Aspectos sobre a cultura do amendoim

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma oleaginosa, herbácea, anual, pertencente à família Fabaceae e ao gênero *Arachis*, originária da América do Sul (ADHIKARI *et al.*, 2018). China, Índia, Nigéria e Estados Unidos são os principais produtores mundiais de amendoim, produções anuais de cerca de 18,10; 6,05; 3,20 e 2,80 milhões de toneladas, respectivamente (CHEN *et al.*, 2020). Com adventos da Revolução Verde, como a mecanização agrícola, o melhoramento genético e o uso de fertilizantes e agrotóxicos, a produção de amendoim evoluiu muito ao longo dos anos.

No ranking mundial, o Brasil assume a décima quarta posição, com uma produção estimada em 816,2 mil toneladas, sendo o Estado de São Paulo o maior produtor (745,8 mil toneladas), com cerca de 95% da produção nacional de amendoim (CONAB, 2023), mais especificamente nas regiões conhecidas como Alta Paulista (Tupã e Marília) e Alta Mogiana (Ribeirão Preto e Jaboticabal) (JOÃO; LOURENZANI, 2011).

Historicamente, o Estado de São Paulo concentra a maior produção e, conseqüentemente, é onde ocorre maiores beneficiamento, industrialização e comercialização do amendoim e de seus subprodutos. Embora pouco estudada, como soja e milho, a cultura do amendoim tem ganhado espaço nas pesquisas nas últimas décadas e avançado na adoção de novas técnicas de manejo e tecnologias, possibilitando um novo patamar de produção (SILVA *et al.*, 2020; SAMPAIO; FREDO, 2021).

No Brasil, os cultivos de amendoim são predominantemente feitos em áreas de reforma de canaviais ou de pastagens degradadas, por ser de ciclo curto (120 - 140 dias) com intuito de recuperar o potencial produtivo dessas áreas (BARBOSA *et al.*, 2014; APARECIDO *et al.*, 2021). Outro fator que favorece a produção de amendoim é o sistema de plantio de MEIOSI (Método Interrotacional Ocorrendo Simultaneamente), que consiste na produção de material de propagação da cana-de-açúcar, simultaneamente com culturas utilizadas em reforma de canaviais (principalmente soja e amendoim), visando à diminuição de custos de implementação e para a melhoria da área de cultivo (SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA, 2016).

O amendoim tornou-se uma importante cultura, com sucessivos aumentos de produtividade e qualidade nos últimos 20 anos. As cultivares predominantemente empregadas no Brasil são Runner, Valencia, Virginia e Spanish (SUASSUNA *et al.*, 2019), com destaque para as cultivares IAC 503 e IAC 505 do grupo Runner, devido seu potencial produtivo e alto

teor oleico (70%), que garantem aos produtores maior estabilidade oxidativa e maior tempo de prateleira (GODOY *et al.*, 2018).

O amendoim é essencialmente geocárpico, o que caracteriza sua frutificação subterrânea, ao contrário da maioria das culturas. Devido ao seu hábito particular, geralmente cresce e desenvolve-se mais saudável em solos predominantemente arenoso, onde a fração argilosa não acrescenta barreiras fisicomecânicas suficientes para compactação e limitação do enraizamento, ramificação e frutificação (GODOY *et al.*, 2014). Desta forma, a seleção de práticas de manejo é fundamental para a criação de condições adequadas ao cultivo do amendoim.

## **2.2 Colheita mecanizada de amendoim**

A colheita é uma parte fundamental na produção de amendoim, sendo responsável por mais de 50% da mão-de-obra empregada em todo o processo (GAO *et al.*, 2017). No Brasil, a colheita mecanizada do amendoim teve início na safra de 1999/2000 e desde então tornou-se indispensável para a otimização do cultivo em escala comercial (CÂMARA *et al.*, 2006).

Nas principais áreas de produção de amendoim a colheita ocorre em duas etapas, sendo elas o arranquio (a primeira etapa) e o recolhimento (a segunda etapa); portanto, é considerada indireta (XU *et al.*, 2022). O arranquio é realizado com o equipamento denominado arrancador, que simultaneamente realiza o arranquio e inverte as plantas formando uma leira. Já o recolhimento é caracterizado pelo recolhimento da leira e trilha das vagens, por meio de recolhedoras-trilhadoras. Nesta etapa as vagens são separadas das ramas e conduzidas ao tanque graneleiro e posteriormente ao transbordo em caminhões que transportarão o amendoim às unidades beneficiadoras (ORMOND *et al.*, 2018; SILVA, 2019).

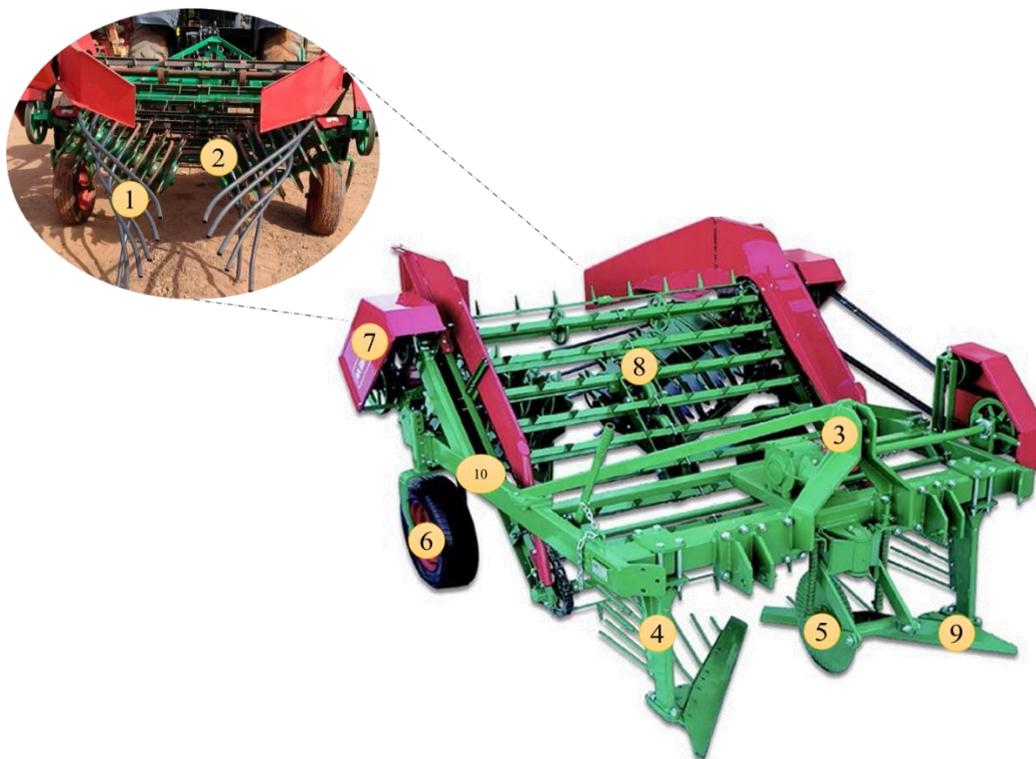
Como última operação mecanizada do sistema de produção do amendoim, a colheita sofre influência de todas as operações. Dentre os principais gargalos que afetam a cultura do amendoim, a colheita é crucial por apresentar altos índices de perdas (ORMOND *et al.*, 2018). Fatores externos como clima, máquina, homem e planta bem como a interação entre eles interferem na qualidade dessa operação (ROBERSON; JORDAN, 2014; ZERBATO *et al.*, 2017).

### 2.2.1 Arranquio mecanizado

A colheita mecanizada de amendoim ainda é pouco tecnificada. De modo geral, os arrancadores e recolhedoras de amendoim apresentam baixo nível tecnológico, quando comparamos com as colhedoras de grandes culturas, como a soja e o algodão (SILVA, 2019). A etapa do arranquio oferece grandes desafios, devido às particularidades da cultura, dentre elas a frutificação sob o solo e o hábito de crescimento indeterminado, o que influencia nas perdas durante essa etapa (SEBASTIÁN *et al.*, 2021).

A etapa do arranquio é realizada quando a cultura atinge o ponto ideal da maturação (acima de 70%) (SANDERS *et al.*, 1982). Este processo é realizado por um arrancador-invertedor, que simultaneamente arranca, inverte e enleira as plantas. O arrancador possui dez componentes, sendo eles: enleiradores, invertedores de ramos, cabeçalho, haste guia, disco de corte, rodas, sistemas de polias e correias, esteira vibratória, lâminas e chassi (Figura 1).

O arrancador é uma máquina que necessita ser tracionada por um trator acoplado ao sistema hidráulico de três pontos acionados pela tomada de potência (TDP) ou pelo sistema hidráulico, através das válvulas de controle remoto (VCR). Até 2013 o arrancador invertedor era acionado apenas pela TDP; foi quando pesquisadores do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola da Universidade Estadual Paulista desenvolveram um protótipo acionado por meio de sistema eletro-hidráulico capaz de mudar a velocidade da esteira vibratória por meio de comando elétrico que altera o fluxo hidráulico (FEREZIN, 2015).



- |                            |                                    |
|----------------------------|------------------------------------|
| (1) Enleiradores;          | (6) Rodas;                         |
| (2) Invertedores de ramos; | (7) sistemas de polias e correias; |
| (3) Cabeçalho;             | (8) Esteira vibratória;            |
| (4) Haste guia;            | (9) Lâminas;                       |
| (5) Disco de corte;        | (10) Chassi.                       |

**Figura 1.** Esquema funcional do arrancador e seus componentes.

O arrancador de amendoim funciona da seguinte forma: os discos conferem fixidez à parte anterior do equipamento e os pneus à parte posterior. Duas lâminas retiram as plantas de amendoim, cujas vagens estão sob o solo (geralmente em profundidade de 0-15 cm) e as hastes guias os direcionam para a esteira vibratória, onde ficam presas pelas taliscas e, com movimento ascendente da esteira vibratória, separam vagens do solo. Em seguida, as plantas de amendoim caem no solo com as vagens para cima e o rolo enleirador posiciona-as em uma só fileira, formando uma leira. As plantas de amendoim ficam expostas ao sol, por um período até atingir a umidade ideal para efetuar o recolhimento (SANTOS *et al.*, 2021b).

O mercado de arrancador oferece diversos modelos desse maquinário, classificados de acordo com a capacidade de arranquio em: 2x1 (arranquio de duas fileiras da cultura formando uma leira), 4x2 (quatro fileiras x duas leiras), 6x3 (seis fileiras x três leiras) e 8x4 (oito fileiras x quatro leiras). No Brasil, o modelo mais utilizado é o 2x1, embora nos últimos anos tenha crescido a adoção por parte dos produtores de arrancadores 4x2 (SILVA, 2019).

Durante a execução dessas operações, as perdas na colheita do amendoim são inevitáveis e significativas (BARBOSA *et al.*, 2014). Sendo o arranquio, o primeiro estágio da operação de colheita mecanizada de amendoim responsável pela maior parte da perda total (ZERBATO *et al.*, 2019). Portanto, esta operação deve ser realizada minuciosamente, para garantir a produtividade máxima da cultura.

### **2.2.2 Perdas no arranquio mecanizado de amendoim**

Na operação do arranquio, as perdas são classificadas como perdas visíveis, invisíveis e totais (SILVA; MAHL, 2008). As perdas visíveis (acima do solo) ocorrem quando as plantas são elevadas e agitadas pela esteira vibratória para remover a terra ou ainda, quando as plantas são enleiradas. Já as perdas invisíveis (abaixo do solo) ocorrem quando as lâminas executam o corte muito superficial das plantas e as vagens são perdidas quando a planta é empurrada para cima da esteira vibratória. Já as perdas totais são resultantes do somatório das perdas visíveis e invisíveis.

A falta de gerenciamento e informações na operação de arranquio mecanizado de amendoim pode elevar ainda mais os níveis de perdas nesta etapa, uma vez que, a maior parte das perdas na colheita de amendoim ocorre nesse processo. No Brasil, as perdas visíveis no arranquio variam entre 0,7 e 14,8% e as perdas invisíveis de 1,9 a 34,1% em relação a produtividade (SANTOS *et al.*, 2010; SANTOS *et al.*, 2013).

As perdas durante o arranquio mecanizado de amendoim ocorrem devido à interação entre vários fatores relacionados ao cultivo e ao maquinário. Dentre eles tem se: o teor de água nas vagens (BETONHA *et al.*, 2014); a resistência do ginóforo ao rompimento (INCE; GUZEL, 2003); a maturação (SANTOS *et al.*, 2019); o teor de água no solo (SANTOS *et al.*, 2013); a compactação do solo (LEONEL *et al.*, 2007; BEUTLER *et al.*, 2008); o arrancador bem como o afiamento das facas, a profundidade de corte, a vibração da esteira vibratória e a relação entre a velocidade de avanço e da esteira (BRAGACHINI; PEIRETTI, 2009; FERREZIN *et al.*, 2018).

## **2.3 Controle estatístico de processo (CEP)**

A alta variabilidade no processo de produção agrícola, tem impulsionado diversos autores, ao uso frequente de ferramentas da qualidade, com intuito de identificar causas

especiais que afetam o processo produtivo no campo. Nesse contexto, a utilização das ferramentas do Controle Estatístico de processo vem sendo utilizadas no monitoramento da qualidade dos processos agrícolas, para identificação de causas não aleatórias ou especiais decorrentes da instabilidade ou variabilidade dos processos mecanizados (VOLTARELLI *et al.*, 2015; ZERBATO *et al.*, 2017; BRITO FILHO *et al.*, 2023).

Diferentemente dos processos industriais, os agrícolas possuem menor nível de controle por apresentarem maior variabilidade em função de fatores do processo como matéria-prima, condições meteorológicas, condições de solo, sistemas mecanizados, índices de qualidade de operações, qualificação de operadores. Dessa forma, a dificuldade de se manter um padrão de qualidade é maior (ALBIERO *et al.*, 2012). Para Montgomery (2009), o CEP é ferramenta possível de promover a prevenção de defeitos, sendo uma abordagem muito utilizada na melhoria dos processos, aumento da produtividade e ajustes de um processo bem como a melhoria de processos produtivos.

O CEP compreende um sistema de várias ferramentas estatísticas que podem analisar a estabilidade e qualidade de operações, cuja melhoria pode ser compreendida pela redução da variabilidade do processo. Esta ferramenta é fundamental para observar mais amplamente como o processo está decorrendo, podendo apontar eventuais falhas e possíveis melhorias para operações posteriores, buscando acréscimo em sua qualidade (VOLTARELLI *et al.*, 2015).

Dentre as ferramentas do CEP, as cartas de controle possibilitam verificar as causas das inconstâncias que prejudicam a qualidade do produto, eliminando assim custos desnecessários e transtornos. Ela pode ser compreendida como um monitoramento instantâneo do processo amplamente utilizado para detectar uma variação de causa especial no processo, realizando uma ação corretiva antes que seja produzida uma unidade não conforme (TORREZANI *et al.*, 2015). Tem também como objetivo estimar os parâmetros do processo, determinando sua capacidade para melhorar a qualidade de produtos e serviços. Na perspectiva do CEP, a carta de controle não elimina a variabilidade, mas permite que esta seja reduzida o máximo possível (MONTGOMERY, 2009).

A interpretação das cartas é uma etapa tão importante quanto a criação, uma vez que possibilita ao gestor a visualização da evolução do processo (LEITE, 2019). A cada ponto da carta uma nova análise deve ser realizada e sempre que o processo se apresentar fora do controle ações corretivas devem ser tomadas para que o processo volte ao normal (SOUZA, 2010). As cartas de controle possuem a linha horizontal (linha central ( $\bar{x}$ )) que representa o valor médio da característica da qualidade a ser observada. Há também os limites do processo conhecidos

como limite de controle superior (LSC) e limite de controle inferior (LIC). Esses limites são utilizados para predizer se o processo está ou não sob controle (MONTGOMERY, 2009)

O emprego do CEP para avaliar os indicadores de qualidade provenientes de operações agrícolas mecanizadas ainda é incipiente no Brasil. Contudo, é possível encontrar trabalhos com aplicações de uma das ferramentas do CEP, utilizando normalmente as cartas de controle (valores individuais e de amplitude móvel) nos processos mecanizados como semeadura e arranquio do amendoim (SANTOS *et al.*, 2018; ZERBATO *et al.*, 2019), de cana-de-açúcar (NORONHA *et al.*, 2019), na colheita mecanizada de café (OLIVEIRA *et al.*, 2020), na colheita mecanizada de milho (ORMOND *et al.*, 2016) e na colheita mecanizada de amendoim (REIS *et al.*, 2022; BRITO FILHO *et al.*, 2023).

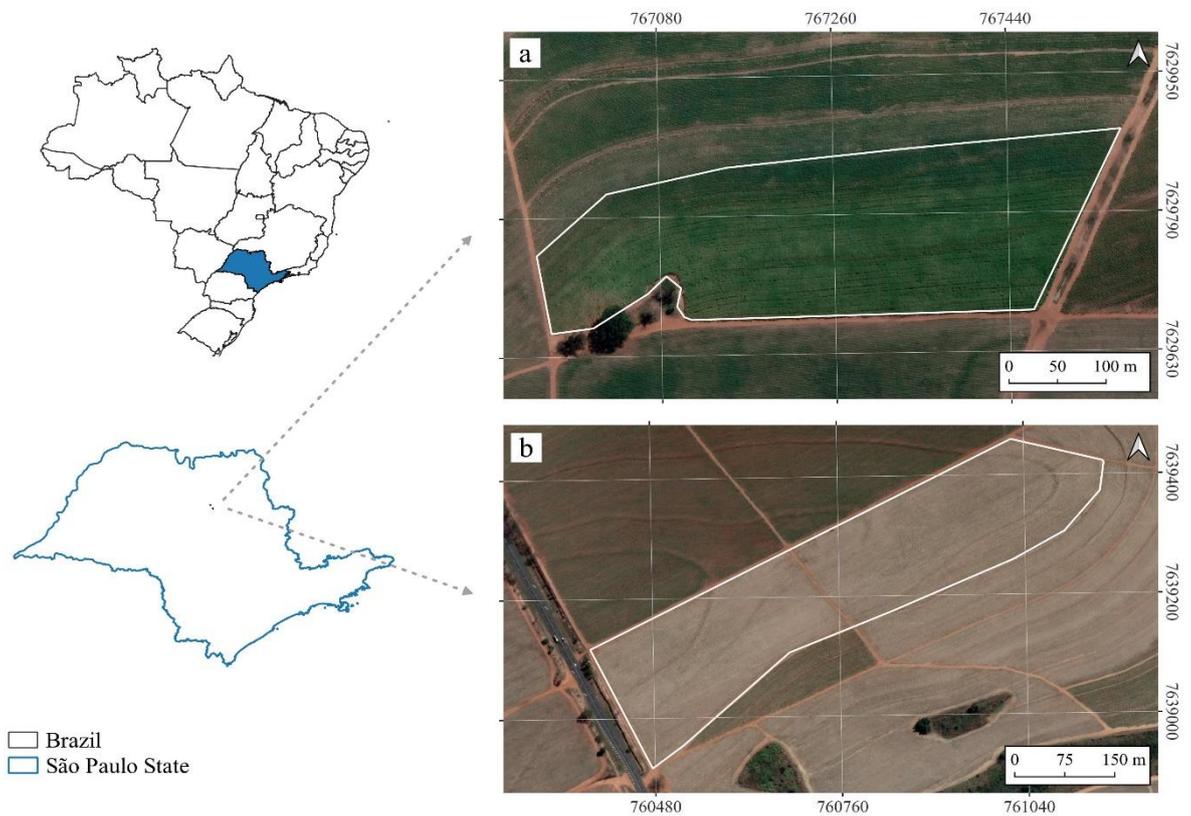


### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da área experimental

O experimento foi conduzido na safra 2020/2021 em duas lavouras comerciais de amendoim na região de Jaboticabal, SP, as quais chamaremos de áreas 1 e 2:

- Área 1: localizada no município de Santa Ernestina – SP, com coordenadas geográficas  $21^{\circ} 27' 46''$  S  $48^{\circ} 23' 27''$  O (Figura 2a);
- Área 2: localizada no município de Monte Alto – SP, com coordenadas geográficas  $21^{\circ} 19' 51.38''$  S e  $48^{\circ} 29' 12.20''$  O (Figura 2b).



**Figura 2.** Localização da área experimental: Santa Ernestina (a); Monte Alto (b).

A análise da classe textural (EMBRAPA, 1997) foi obtida por meio de seis amostras simples, retiradas aleatoriamente em cada área na camada de 0 a 0,20 m. Elas foram misturadas formando uma amostra composta e posteriormente foram encaminhadas ao Laboratório Athenas Consultoria Agrícola e Laboratório LTDA para a determinação do teor de argila, silte e areia (Tabela 1).

**Tabela 1** - Análise granulométrica do solo das áreas avaliadas.

Área	Argila	Silte	Areia	Classe textural
	----- % -----			
1	34	3	63	Franco-argilo-arenosa
2	21	2	77	Franco-argilo-arenosa

O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013). O clima da região é definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno (PEEL et al., 2007).

Os experimentos ocorreram em áreas de reformas de canaviais. A variedade de amendoim utilizada, nas duas áreas, foi a IAC - OL3, tipo Runner, com hábito de crescimento rasteiro e crescimento vegetativo de ciclo curto, variando entre 125 e 130 dias sendo mais adequada para áreas de renovação de canavial, com média de produtividade esperada de 4.500 kg ha<sup>-1</sup> e potencial produtivo podendo ultrapassar 7.000 kg ha<sup>-1</sup> (IAC, 2023).

### 3.2 Máquinas utilizadas

Foram utilizados dois conjuntos de tratores-arrancadores (Tabela 2), em duas velocidades de deslocamento (3 e 5 km h<sup>-1</sup>). O primeiro foi um arrancador 2x1 (duas linhas arrancadas, formando uma leira) tracionado por trator TL 85 New Holland, trabalhando com rotação de 1400 rpm no motor. O segundo foi um arrancador 4x2 (quatro linhas arrancadas, formando duas leiras) tracionado por trator New Holland T7.205, operando a 1500 rpm no motor. Os arrancadores utilizados eram da marca KBM, montados e acionados pela tomada de potência (TDP). A profundidade de arranquio foi de 15 cm em todos os conjuntos de máquinas utilizadas.

Tabela 2 - Conjuntos de tratores-arrancadores utilizados.

Trator	Potência do trator	Rotação do motor (rpm)	Arrancador	Vibração da esteira (rpm)
New Holland TL85	64,7 kW (88 cv)	1400	2x1	60
New Holland T7.205	133,8 kW (182 cv)	1500	4x2	50

### 3.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental seguiu as premissas do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ), sendo coletados, ao longo do espaço e tempo, 80 pontos em cada área, subdivididos em quatro tratamentos, com 20 pontos cada, espaçados 50 metros entre si, totalizando 160 pontos amostrais (Figura 3).

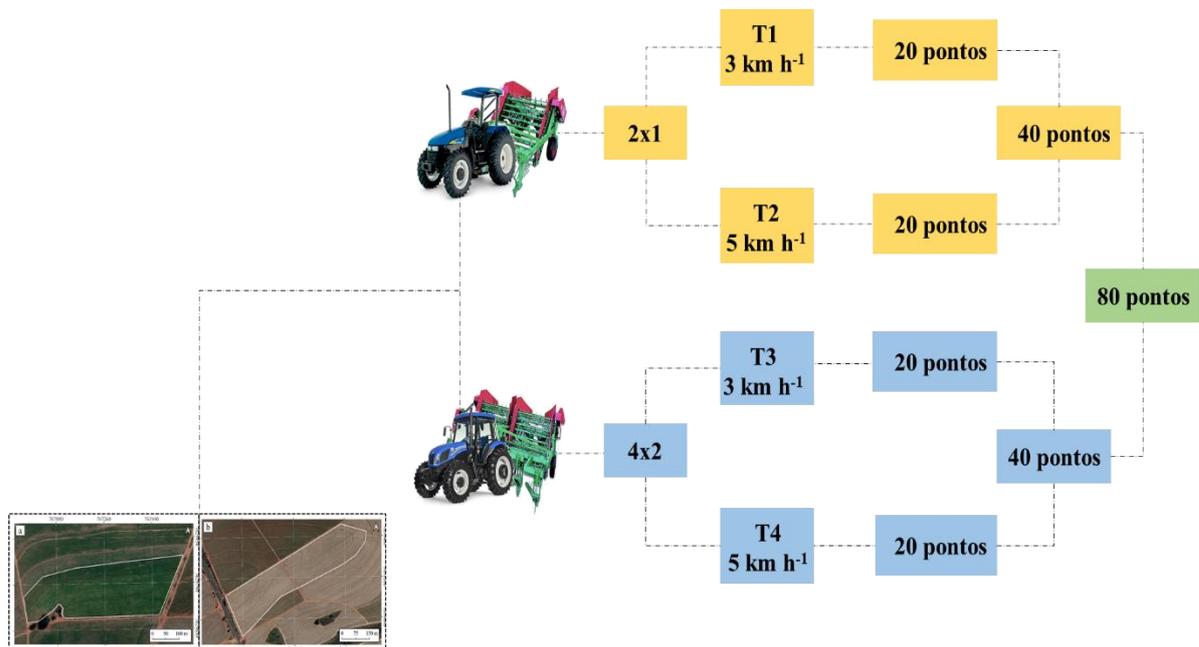


Figura 3. Resumo gráfico do delineamento experimental.

### 3.4 Indicadores de qualidade

Os indicadores de qualidade utilizados no processo de arranquio mecanizado do amendoim foram as seguintes variáveis: teor de água no solo (TAS), resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), resistência do ginóforo ao rompimento (RGR), altura de leira (AL), largura de leira (LL), perdas visíveis (PVA), invisíveis (PIA) e totais (PTA) e produtividade (PROD). Foi realizada a caracterização da maturação do amendoim no dia do arranquio de cada área.

#### 3.4.1 Teor de água no solo

O TAS do solo foi obtido no momento do arranquio utilizando uma sonda TDR (*Time Domain Reflectometer*), por meio da relação entre o teor de água e a capacidade dielétrica de um solo mineral, conforme equação empírica (1) descrita por Topp et al. (1980), na camada de 0-20 cm (Figura 4).

$$\theta = -5,3 \cdot 10^{-2} + 2,92 \cdot 10^{-2} \cdot \varepsilon_b - 5,5 \cdot 10^{-4} \cdot \varepsilon_b^2 + 4,3 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-6} \cdot \varepsilon_b^3 \quad (1)$$

Em que:

$\theta$ : teor de água do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );

$\varepsilon_b$ : constante dielétrica (adimensional).



**Figura 4.** Determinação do teor de água no solo utilizando uma sonda TDR (Time Domain Reflectometer).

### 3.4.2 Resistência mecânica do solo à penetração

A determinação da RMSP foi realizada momentos antes do arranquio, em todos os pontos amostrais, por meio de um penetrômetro de impacto (Figura 5), coletando informações a cada 5 cm, na camada do solo de 0-20 cm. Na sequência, determinamos o índice de cone para esta camada (equação 2).

$$IC = \frac{\sum RMSP}{n} \quad (2)$$

Em que:

IC: índice de cone na camada de 0-20 cm;

RMSP: resistência mecânica do solo à penetração a cada 5 cm;

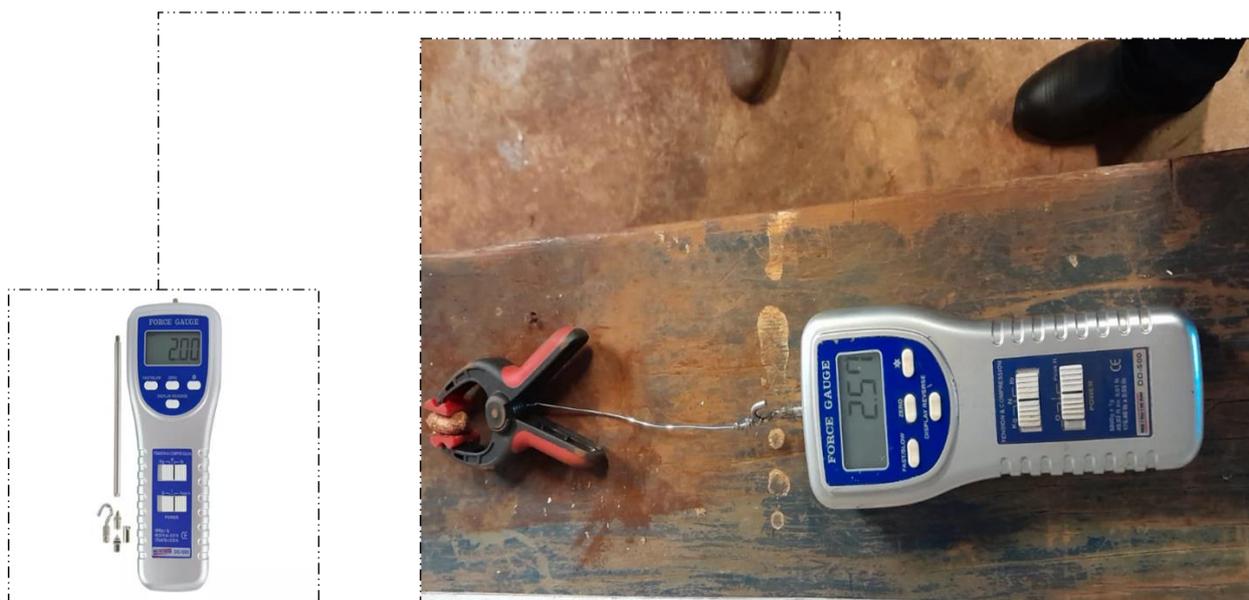
n: número de camadas.



**Figura 5.** Determinação da resistência mecânica do solo à penetração com penetrômetro de impacto.

### 3.4.3 Resistência do ginóforo ao rompimento

Para avaliar a força de desprendimento do ginóforo, utilizamos a força média necessária para o destacamento de cinco vagens de cada ponto coletado, com auxílio de um Dinamômetro Digital Portátil da Instrutherm<sup>TM</sup> modelo DD-500, com capacidade de medição máxima de 49,03 N (5 kgf) e resolução de 0,01 N (0,1 kgf), com precisão de 0,4% (Figura 6).



**Figura 6.** Determinação da resistência do ginóforo ao rompimento por meio de um dinamômetro digital.

#### 3.4.4 Altura e largura de leira

Após o arranquio foram medidas altura e largura de leira com o auxílio de uma trena, com o objetivo de verificar o grau de uniformidade (Figura 7).



**Figura 7.** Dimensionamento de altura e largura de leira após o arranquio

### 3.4.5 Perdas no arranquio

Para mensuração das perdas (Figura 8), utilizamos uma armação com área amostral de 2 m<sup>2</sup>, posicionada transversalmente à leira (SILVA e MAHL, 2008). Esta medida de armação foi determinada para se alcançar a largura exata de cada arrancador (Tabela 3).

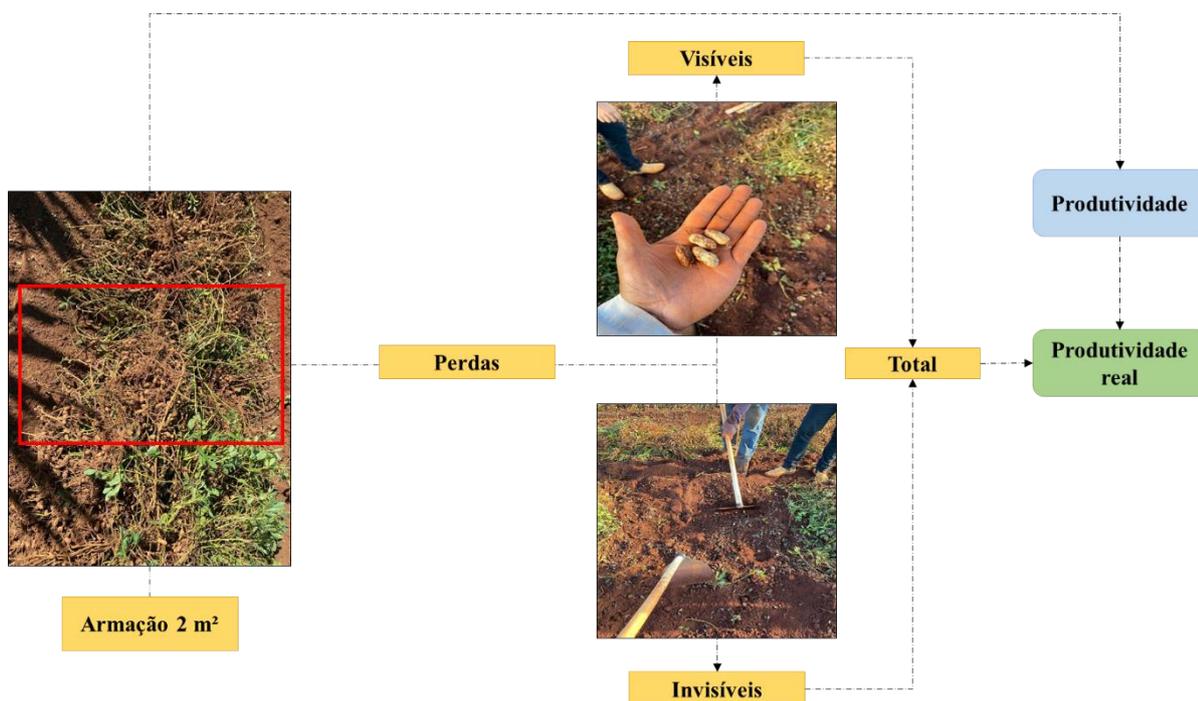
**Tabela 3** - Dimensões das armações utilizadas para avaliação de perdas no arranquio.

<b>Arrancador</b>	<b>Largura (m)</b>	<b>Comprimento (m)</b>
<b>2x1</b>	1,11	1,80
<b>4x2</b>	0,56	3,60

- Perdas visíveis no arranquio: posicionada a armação (as ramas que formavam a leira) foram levantadas cuidadosamente, sendo então recolhidas todas as vagens que estavam destacadas das plantas sobre o solo, no interior na armação;

- Perdas invisíveis no arranquio: ainda com a armação posicionada no solo, escavamos o solo até a profundidade de 15 cm com auxílio de uma enxada e coletamos as vagens que se encontravam sob o solo;

- Perdas totais no arranquio: foram obtidas a partir do somatório das perdas visíveis e invisíveis no arranquio.



**Figura 8.** Fluxograma do processo de avaliação de perdas e produtividade no arranquio mecanizado de amendoim.

Após a coleta, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) da Universidade Estadual Paulista - Unesp/Jaboticabal, onde foi corrigido o teor de água para 8%, em estufa a 65 °C por 24 horas, e calculadas as perdas em  $\text{kg ha}^{-1}$  e porcentagem em relação à produtividade real.

### 3.4.6 Produtividade

A produtividade foi determinada a partir das ramas que formavam a leira (2 m<sup>2</sup>), em que foram avaliadas as perdas (Figura 7); em seguida foram destacadas totas as vagens das ramas e posteriormente pesadas. A produtividade real, referente à quantidade total de amendoim produzida nas respectivas áreas, foi obtida pelo somatório da produtividade e das perdas totais.

Foi corrigido o teor de água das amostras para 8% (teor de água de armazenamento do amendoim), conforme a equação 3:

$$TA = \frac{100 \times (M - m)}{(M - t)} \quad (3)$$

Em que:

TA: teor de água (%);

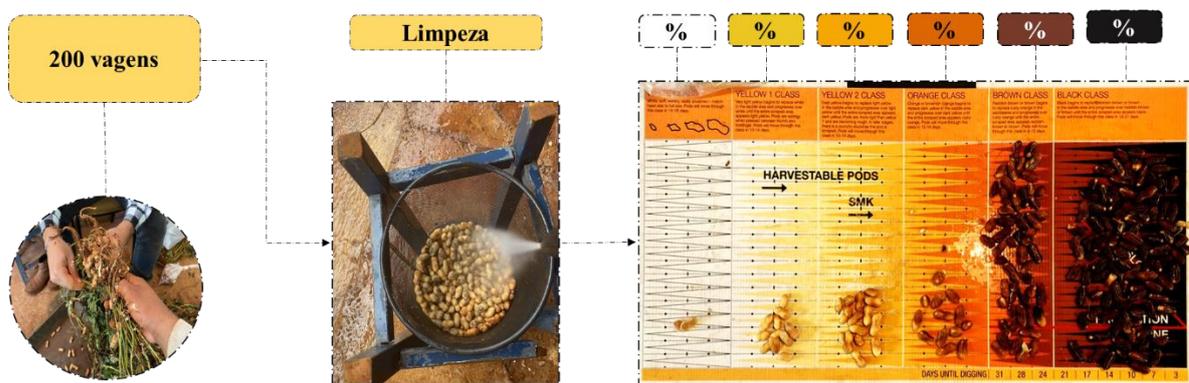
M: massa úmida (g);

m: massa seca (g);

t: tara do recipiente.

### 3.4.7 Maturação

Para a análise de maturação utilizou-se o método *Peanut Maturity Index* (PMI), que calcula a porcentagem de vagens maduras para cada amostra (Rowland *et al.*, 2006). Em cada, área foram arrancadas 20 plantas ao acaso, das quais foram selecionadas 200 vagens completamente desenvolvidas para realização da avaliação de cada área (Figura 8). Logo após as foram submetidas a raspagem do exocarpo, expondo a coloração do mesocarpo. A raspagem dessas vagens foi com auxílio de um jato d'água. Posteriormente, as vagens foram dispostas sobre o quadro de classificação de maturação (Hull Scrape), que determina a maturação do amendoim a partir das cores apresentadas pelas vagens (Williams e Drexler, 1981) por meio da porcentagem de vagens contidas nas classes laranja, marrom e preta.

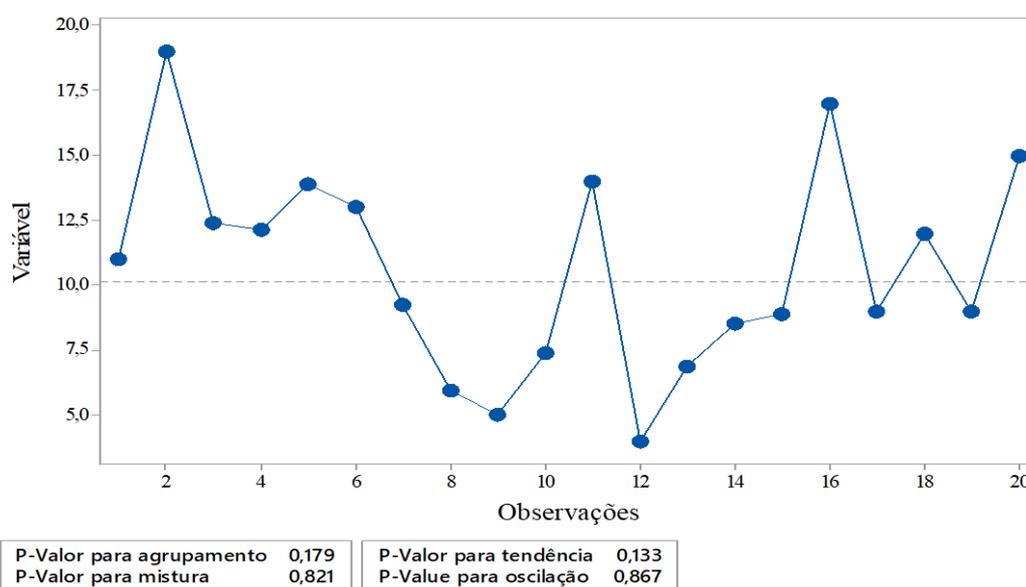


**Figura 9.** Fluxograma do processo de avaliação da maturação do amendoim. Adap. Williams e Drexler (1981).

### 3.5 Análise estatísticas

A análise de variabilidade foi monitorada por ferramentas do Controle Estatístico de Qualidade, especificamente, gráficos sequenciais (*run charts*) e cartas de controle individual por meio do software Minitab 19<sup>®</sup>.

Os gráficos sequenciais (Figura 9) fornecem informações sobre a variação não aleatória devido à influência das causas especiais, gerando padrões de agrupamento, mistura, tendências e oscilações, para melhor compreensão dos gráficos de controle.



**Figura 10.** Modelo de gráfico sequencial (*Run chart*).

A carta de controle usada foi a de valores individuais que apresenta os valores dos indicadores de qualidade em cada ponto avaliado, apresentando como linha central a média ( $\bar{x}$ ) dos pontos e os limites inferior (LIC) e superior de controle (LSC) (Figura 11). Este gráfico permite avaliar a variabilidade de um processo por meio da distância entre os limites de controle superior e inferior, calculados em função da média e do desvio-padrão (Equações 4 e 5); quanto mais distantes estiverem da média, maior será a variabilidade do processo.

$$UCL = \bar{x} + 3. \Sigma \quad (4)$$

$$LCL = \bar{x} - 3. \Sigma \quad (5)$$

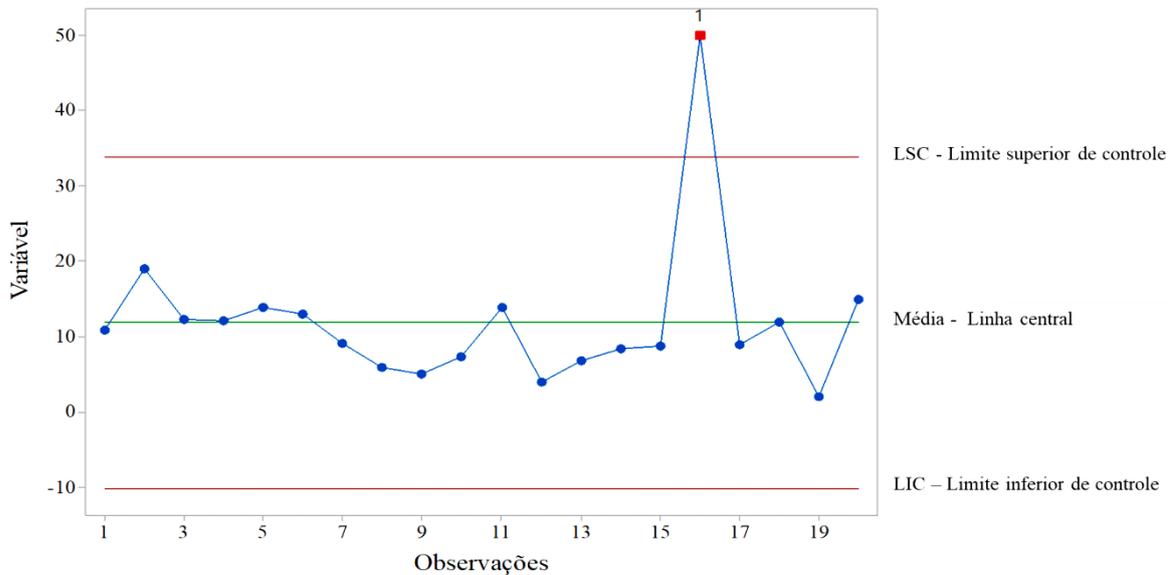
Em que:

UCL: Limite superior de controle;

LCL: Limite inferior de controle

$\sigma$ : desvio-padrão;

$\bar{x}$ : média aritmética simples.



**Figura 11.** Modelo de cartas de controle de valores individuais

### 3.6 Metodologia para avaliação da qualidade do processo de arranquio

Para avaliar a qualidade do arranquio de amendoim desenvolvemos uma metodologia considerando a uniformidade dos indicadores de qualidade relativos ao solo (teor de água no solo e resistência mecânica do solo à penetração) e à planta (força de desprendimento e produtividade) bem como a variabilidade dos indicadores de qualidade relacionados à ação da máquina (altura e largura de leira e perdas). Para tanto foram definidas notas de 1 a 4 para variabilidade encontrada nas cartas de controle e para estabilidade e/ou instabilidade do processo, denotada pela quantidade de pontos dentro ou fora dos limites de controle, respectivamente (Tabela 4).

**Tabela 4** – Notas para avaliar a qualidade do arranquio de amendoim quanto a variabilidade, estabilidade e instabilidade

Notas	Variabilidade	Estabilidade	Instabilidade
1	Maior variabilidade	Menor estabilidade	Maior instabilidade
2	↓	↑	↓
3			
4	Menor variabilidade	Maior estabilidade	Menor instabilidade

Para de terminação da variabilidade, consideramos o Limite Superior de Controle (LSC) subtraído da média ( $\bar{x}$ ). Na sequência, atribuímos nota de 1 a 4 para o Índice de Variabilidade (IDV), sendo 1 para a maior variabilidade e 4 para a menor variabilidade encontrada para cada variável.

Para o Índice de Uniformidade (IDU), estabelecemos como critério notas de 1 a 4, sendo 1 a menor uniformidade e 4 a maior, considerando estabilidade do processo, ou seja, a menor ou maior quantidades de pontos dentro dos limites de controle. Em relação à presença de pontos fora de controle, as notas atribuídas foram 1 (maior instabilidade, com mais pontos fora dos limites de controle) a 4 (menor instabilidade).

Na sequência, definimos os Índices de Uniformidade (IDU) e de Variabilidade (IDV) de cada variável por meio da soma das notas atribuídas, divididas pela maior soma possível de ser obtida pelo conjunto de variáveis componentes de cada índices, conforme a equação 5. Os Índices resulta em valores entre 0 e 1, sendo a qualidade então classificada em baixa (0,00 a 0,25) regular (0,26 a 0,50), boa (0,51 a 0,75) e ótima (0,76 a 1,00).

$$IDU \text{ ou } IDV = \frac{N1 + N2 + N3}{3n \cdot N_{máx}} \quad (5)$$

Em que:

N1, N2 e N3: notas atribuídas a cada indicador de qualidade considerando a variabilidade, estabilidade e instabilidade, respectivamente;

n: número de indicador de qualidade para cada fator (solo, planta e máquina);

N<sub>máx</sub>: Nota máxima de ser obtida por cada indicador de qualidade (4).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na sequência são apresentados os resultados das *run charts*, das cartas de controle e da metodologia para avaliar a qualidade do processo de arranquio do amendoim. Os valores médios das variáveis analisadas serão discutidos juntamente com as cartas de controle.

### 4.1 *Run charts*

A análise das *run charts* detectou padrões de não aleatoriedade, mistura, tendência e oscilação para os indicadores de qualidade (IQ's) (Tabela 4). Esses padrões indicam que o processo pode se tornar instável e deve ser monitorado frequentemente a fim de evitar a ocorrência de causas especiais ou não-comuns que podem e devem ser diagnosticadas para garantir que a qualidade da operação fique em padrões desejados.

Os padrões de agrupamentos encontrados para teor de água no solo (TAS), resistência mecânica à penetração do solo (RMSP), altura de leira (AL) e perdas totais no arranquio (PTA) indicam a formação de grupos de pontos abaixo ou acima da média em determinadas áreas do gráfico. O padrão de mistura observado apenas para AL indica a ausência de pontos próximo à média, o que evidencia a existência de dois grupos distintos de dados caracterizados pela alternância acima ou abaixo da linha central. Os padrões de tendência que observamos para RSMP, AL, LL (largura de leira) e PTA representam uma sequência de sucessivos aumentos ou diminuições nas observações detectadas. Os padrões de oscilação para as variáveis AL, LL, PIA (perdas invisíveis no arranquio) e PTA detectam a flutuação dos dados acima ou abaixo da mediana, o que evidencia a existência ou não de um padrão regular ocorrendo ao longo do tempo. Portanto, os valores-padrão, indicam presença de causas especiais que podem ser atribuídas aos fatores 6 M's: meio ambiente (impedimentos químicos e físicos do solo), máquinas, mão de obra (operações mecanizadas mal conduzidas) e material para o hábito de crescimento indeterminado da cultura.

Todavia, quando detectamos a presença de causas especiais atuando no processo, faz-se necessária uma análise suplementar, por meio das cartas de controle (Figuras 12 a 17), o que permite verificar e aumentar a confiabilidade da análise de um processo bem como a elaboração de medidas corretivas. Alguns autores (SANTOS, 2019; BRITO FILHO, 2021), destacam que as cartas de controle e os gráficos sequenciais (*run charts*) são ferramentas de controle aplicável para avaliar a variabilidade na colheita de amendoim na adoção de medidas mitigatórias. Silva (2019) atribui a presença de causas especiais na colheita de amendoim a fatores intrínsecos à

planta, como excesso de maturação e doenças, ao solo, como teor de água no solo e fertilidade, e também às máquinas, como a regulagem e manutenções.

**Tabela 4.** Padrões não aleatórios com gráficos sequenciais para os indicadores de qualidade no arranquio mecanizado de amendoim.

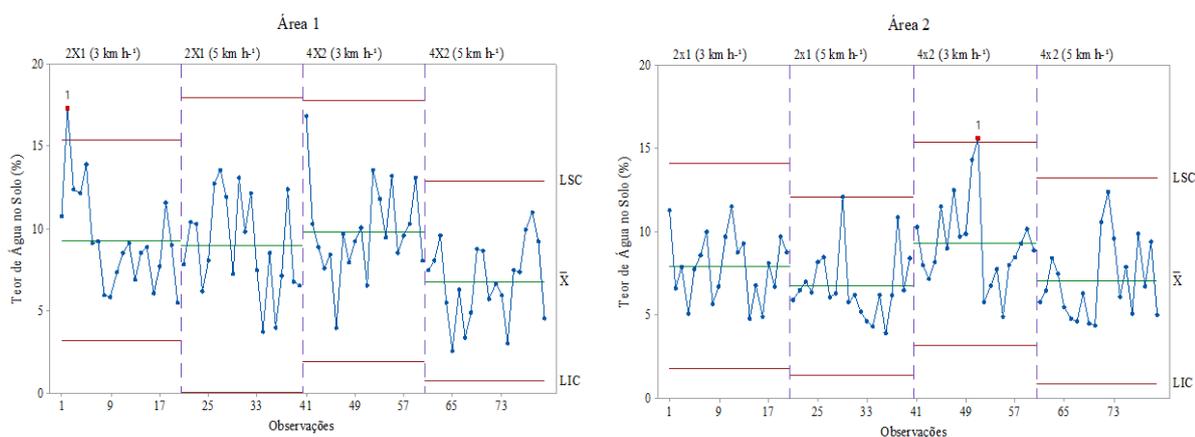
IQ's	Máq.	Vel.	Parâmetros							
			Área 1				Área 2			
			<sup>1</sup> A	M	T	O	<sup>1</sup> A	M	T	O
TAS	2X1	3 km h <sup>-1</sup>	<b>0,011</b> *	0,989 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>	0,179 <sup>ns</sup>	0,821 <sup>ns</sup>	0,867 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>
		5 km h <sup>-1</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>	<b>0,011</b> *	0,989 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>
	4X2	3 km h <sup>-1</sup>	0,677 <sup>ns</sup>	0,323 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	<b>0,011</b> *	0,989 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>	0,867 <sup>ns</sup>
		5 km h <sup>-1</sup>	<b>0,011</b> *	0,989 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>	0,179 <sup>ns</sup>	0,821 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>
RMSP	2X1	3 km h <sup>-1</sup>	0,143 <sup>ns</sup>	0,857 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,089 <sup>ns</sup>	0,911 <sup>ns</sup>	<b>0,003</b> *	0,997 <sup>ns</sup>
		5 km h <sup>-1</sup>	0,092 <sup>ns</sup>	0,908 <sup>ns</sup>	<b>0,00</b> *	1,000 <sup>ns</sup>	0,695 <sup>ns</sup>	0,305 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>
	4X2	3 km h <sup>-1</sup>	0,480 <sup>ns</sup>	0,520 <sup>ns</sup>	0,867 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>	<b>0,011</b> *	0,089 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>
		5 km h <sup>-1</sup>	0,323 <sup>ns</sup>	0,677 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,412 <sup>ns</sup>	0,588 <sup>ns</sup>	<b>0,013</b> *	0,987 <sup>ns</sup>
RGR	2X1	3 km h <sup>-1</sup>	0,324 <sup>ns</sup>	0,660 <sup>ns</sup>	0,867 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>	0,916 <sup>ns</sup>	0,084 <sup>ns</sup>	0,867 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>
		5 km h <sup>-1</sup>	0,323 <sup>ns</sup>	0,677 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,821 <sup>ns</sup>	0,179 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>
	4X2	3 km h <sup>-1</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>	0,323 <sup>ns</sup>	0,677 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>
		5 km h <sup>-1</sup>	0,323 <sup>ns</sup>	0,677 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,916 <sup>ns</sup>	0,084 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>
AL	2X1	3 km h <sup>-1</sup>	<b>0,011</b> *	0,989 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,821 <sup>ns</sup>	0,179 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>
		5 km h <sup>-1</sup>	<b>0,011</b> *	0,989 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>	0,867 <sup>ns</sup>	0,189 <sup>ns</sup>	0,811 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>
	4X2	3 km h <sup>-1</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,987 <sup>ns</sup>	<b>0,013</b> *	0,179 <sup>ns</sup>	0,821 <sup>ns</sup>	<b>0,013</b> *	0,987 <sup>ns</sup>
		5 km h <sup>-1</sup>	0,983 <sup>ns</sup>	<b>0,017</b> *	0,952 <sup>ns</sup>	<b>0,048</b> *	<b>0,011</b> *	0,989 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>	0,867 <sup>ns</sup>
LL	2X1	3 km h <sup>-1</sup>	0,189 <sup>ns</sup>	0,811 <sup>ns</sup>	<b>0,003</b> *	0,997 <sup>ns</sup>	0,677 <sup>ns</sup>	0,323 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>
		5 km h <sup>-1</sup>	0,749 <sup>ns</sup>	0,251 <sup>ns</sup>	0,867 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>	0,179 <sup>ns</sup>	0,821 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>
	4X2	3 km h <sup>-1</sup>	0,035 <sup>ns</sup>	0,965 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>	0,867 <sup>ns</sup>	0,882 <sup>ns</sup>	0,118 <sup>ns</sup>	0,952 <sup>ns</sup>	<b>0,048</b> *
		5 km h <sup>-1</sup>	0,323 <sup>ns</sup>	0,677 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>	0,676 <sup>ns</sup>	0,324 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>
PVA	2X1	3 km h <sup>-1</sup>	0,821 <sup>ns</sup>	0,179 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,677 <sup>ns</sup>	0,323 <sup>ns</sup>	0,952 <sup>ns</sup>	0,048 <sup>ns</sup>
		5 km h <sup>-1</sup>	0,677 <sup>ns</sup>	0,323 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>	0,867 <sup>ns</sup>	0,821 <sup>ns</sup>	0,179 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>
	4X2	3 km h <sup>-1</sup>	0,821 <sup>ns</sup>	0,179 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,179 <sup>ns</sup>	0,821 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>	0,867 <sup>ns</sup>
		5 km h <sup>-1</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>	0,179 <sup>ns</sup>	0,821 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>	0,867 <sup>ns</sup>
PIA	2X1	3 km h <sup>-1</sup>	0,821 <sup>ns</sup>	0,179 <sup>ns</sup>	0,952 <sup>ns</sup>	<b>0,048</b> *	0,323 <sup>ns</sup>	0,677 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>
		5 km h <sup>-1</sup>	0,179 <sup>ns</sup>	0,821 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,084 <sup>ns</sup>	0,916 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>
	4X2	3 km h <sup>-1</sup>	0,821 <sup>ns</sup>	0,179 <sup>ns</sup>	0,867 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>	0,179 <sup>ns</sup>	0,821 <sup>ns</sup>	0,867 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>
		5 km h <sup>-1</sup>	0,084 <sup>ns</sup>	0,916 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,084 <sup>ns</sup>	0,916 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>
PTA	2X1	3 km h <sup>-1</sup>	0,821 <sup>ns</sup>	0,179 <sup>ns</sup>	0,952 <sup>ns</sup>	0,048 <sup>ns</sup>	0,677 <sup>ns</sup>	0,323 <sup>ns</sup>	0,952 <sup>ns</sup>	<b>0,048</b> *
		5 km h <sup>-1</sup>	0,179 <sup>ns</sup>	0,821 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>
	4X2	3 km h <sup>-1</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>	<b>0,033</b> *	0,967 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>
		5 km h <sup>-1</sup>	0,084 <sup>ns</sup>	0,916 <sup>ns</sup>	<b>0,048</b> *	0,952 <sup>ns</sup>	0,084 <sup>ns</sup>	0,916 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>	0,867 <sup>ns</sup>
PROD	2X1	3 km h <sup>-1</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,952 <sup>ns</sup>	0,048 <sup>ns</sup>
		5 km h <sup>-1</sup>	0,323 <sup>ns</sup>	0,677 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>
	4X3	3 km h <sup>-1</sup>	0,084 <sup>ns</sup>	0,916 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>	0,867 <sup>ns</sup>	0,011 <sup>ns</sup>	0,989 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>
		5 km h <sup>-1</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,711 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>	0,677 <sup>ns</sup>	0,323 <sup>ns</sup>	0,867 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>

<sup>1</sup>A – Agrupamento; M – Mistura; T – Tendência; O – Oscilação; \* valores padrões de não aleatoriedade detectados pelo teste de probabilidade a p < 0,05; <sup>ns</sup> valores padrões de aleatoriedade detectados pelo teste de probabilidade a p > 0,05; TAS (teor de água no solo); R MSP (Resistência mecânica do solo à penetração); RGR (resistência do ginóforo ao rompimento); AL (altura de leira); LL (largura de leira); PVA (perda visível no arranquio); PIA (perda invisível no arranquio); PTA (perda total no arranquio); PROD (produtividade).

## 4.2 Cartas de controle

A variabilidade do teor de água no solo foi semelhante nas áreas e tratamentos utilizados, exceto na área 1 nos talhões colhidos com arrancador 2x1 a 5 km h<sup>-1</sup> e 4x2 a 3 km h<sup>-1</sup> que apresentaram maior variabilidade (Figura 12). Observamos apenas um ponto fora de controle em cada área e isso pode ser explicado pelo fator meio ambiente (sol, chuva, vento etc.) que apresenta limitações difíceis de serem controladas a campo e influenciam na variabilidade do processo.

O teor de água no solo nas áreas “1” e “2” de estudo foi em média de 9,29 e 7,94%, respectivamente. Estes valores indicam que o solo estava seco, o que pode ter influenciado no momento do arranquio elevando os níveis de perdas. Solos mais secos dificultam o desempenho do arrancador, uma vez que as facas precisam penetrar no solo e cortar a raiz principal da planta para invertê-la. Em contraste solo mais úmido tende ficar aderido às vagens, o que dificulta o destacamento das vagens, além disso, o teor de água no solo associado à textura do solo dificulta o processo de arranquio mecanizado.



**Figura 12.** Cartas de controle de valores individuais para teor de água no solo durante o arranquio de amendoim

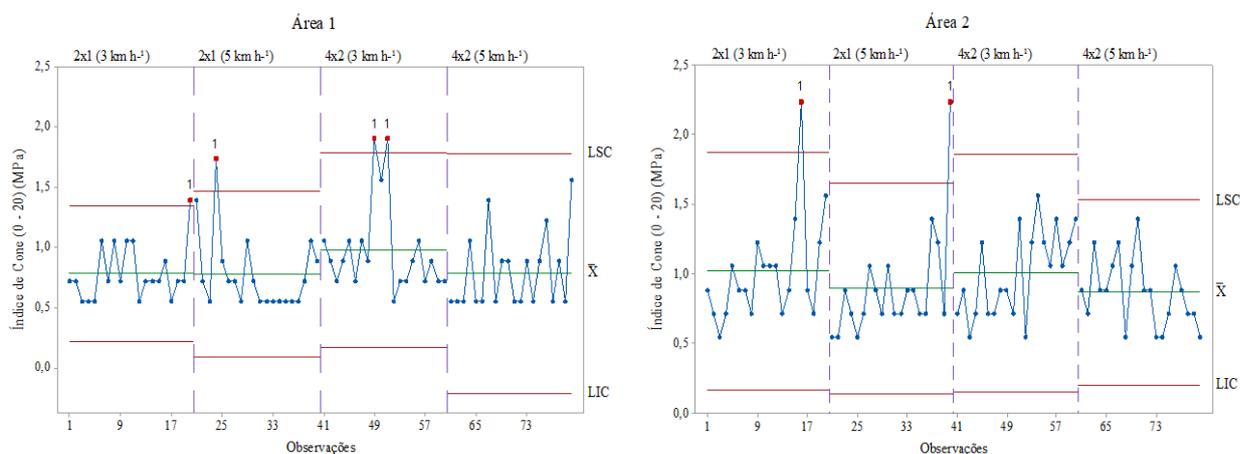
Estudo realizado na Universidade de Clemson demonstrou que a textura do solo mais fina e seca tende a introduzir maiores perdas do que as texturas do solo mais grossas no momento de arranquio mecanizado de amendoim, uma vez que solos argilosos com maior teor de água tende a apresentar maior desagregação e menor dureza. (WARNER *et al.*, 2015). Zerbato *et al.* (2014) obtiveram perdas na colheita mecanizada de amendoim iguais em solos com 19,3% e 24,8% de umidade. Behera *et al.* (2008) avaliaram o arranquio mecanizado de

amendoim e constataram que as perdas diminuíram gradativamente com o aumento da água no solo de 8% para 12%.

Ainda, o teor de água do solo pode ser considerado como o principal indicador da variabilidade do teor de água nas vagens no momento do arranquio, devido a sua característica hipógea. Vale ressaltar que o aumento do teor de água no solo pode reduzir as perdas; contudo, pode dificultar o desempenho da operação da máquina (ZERBATO *et al.*, 2014).

Ainda em relação às peculiaridades intrínsecas ao solo, sua compactação representada pelo índice de cone (IC) apresentou variabilidade semelhante nos diferentes arranjos experimentais. No entanto, observamos alguns pontos fora de controle, que podem ser atribuídos ao fator meio ambiente (solo, rocha etc.) (Figura 13).

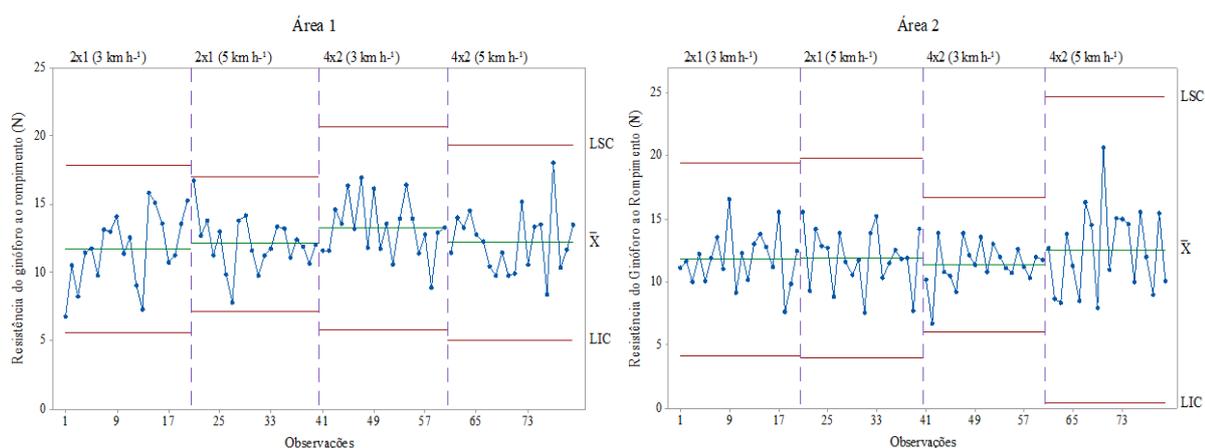
Neste estudo, a compactação na camada de 0 - 20 cm situou-se entre 0,50 a 2,0 MPa, o que indicam que o solo não se encontrava compactado no momento do arranquio nesta camada, exceto para os pontos fora de controle da área 2 (Figura 13). Observamos que os valores de IC estiveram dentro do limiar de 2,0 MPa para a cultura (LEONEL *et al.*, 2007; BEUTLER *et al.*, 2008); valores acima de 2,0 MPa são limitantes ao crescimento radicular das plantas em solos com preparo convencional.



**Figura 13.** Cartas de controle de valores individuais para índice de cone durante o arranquio de amendoim

O solo é a base da produção agrícola e aspecto central da sistematização de áreas para o amendoim mecanizável. Desta forma, neste estudo, apenas o teor de água do solo se configura como um atributo limitante ao arranquio do amendoim, pois, além de apresentar baixos valores médios, apresentou também alta variabilidade. As causas especiais que observamos para IC podem estar relacionadas aos fatores 6M's, mais especificamente ao fator meio ambiente.

Além das condições de solo, as perdas no momento de arranquio também estão atreladas às condições da planta. Nesse sentido, a resistência do ginóforo ao rompimento (RGR) assume papel importante nas perdas durante o arranquio. No entanto, observamos que o processo está sob controle e que a variabilidade da RGR foi semelhante em todo processo, exceto na área 2, no arranjo experimental (4x2 – 5 km h<sup>-1</sup>), o qual apresentou variabilidade superior. A média das forças de desprendimento variou entre 11,91 e 12,35 N, nas áreas 1 e 2, respectivamente (Figura 14).



**Figura 14.** Cartas de controles de valores individuais para resistência do ginóforo ao rompimento durante o arranquio de amendoim.

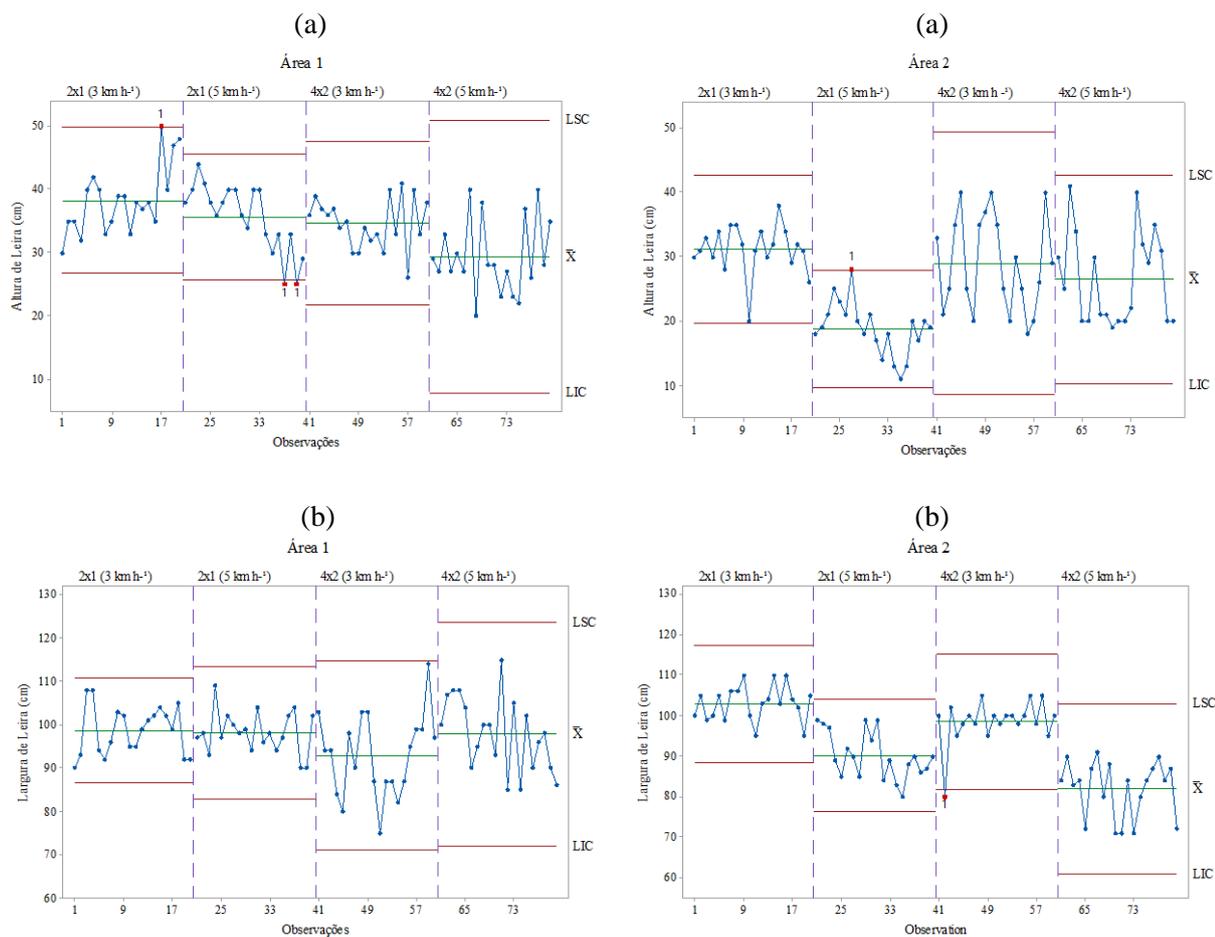
A resistência do ginóforo ao rompimento é crucial ao arrancar e inverter amendoim mecanicamente e pode ajudar os produtores a determinar o tempo ideal de arranquio. Portanto, é crucial entender os fatores que influenciam na força de desprendimento. Estudos anteriores mostraram que a força de desprendimento é influenciada pela maturidade e cultivar (TROEGER; WILLIAMS; BUTLER, 1976; CHAPIN; THOMAS, 2005).

Resultados encontrados por Girio *et al.* (2018) e Colvin *et al.* (2018) relacionando a maturação das vagens com a força de desprendimento indicam que a fase ideal para colher amendoim é quando há predominância de vagens na coloração laranja e marrom, as quais já são consideradas vagens maduras e apresentaram maior resistência ao destacamento. Por outro lado, na fase com vagens pretas, é quando o ginóforo possui menor resistência ao desprendimento, favorecendo as perdas na colheita.

Além disso, Ince e Guzel (2003) encontram relação exponencial entre o teor de água no solo e a resistência do ginóforo ao rompimento (RGR), de forma que quando diminui o teor de água, diminui a RGR e, conseqüentemente, aumentam as perdas totais na colheita. Portanto, a variabilidade para a RGR encontrada neste trabalho se deve à diferença de maturação das

vagens, que foi de 69% e 67%. Isso representa que as lavouras possuíam 31 % e 33% de vagens nas classes imaturas (branca a amarelo 2) nas áreas “1” e “2”, respectivamente. E ao teor de água no solo que foi limitante ao arranquio mecanizado de amendoim. Para que a colheita mecanizada do amendoim seja viável, o arranquio deve harmonizar-se com as vagens completamente maduras ou, na sua maioria, valores entre 70 e 75% de maturação fisiológica (SANDERS *et al.*, 1982). O excesso de vagens maduras prejudica a produtividade final ocasionado pelo aumento de perdas oriundas da operação colheita (SANTOS *et al.*, 2019). Em contraste, vagens imaturas reduzem a qualidade para o mercado de sementes (SANDERS *et al.*, 1982).

Observando as cartas de controle para as variáveis que são influenciadas na operação de arranquio mecanizado do amendoim, é possível notar, sob a óptica do controle estatístico de processo, que este não foi preciso e apresentou comportamento instável. Isso porque podem ser verificados pontos acima e abaixo dos limites superiores e limites inferiores de controle, respectivamente, para as variáveis altura de leira no arrancador 2x1 nas velocidades 3 e 5 km h<sup>-1</sup> (área 1) e na velocidade 3 km h<sup>-1</sup> na área 2, e para variável largura de leira no arrancador 4x2 na velocidade de 3 km h<sup>-1</sup> trabalhando na área 2 (Figura 15). Entretanto, as maiores variabilidades para altura de leira foram observadas nos arrancadores 4x2 (5 km h<sup>-1</sup>) e 2x1 (3 km h<sup>-1</sup>) nas áreas 1 e 2, respectivamente. Além disso para a variável largura de leira as maiores variabilidades foram observadas no arrancador 4x2 em ambas as velocidades (Figura 15).



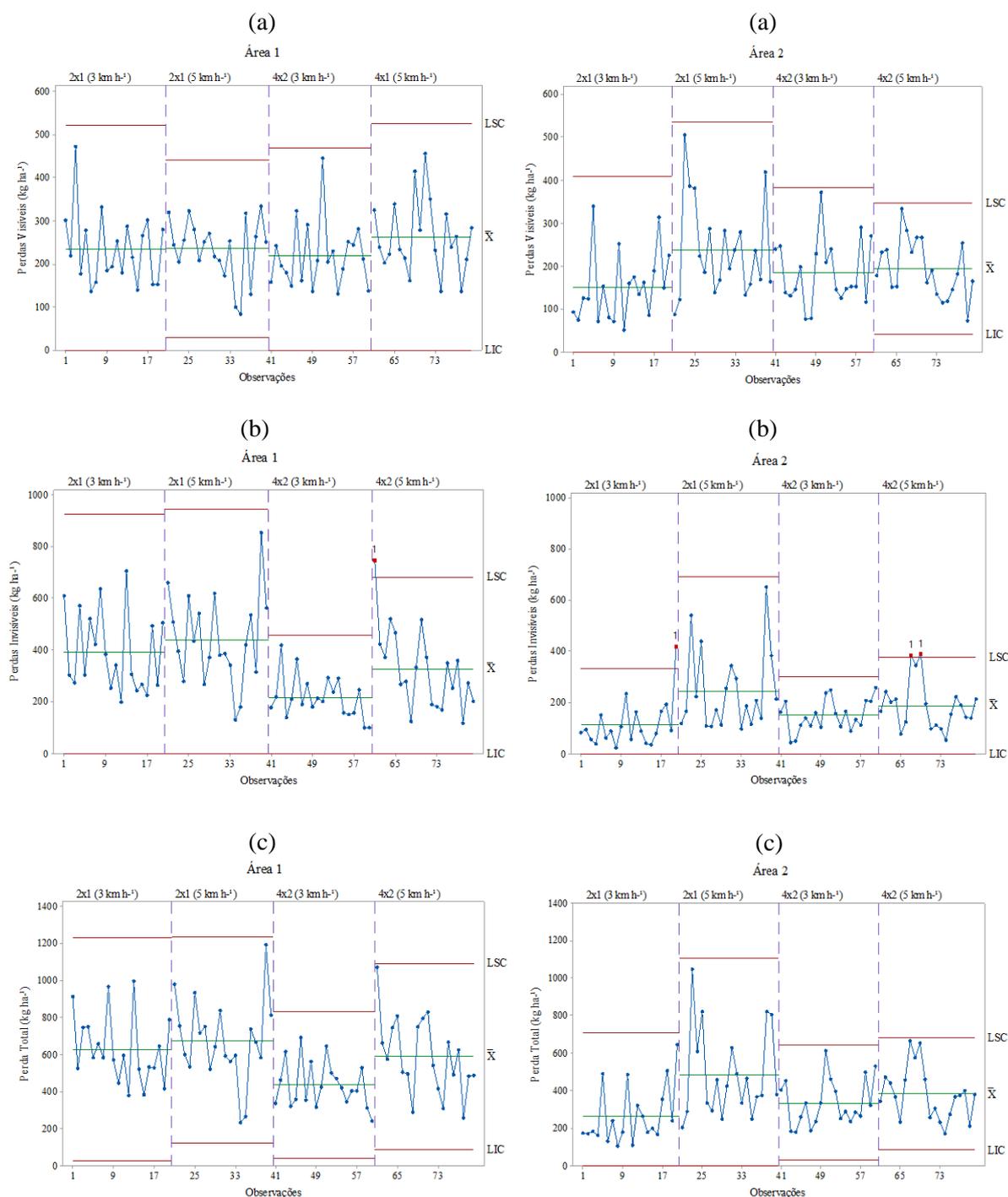
**Figura 15.** Cartas de controle de valores individuais para altura (a) e largura (b) de leira durante o arranquio de amendoim.

A variabilidade que observamos para estas variáveis (altura e largura de leira) podem estar ligadas às variações de velocidade de deslocamento do conjunto trator-arrancador e do fluxo de matéria vegetal no arranquio, além das regulagens, modelo e condições do maquinário. As variáveis altura e largura de leira assumem papel importante na segunda fase da colheita, que é caracterizada pelo recolhimento e trilha dos frutos, indicando a possibilidade de manutenção de taxas adequadas de alimentação da recolhedora. Nesse sentido, os arrancadores devem estar bem regulados para que as leiras fiquem bem alinhadas e sem falhas. Leiras desalinhadas prejudicam a alimentação do cilindro bateador da recolhedora, podendo ocasionar falhas no processo de separação, quebras de vagens e perdas do produto junto à biomassa (ORMOND *et al.*, 2018).

Relacionando altura de leira com perdas no recolhimento de amendoim, Bunhola *et al.* (2017) observaram que quanto maior a altura da leira, na ordem de 26,21-31,76 cm, maiores foram os valores no processo de perdas visíveis do recolhimento. Entretanto, leiras muito baixas levam a recolhedora a trabalhar com a plataforma mais baixa, o que pode ocasionar o contato dos dedos recolhedores com o solo, favorecendo o aumento de impurezas e dificultando a separação das vagens das ramas. Vale ressaltar que a mensuração dessas variáveis ocorreu logo após o arranquio, com material vegetal ainda verde e, por isso, os valores foram superiores aos encontrados na bibliografia. Portanto, no momento do recolhimento a leira tende a estar mais compacta, devido ao murchamento das plantas no período de cura.

Nas cartas de controle para as perdas visíveis (PVA), invisíveis (PIA) e totais (PTA) (Figura 16), constatamos que a área 1 apresentou maior variabilidade de perdas, principalmente para perda invisível. Isso pode ser explicado pelas características físicas do solo, que embora tenham a mesma textura, a área 1 apresenta 12% a mais de argila que a área 2. Dessa forma, acreditamos que a textura do solo associada ao baixo teor de água no solo apresentou barreiras físico-mecânicas, uma vez que solos com altos teores de argila dificultam a retirada das plantas no processo de arranquio em condições de campo seco. Nessa condição, os valores de perdas invisíveis são mais altos em relação às perdas visíveis, assim como relatado por Zerbato *et al.* (2014) e Warner *et al.* (2015).

Constatamos que apenas o indicador de qualidade perdas invisíveis no arranquio apresentou instabilidade para a operação realizada com o arrancador 4x2 a 5 km h<sup>-1</sup> na área 1 e com o arrancador 2x1 a 5 km h<sup>-1</sup> e 4x2 a 5 km h<sup>-1</sup> na área 2, sugerindo fortes indícios para presença de causas especiais, como a interação da relação máquina-solo-planta (Figura 16). No presente trabalho, creditamos a instabilidade observada à alta variabilidade encontrada na avaliação da PIA (fator método). Ainda em relação à PIA, notamos que a interação de arrancador 4x2 e menor velocidade a 3 km h<sup>-1</sup> desempenharam um arranquio mais eficiente pois, além de apresentarem as menores variabilidades, os limites estão dentro de controle nas respectivas áreas.



**Figura 16.** Cartas de controle de valores individuais para perdas visíveis (a), invisíveis (b) e total (c).

A combinação de diferentes velocidades (3 e 5  $\text{km h}^{-1}$ ) e modelo de arrancador 4x2 reduziu os níveis de perdas visíveis, invisíveis e totais no arranquio. Assim a perda total de vagens diminuiu consideravelmente, exceto para a perda visível na área 1. Nesse cenário, a interação de largura de corte de 2x1 a 5  $\text{km h}^{-1}$  apresentou a menor variabilidade. Em contraste,

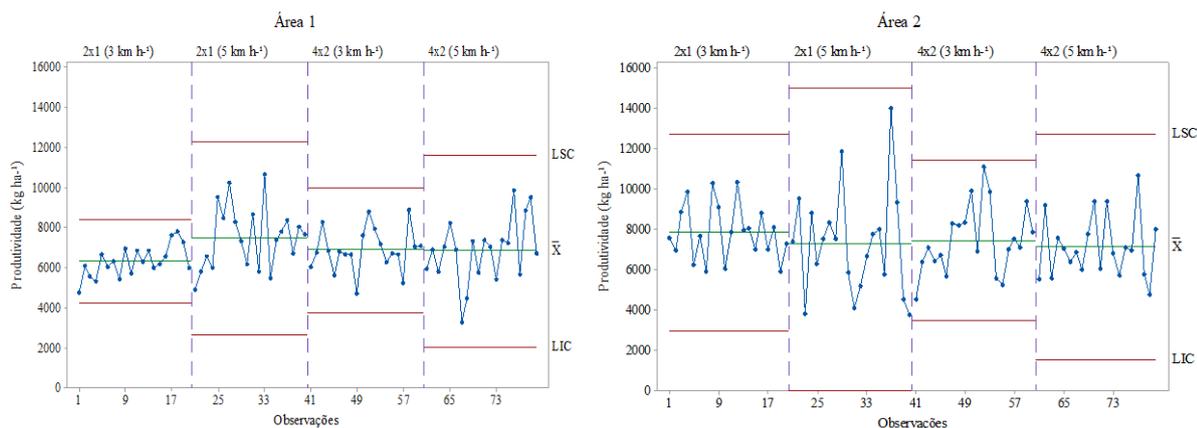
a utilização do maquinário 2x1 com as mesmas combinações de velocidade dificultou a otimização do processo, elevando os níveis de perdas visíveis, invisíveis e, conseqüentemente a perda total.

As perdas visíveis na combinação de diferentes velocidades e maquinários podem estar associadas com quantidade de material vegetal colhido, associado à vibração da esteira, o que dificulta o processo de reversão das plantas, uma vez que as lavouras de amendoim não possuem uniformidade na produção e na quantidade de matéria vegetal. No presente trabalho foram utilizados valores de rotação da esteira do arrancador de amendoim na ordem de 60 rpm e 50 rpm, para os modelos 2x1 e 4x2, respectivamente. Quando se utilizam menores rotações da esteira transportadora, as plantas ficam por mais tempo sob o processo de vibração da esteira e, conseqüentemente, ocorre maior desprendimento das vagens das plantas, principalmente das vagens com alto grau de maturação, elevando as perdas visíveis (SANTOS *et al.*, 2016; FERREZIN *et al.*, 2018).

Neste trabalho, a rotação da esteira do arrancador esteve estritamente condicionada à velocidade de deslocamento do trator, devido ao acionamento pela tomada de potência (TDP) e exigiu uma rotação de aproximadamente 350 rpm na TDP para que houvesse boa qualidade no processo de inversão. Esta rotação na TDP foi obtida mantendo-se a rotação dos motores dos tratores próximos a 1500 rpm. Porém, esta ocasionou a baixa rotação da esteira pois, de acordo com Ferrezin *et al.* (2018), a melhor qualidade do arranquio é obtida para rotações de esteira entre 80 e 120 rpm.

A frutificação subterrânea do amendoim oferece desafios quanto à sua produção: geralmente cresce e desenvolve-se mais e mais saudável em solos predominantemente arenosos (GODOY *et al.*, 2014). Desta forma, constatamos que o solo da área 2 (solo mais arenoso), apresentou os maiores valores de produtividade média, da ordem de 7801,80 kg ha<sup>-1</sup>, valor superior à área 1 que produziu 7473,27 kg ha<sup>-1</sup>. Além disso, a variabilidade que observamos também pode estar relacionada às características químicas e biológicas do solo.

O equilíbrio nutricional do solo associado à drenagem e sem restrições físicas favorece a ramificação da planta e a penetração do ginóforo no solo, o que tende a maximizar sua produtividade (NASCIMENTO *et al.*, 2010). A adequação das regulagens do maquinário às condições encontradas em campo é indispensável para a maximização da produtividade final. Caso contrário, a variabilidade da produtividade final da lavoura pode ser afetada, como pode ser observado nas cartas de controle para produtividade com influências das perdas no arranquio (Figura 17).



**Figura 17.** Cartas de controle de valores individuais para produtividade durante o arranquio de amendoim.

Além desses fatores, os desvios da linha de arranquio do conjunto mecanizado durante a operação devem receber atenção especial, uma vez que a operação leva em consideração o fato relacionado à experiência do operador. Desse modo, a maior experiência do operador diminui os desvios e, conseqüentemente, diminui as perdas totais provenientes do fator mão de obra. Nesse sentido alguns estudos demonstraram que o uso do piloto automático reduz a variabilidade nas perdas totais na lavoura de amendoim e aumenta a qualidade da operação, por reduzir os erros de paralelismo (ORTIZ *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2016).

### 4.3 Metodologia para avaliação da qualidade do processo de arranquio mecanizado de amendoim

A classificação da qualidade do processo foi obtida a partir dos valores dos Índices de Uniformidade (IDU) e de Variabilidade (IDV) obtidos (anexo 1). Por meio destes valores constatamos que a qualidade do processo foi de boa a ótima em todas as configurações de maquinários e velocidades de deslocamento para os IDU's e IDV's que compreendem a relação solo-máquina-planta no processo de arranquio mecanizado de amendoim (Tabela 5).

O IDU para o solo apresentou qualidade boa para as áreas 1 e 2 em todos os tratamentos, com exceção dos talhões colhidos com o arrancador 4x2 a 5 km h<sup>-1</sup> que apresentou ótima uniformidade na área 1 e 2. Para os indicadores de qualidade relacionados à planta, a uniformidade apresentou-se ótima em todas as áreas. Uma vez que os indicadores de qualidade do solo e da planta encontravam-se uniformes, constatamos que as condições para a realização do arranquio mecanizado eram adequadas para a obtenção de boa qualidade do processo de

colheita, ou seja, TAS e IC apresentaram pouca variabilidade, facilitando a operação de arranquio, apesar de o solo estar com baixa umidade.

Do ponto de vista de qualidade do processo, o arrancador 4x2 a 3 km h<sup>-1</sup> apresentou a melhor qualidade no arranquio de amendoim, com IDV classificado como ótimo para perdas, em ambas as áreas, embora a qualidade da leira formada tenha sido considerada boa nos talhões nas respectivas áreas. Entretanto, o arrancador 4x2 a 5 km h<sup>-1</sup> na área 2 também apresentou qualidade ótima. Em contraste, o arrancador 2x1 apresentou qualidade boa para as perdas (com exceção do talhão colhido a 5 km h<sup>-1</sup> que apresentou qualidade ótima na área 1), embora tenha apresentado qualidade ótima para uniformidade da leira nos talhões arrancados a 3 km h<sup>-1</sup>.

Esses resultados demonstram que, apesar de as leiras terem apresentado melhor qualidade em relação à altura e largura, para as áreas colhidas com diferentes arrancadores, isso não resultou em melhor qualidade para o indicador perdas no arranquio.

**Tabela 5.** Classificação da qualidade no arranquio mecanizado de amendoim.

Arrancador	Área 1				Área 2			
	IDU		IDV (Máquina)		Solo	Planta	Máquina	
	Solo	Planta	Leira	Perdas			Leira	Perdas
2x1 (3*)	Boa	Ótima	Ótima	Boa	Boa	Ótima	Ótima	Boa
2x1 (5**)	Boa	Ótima	Boa	Ótima	Boa	Ótima	Boa	Boa
4x2 (3*)	Boa	Ótima	Ótima	Ótima	Boa	Ótima	Boa	Ótima
4x2 (5**)	Ótima	Ótima	Boa	Boa	Ótima	Ótima	Ótima	Ótima

\* 3 km h<sup>-1</sup>; \*\* 5 km h<sup>-1</sup>

Em síntese, o tipo de arrancador e a velocidade de deslocamento não exprimiram efeitos negativos sobre os indicadores de qualidade no processo de arranquio mecanizado do amendoim. Portanto, recomendamos a utilização de ambos, a depender das condições de cultivo, disponibilidade de maquinários e a necessidade de cada produtor. Do ponto de vista de capacidade operacional, considerando o sistema de produção de amendoim no Brasil, a utilização do arrancador 4x2 a 5 km h<sup>-1</sup> é a mais adequada, tendo em vista que o cultivo do amendoim é frequentemente em reformas de canaviais e as áreas precisam ser liberadas num curto prazo de tempo.



## 5. CONCLUSÃO

A metodologia desenvolvida foi capaz de avaliar a qualidade no processo de arranquio de amendoim, e a melhor qualidade foi obtida para o arrancador 4x2 a 3 km h<sup>-1</sup> na área 1 e para o arrancador 4x2 a 5 km h<sup>-1</sup> na área 2. No entanto, é necessário torná-la ainda mais robusta.

Sob o ponto de vista do Controle Estatístico de Processos, as cartas de controle permitiram a variabilidade do processo e a detecção de causas especiais nos indicadores de uniformidade intrínsecos ao solo (teor de água no solo e resistência mecânica do solo à penetração) e ao maquinário (altura e largura de leira e perdas invisíveis).

Os maiores percentuais de perdas visíveis, invisíveis e totais foram obtidos quando realizado o arranquio de amendoim com arrancador 2x1 a 3 km h<sup>-1</sup> (área 1) e 5 km h<sup>-1</sup> (área2).

Vale ressaltar que mais estudos são necessários para entender o comportamento da variabilidade de perdas no processo de arranquio mecanizado do amendoim, tendo em vista a incipiência de trabalhos para a cultura, e principalmente, por apresentar características distintas em função das cultivares e das condições edafoclimáticas, a fim de obter maiores informações para melhor qualidade de colheita.



## REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, B.; DHUNGANA, S. K.; ALI, M. W.; ADHIKARI, A.; KIM, I. D.; SHIN, D. H. Resveratrol, total phenolic and flavonoid contents, and antioxidant potential of seeds and sprouts of Korean peanuts. **Food science and biotechnology**, v. 27, n. 5, p. 1275-1284, 2018.
- ALBIERO, D.; MACIEL, A. J. D. S.; MILAN, M.; MONTEIRO, L. D. A.; MION, R. L. Avaliação da Distribuição de Sementes por Uma Semeadora de Anel Interno Rotativo Utilizando Média Móvel Exponencial. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 1, p. 86-95, 2012.
- APARECIDO, L. E. O.; LORENÇONE, J. A.; LORENÇONE, P. A.; MENESES, K. C.; SILVA, J. R. C. M. Climate risk to peanut cultivation in Brazil across different planting seasons. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 12, p. 5002-5015, 2021.
- BARBOSA, R. M.; HOMEM, B. F. M.; TARSITANO, M. A. A. Custo de produção e lucratividade da cultura do amendoim no município de Jaboticabal, São Paulo. **Revista Ceres**, v. 61, n.4, p. 475-481, 2014.
- BEHERA, B. K.; BEHERA, D.; MOHAPATRA, A. K.; SWAIN, S.; GOEL, A. K. Performance evaluation of a bullock drawn groundnut digger. **Environment and Ecology**, v.26, n.3A, p.1226-1229, 2008.
- BERTONHA, R. S.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; NASCIMENTO, J. M.; CAVICHOLI, F. A. Perdas e teor de água das vagens no arranquio mecanizado de amendoim. **Energia na Agricultura**, v. 29, n. 3, p. 167-173, 2014.
- BEUTLER, A. N.; FREDDI, S. O.; LEONEL, C. L.; CENTURION, J. F. Densidade do solo relativa e parâmetro “S” como indicadores da qualidade física para culturas anuais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 2, p. 27-36, 2008.
- BORBA, M. A. D. P. **Tempos e movimentos na colheita mecanizada do amendoim em função dos formatos dos talhões**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2018.
- BRAGACHINI, M. E.; PEIRETTI, J. **Mejoras en la Eficiencia de Cosecha de Maní. Gacetilla de Prensa: 09/2008 – Marzo 2008**. Disponível em: [http://www.cosechaypostcosecha.org/data/gacetillas/2019/20190319\\_maní.a.sp](http://www.cosechaypostcosecha.org/data/gacetillas/2019/20190319_maní.a.sp). Acesso em 02 mar. 2023.
- BRITO FILHO, A. L. D. **Qualidade operacional do recolhimento mecanizado do amendoim em três sistemas de preparo de solo**. 2021. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2021.
- BRITO FILHO, A. L.; MORLIN, F. C.; SOUZA, J. B. C.; ALMEIDA, S. L. H., LENA, B. P.; SILVA, R. P. Does the Soil Tillage Affect the Quality of the Peanut Picker? **Agronomy**, v. 13, n. 4, p. 1024, 2023.

BUNHOLA, T. M.; BORBA, M. A. P.; OLIVEIRA, D. T.; ZERBATO, C.; SILVA, R. P. Mapas temáticos para perdas no recolhimento em função da altura da leira. In: XIV Encontro sobre a Cultura do Amendoim, 2017, Jaboticabal. XIV Encontro sobre a Cultura do Amendoim, 2017. Jaboticabal. **Anais eletrônico...** Jaboticabal: UNESP/FCA, 2018. Disponível em: <https://proceedings.science/encontro-amendoim-2017/trabalhos/mapas-tematicos-para-perdas-no-recolhimento-em-funcao-da-altura-da-leira?lang=pt-br>. Acesso em 30 jan. 2023.

CÂMARA, G. M. S.; FREITAS F. G.; MINOTTI D.; HEIFFIG L. S. Determinações de perdas na colheita do amendoim (*Arachis hypogaea* L.). In: Resumos do 2º Simpósio do agronegócio de plantas oleaginosas: matérias-primas para biodiesel, 2006, Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2006. p. 32-34.

CAVICHIOLO F. A.; ZERBATO C.; BERTONHA R. S.; SILVA R. P. Perdas quantitativas de amendoim nos períodos do dia em sistemas mecanizados de colheita. **Científica**, v.42, n.3, p.211–215, 2014.

CHAPIN, J. W.; THOMAS, J. S. Effect of fungicide treatments, pod maturity, and pod health on peanut peg strength. **Peanut Science**, v.32, n.2, p. 119-125, 2005.

CHEN, M.; ZHAI, X.; ZHANG, H.; YANG, R.; WANG, D.; SHANG, S. Study on control strategy of the vine clamping conveying system in the peanut combine harvester. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 178, p. 105744, 2020.

COLVIN, B. C.; TSENG, Y.; TILLMAN, B. L.; ROWLAND, D. L.; ERICKSON, J. E.; CULBREATH, A. K.; FERRELL, J. A. Consideration of peg strength and disease severity in the decision to harvest peanut in southeastern USA. **Journal of Crop Improvement**, v.32, n.3, p. 287-304, 2018.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: safra 2022/23, sexto levantamento**, Brasília, DF, v. 10, n. 6, 2023.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos e análise de solo**. (2ª ed.). Rio de Janeiro: RJ, 1997. Cap.1.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 3rd ed. Rev. ampl.; Brasília: EMBRAPA, 2013. 353p.

FEREZIN, E. **Sistema eletrohidráulico para acionamento da esteira vibratória d arrancador-invertedor de amendoim**. 2015. Tese (Doutorado em Agronomia) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2015.

FEREZIN, E.; SILVA, R. P.; SANTOS, A. F.; ZERBATO, C. Development of an electrohydraulic drive system for the vibrating conveyor belt of the peanut digger-inverter. **Plos one**, v. 13, n. 10, p. e0203300, 2018.

GAO, L.; CHEN, Z.; CHARLES, C. H. E. N. Development course of peanut harvest mechanization technology of the United States and enlightenment to China. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 33, n. 12, p. 1-9, 2017.

GÍRIO, L. A. S.; MENEZES, P. C.; ZERBATO, C.; SANTIAGO, L.; RINCÃO, R. O.; SILVA, R. P. Força de destacamento de vagens de amendoim de acordo com a maturação e a relação

com o comprimento do ginóforo. In: XV Encontro sobre a cultura do Amendoim, 2018, Jaboticabal. **Anais eletrônico...** Jaboticabal: UNESP/FCA, 2018. Disponível em: <https://proceedings.science/encontro-amendoim-2018/trabalhos/forca-de-destacamento-de-vagens-de-amendoim-de-acordo-com-a-maturacao-e-a-relaca?lang=pt-br>. Acesso em: 30 jan. 2023.

GODOY, I. J.; MORAES A. R. A.; SANTOS J. F.; MICHELOTTO, M. D.; BOLONHEZI, D.; FREITAS, R. S.; CAVICHIOLI, J. C.; CARVALHO, C. R. L.; MARTINS, A. L. M. **Cultivares de amendoim alto oleicos: uma inovação para o mercado produtor e consumidor brasileiros.** O agrônomo. 2018. Disponível em: <http://oagronomico.iac.sp.gov.br/?p=1148>. Acesso em 27 jan. 2022.

GODOY, I. J.; BOLONHEZI, D.; MICHELOTTO, M. D.; FINOTO, E. L.; KASAI, F. S.; FREITAS, R. S. Amendoim, *Arachis hypogaea* L. In: Aguiar, A. T. E.; Gonçalves, C.; Paterniani, M. E. A. G. Z.; Tucci, M. L. S.; Castro, C. E. F. Boletim IAC 200: **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas.** 7.<sup>a</sup> Ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agrônomo, p. 22-27, 2014.

IAC – Instituto Agrônomo Campinas. Cultivares IAC de Amendoim: Alta produtividade e padrão alto oleico, 2023. 1 folder.

INCE, A.; GUZEL, E. Effects of gynophore breaking resistance on losses in mechanized peanut harvesting. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CROP HARVESTING AND PROCESSING, 2003, Louisville, Kentucky. **Proceedings...** St Joseph: ASABE. p. 1103, 2003.

JOÃO, I. S.; LOURENZANI, W. L. Análise SWOT do sistema agroindustrial do amendoim na região de Tupã e Marília-SP. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v.13, n.2, p. 243-256, 2011.

LEITE, L. M. F. **Implantação do controle estatístico no processo de caleação da fabricação de açúcar.** 2019. 86 f. (Dissertação) - Universidade de Uberaba, Uberaba. 2019.

LEONEL, C. L.; CENTURION, M. A. P. C.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; FREDDI, O. D. S. Relação da compactação do solo com a cultura do amendoim. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 2, p. 70-81, 2007.

MAHL, D.; JORGE, A. C.; ALMEIDA, T. F.; SILVA, R. P.; SERON, C. C. Perdas no arranquio mecanizado do amendoim em função da velocidade de deslocamento e espaçamento entre hastes. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 38., 2009, Petrolina. **Anais...**, Jaboticabal: SBEA, 2009. 1 CD-ROM.

MENEZES, P. C. D.; SILVA, R. P. D.; CARNEIRO, F. M.; GÍRIO, L. A. S.; OLIVEIRA, M. F. D.; VOLTARELLI, M. A. Can combine headers and travel speeds affect the quality of soybean harvesting operations? **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.10, p. 732–738, 2018.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments.** 6th ed. Hoboken, NJ: Wiley. 2009. p 179-268.

NASCIMENTO, I. S.; MONKS, P. L.; VAHL L. C.; COELHO, R. W.; SILVA, J. B.; FISCHER, V. Aspectos qualitativos da forragem de amendoim forrageiro cv. Alqueire-1 sob manejo de corte e adubação PK. **Revista Agrociência**, v.16, n.1, p. 117- 123, 2010.

NORONHA, R. H. F.; OLIVEIRA, M. F.; MENDES, A. L.; DAMASCENO, A. F.; ZERBATO, C.; FURLANI, C. E. A. Application of signal correction for Sphenophorus levis control and higher quality production in mechanized harvesting of sugarcane ratoon. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 12, p. 1936, 2019.

OLIVEIRA, B. R.; TAVARES, T. D. O.; OLIVEIRA, L. P.; SILVA, R. P.; CHICONE, L. C. Technical-economic viability of mechanized picking coffee (Coffea arabica L.) in up to three annual operations. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 18, n. 1, p. 0201, 2020.

ORMOND, A. T. S.; VOLTARELLI, M. A.; PAIXÃO, C. S. S.; ALCÂNTARA, A. S.; KAZAMA, E. H.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. Quality in mechanized harvest of corn sown in different speeds. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.15, n.3, p. 583–594, 2016.

ORMOND, A. T.; SANTOS, A. F.; ALCANTARA, A. S.; ZERBATO, C.; FURLANI, C. E. Tillage interference in the quality of peanut mechanized harvest. **Engenharia Agrícola**, v. 38, p. 251-259, 2018.

ORTIZ, B. V.; BALKCOM, K. B.; DUZY, L.; VAN SANTEN, E.; HARTZOG, D. L. Evaluation of agronomic and economic benefits of using RTK-GPS-based auto-steer guidance systems for peanut digging operations. **Precision agriculture**, v. 14, p. 357-375, 2013.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and earth system sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

REIS, M. A.; CORRÊA, L. N.; SANTOS, A. F.; SILVA, R. P. Peanut harvest quality: Relationship between soil tillage management and threshing systems. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 20, n. 3, p. e0206, 2022.

ROBERSON, G. T.; JORDAN, D. L. RTK GPS and automatic steering for peanut digging. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 30, n. 3, p. 405-409, 2014.

ROWLAND, D.L.; R.B. SORENSEN, C.L; BUTTS; W.H. FAIRCLOTH. Determination of maturity and degree day indices and their success in predicting peanut maturity. **Peanut Science**, v. 33, p. 125-136, 2006.

SAMPAIO, R. M.; FREDO, C. E. Características socioeconômicas e tecnologias na agricultura: Um estudo da produção paulista de amendoim a partir do levantamento das unidades de produção agropecuária (LUPA) 2016/17. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, n. 4, p. 1-15, 2021.

SANDERS, T. H.; SHUBERT, A. M.; PATTEE, H. E. Maturity methodology and postharvest physiology. In: Pattee, H.E., Young, C.T., editors. **Peanut science and technology**. Yoakum: American Peanut Research and Education Society, Inc; p. 625- 627, 1982.

SANTOS, A. F. D. **Método não destrutivo para predição da maturação de amendoim (arachis hypogaea L.) utilizando sensoriamento remoto**. 2019. Tese (Doutorado em Agronomia) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2019.

SANTOS, A. F. D.; ALCÂNTARA, A. S.; CORRÊA, L. N.; QUEIROZ, R. F. D.; SILVA, R. P. D. Does moisture in pods interfere with mechanized harvesting of peanuts? **Engenharia Agrícola**, v. 41, p. 98-106, 2021a.

SANTOS, A. F.; KAZAMA, E. H.; ORMOND, A. T. S.; TAVARES, T. O.; SILVA, R. P. Quality of mechanized peanut digging in function of the auto guidance. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 48, p. 4894-4901, 2016.

SANTOS, A. F.; LACERDA, L. N.; GOBBO, S.; TOFANNIN, A.; SILVA, R. P.; VELLIDIS, G. USING remote sensing to map in-field variability of peanut maturity. In: **Precision agriculture'19**. Wageningen Academic Publisher, p. 91-101, 2019.

SANTOS, A. F.; OLIVEIRA, L. P.; DE OLIVEIRA, B. R.; ORMOND, A. T. S.; SILVA, R. P. Can Digger Blades Wear Affect the Quality of Peanut Digging? **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 29, p. 49-57, 2021b.

SANTOS, A. F.; SILVA, R. P.; ZERBATO, C.; MENEZES, P. C.; KAZAMA, E. H.; PAIXÃO, C. S. S.; VOLTARELLI, M. A. Use of real-time extend GNSS for planting and inverting penuts. **Precision Agriculture**, v. 19, p. 1-17, 2018.

SANTOS, E. P.; SILVA, R. P.; BERTONHA, R. S.; NORONHA, R. H.; ZERBATO, C. Produtividade e perdas de amendoim em cinco diferentes datas de arranquio. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 4, p. 695-702, 2013.

SANTOS, E. P.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; BERTONHA, R. S.; MEDEIROS, R. S. Perdas na colheita mecanizada de amendoim. In: Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola, 9., 2010. **Anais...** Vitória: SBEA, 2010. 1 CD-ROM.

SEBASTIÁN, M.; GAMBA, J.; ILLA, C.; MARTÍN, M. P.; PEREZ, M. A. Efecto del momento de arrancado y la permanencia del cultivo en andana sobre el rendimiento, calidad lipídica y sanidad del grano de maní. **AgriScientia**, v. 38, n. 2, p. 117-125, 2021.

SILVA, A. C.; COSTA, D. S.; BARBOSA, R. M.; LAZARINI, E. Cobalto e molibdênio via foliar em amendoim: características agrônômicas da produção e potencial fisiológico das sementes. **Biotemas**, v.25, n.2, p. 9–15, 2012.

SILVA, P. C. G.; TIRITAN, C. S.; ECHER, F. R.; CORDEIRO, C. F. S.; REBONATTI, M. D.; SANTOS, C. H. No-tillage and crop rotation increase crop yields and nitrogen stocks in sandy soils under agroclimatic risk. **Field Crops Research**, v. 258, p. 107947, 2020

SILVA, R. P. Colheita mecanizada de amendoim. In: Silva R. P.; Santos A. F.; Carrega W. C. (Eds.) **Avanços na produção de amendoim**. Jaboticabal: FUNEP, 2019. p. 129–141.

SILVA, R. P.; MAHL, D. **Relatório do projeto de pesquisa**: Perdas na colheita mecanizada do amendoim safra 2007/2008. Relatório de Pesquisa. Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola – LAMMA. Jaboticabal, 47p. 2008.

SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA. **Meiosi: sistema antigo volta a ser opção para aumentar produtividade da cana**. 2016. Disponível em: <https://www.sna.agr.br/meiosi->

sistema-antigo-volta-a-ser-opcao-para-aumentar-produtividade-da-cana/. Acesso em: 7 jan. 2023.

SUASSUNA, T. D. M. F.; SUASSUNA, N. D.; BOGIANI, J. C.; PERINA, F.; FRAGOSO, D. D. B.; SOFIATTI, V.; ... BEZERRA, J. R. C. BRS 425: the first runner peanut cultivar related to wild ancestral species. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, p. 373-377, 2019.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. **Water resources research**, v. 16, n. 3, p. 574-582, 1980.

TORRENZANI, L.; KIELING, A. C.; SILVA, R. N. A.; FREITAS, B. M. Carta de controle para análise da estabilidade de processo em ICP-OESi. **American Research Thoughts**, v. 1, n. 11, p. 2602-2620, 2015.

TROEGER, J. M.; WILLIAMS, E. J.; BUTLER, J. L. Factors affecting peanut peg attachment force. **Peanut Science**, v.3, n.1, p. 37-40, 1976.

VOLTARELLI, M. A.; SILVA, R. P.; CASSIA, M. T.; ORTIZ, D. F.; TORRES, L. S. Qualidade do corte basal de cana-de-açúcar utilizando-se de três modelos de facas. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 6, p. 528-541, 2015.

WARNER, A. C.; KIRK, K. R.; THOMAS, J. S.; WHITE, J. W.; MASSEY, H. F.; FOGLE, B. Peanut Digging Losses Across Soil Moisture Contents. In: **2015 ASABE Annual International Meeting**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 1, 2015.

WILLIAMS, E. J.; DREXLER, J. S. A non-destructive method for determining peanut pod maturity. **Peanut Science**, v. 8, n. 2, p. 134-141, 1981.

XU, H.; ZHANG, P.; HU, Z.; MAO, E.; YAN, J.; YANG, H. Analysis of dust diffusion from a self-propelled peanut combine using computational fluid dynamics. **Biosystems Engineering**, v. 215, p. 104-114, 2022.

ZERBATO, C.; FURLANI, C. E. A.; OLIVEIRA M. F. D.; VOLTARELLI, M. A.; TAVARES T. O.; CARNEIRO, F. M. Quality of mechanical peanut sowing and digging using autopilot. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 8, p. 630-637, 2019.

ZERBATO, C.; FURLANI, C. E. A.; ORMOND, A. T. S.; GÍRIO, L. A. D. S.; CARNEIRO, F. M.; DA SILVA, R. P. Statistical process control applied to mechanized peanut sowing as a function of soil texture. **Plos one**, v. 12, n. 7, p. e0180399, 2017.

ZERBATO, C.; SILVA, V. F.; TORRES, L. S.; SILVA, R. P. D.; FURLANI, C. E. Peanut mechanized digging regarding to plant population and soil water level. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 459-465, 2014.

## ANEXO

**Tabela** - Resumo da avaliação dos indicadores de qualidade e notas atribuídas para variabilidade, estabilidade e instabilidade (área 1).

<b>IQ</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Média</b>	<b>LSC</b>	<b>LIC</b>	<b>Variabilidade</b>	<b>Est</b>	<b>Inst.</b>	<b>Nota 1 - Var</b>	<b>Nota 2 - EST</b>	<b>Nota 3 - INST</b>
<b>TAS</b>	2x1 (3 km h <sup>-1</sup> )	9,29	15,39	3,19	6,10	19	1	3	1	1
	2x1 (5 km h <sup>-1</sup> )	8,99	17,94	0,04	8,95	20	0	1	4	4
	4x2 (3 km h <sup>-1</sup> )	9,85	17,78	1,19	7,93	20	0	2	4	4
	4x2 (5 km h <sup>-1</sup> )	6,81	12,88	0,74	6,07	20	0	4	4	4
<b>IC</b>	2x1 (3 km h <sup>-1</sup> )	0,79	1,35	0,22	0,57	19	1	4	3	3
	2x1 (5 km h <sup>-1</sup> )	0,78	1,46	0,09	0,69	19	1	3	2	3
	4x2 (3 km h <sup>-1</sup> )	0,98	1,79	0,18	0,81	18	2	2	1	1
	4x2 (5 km h <sup>-1</sup> )	0,79	1,78	0,21	0,99	20	0	1	4	4
<b>FD</b>	2x1 (3 km h <sup>-1</sup> )	11,75	17,84	5,65	6,09	20	0	3	4	4
	2x1 (5 km h <sup>-1</sup> )	12,13	17,07	7,19	4,94	20	0	4	4	4
	4x2 (3 km h <sup>-1</sup> )	13,29	20,70	5,87	7,41	20	0	1	4	4
	4x2 (5 km h <sup>-1</sup> )	12,24	19,40	5,08	7,16	20	0	2	4	4
<b>Prod.</b>	2x1 (3 km h <sup>-1</sup> )	6322,00	8381,00	4263,00	2059,00	20	0	4	4	4
	2x1 (5 km h <sup>-1</sup> )	7496,00	12311,00	2681,00	4815,00	20	0	1	4	4
	4x2 (3 km h <sup>-1</sup> )	6900,00	10020,00	3781,00	3120,00	20	0	3	4	4
	4x2 (5 km h <sup>-1</sup> )	6847,00	11626,00	2067,00	4779,00	20	0	2	4	4
<b>AL</b>	2x1 (3 km h <sup>-1</sup> )	38,30	49,78	26,82	11,48	19	1	3	2	2
	2x1 (5 km h <sup>-1</sup> )	35,65	45,59	25,71	9,94	18	2	4	1	1
	4x2 (3 km h <sup>-1</sup> )	34,70	47,58	21,82	12,88	20	0	2	4	4
	4x2 (5 km h <sup>-1</sup> )	29,40	50,90	7,84	21,50	20	0	1	4	4
<b>LL</b>	2x1 (3 km h <sup>-1</sup> )	98,60	110,64	86,56	12,04	20	0	4	4	4
	2x1 (5 km h <sup>-1</sup> )	98,20	113,60	82,94	15,40	20	0	3	4	4
	4x2 (3 km h <sup>-1</sup> )	92,90	114,74	71,06	21,84	20	0	2	4	4
	4x2 (5 km h <sup>-1</sup> )	97,85	123,61	72,09	25,76	20	0	1	4	4
<b>PIA</b>	2x1 (3 km h <sup>-1</sup> )	392,00	927,00	0,00	535,00	20	0	1	4	4
	2x1 (5 km h <sup>-1</sup> )	441,00	943,00	0,00	502,00	20	0	2	4	4
	4x2 (3 km h <sup>-1</sup> )	217,00	458,00	0,00	241,00	20	0	4	4	4
	4x2 (5 km h <sup>-1</sup> )	327,00	628,00	0,00	301,00	19	1	3	1	1
<b>PVA</b>	2x1 (3 km h <sup>-1</sup> )	234,40	521,50	0,00	287,10	20	0	1	4	4
	2x1 (5 km h <sup>-1</sup> )	234,90	440,50	29,30	205,60	20	0	4	4	4
	4x2 (3 km h <sup>-1</sup> )	218,70	468,50	0,00	249,80	20	0	3	4	4
	4x2 (5 km h <sup>-1</sup> )	263,20	526,40	0,00	263,20	20	0	2	4	4
<b>PTA</b>	2x1 (3 km h <sup>-1</sup> )	627,00	1230,00	23,00	603,00	20	0	1	4	4
	2x1 (5 km h <sup>-1</sup> )	675,00	1232,00	119,00	557,00	20	0	2	4	4
	4x2 (3 km h <sup>-1</sup> )	436,00	833,00	38,00	397,00	20	0	4	4	4
	4x2 (5 km h <sup>-1</sup> )	590,00	1091,00	89,00	501,00	20	0	3	4	4

**Tabela** - Resumo da avaliação dos indicadores de qualidade e notas atribuídas para variabilidade, estabilidade e instabilidade (área 2).

<b>IQ</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Média</b>	<b>LSC</b>	<b>LIC</b>	<b>Variabilidade</b>	<b>Est</b>	<b>Inst.</b>	<b>Nota 1 - Var.</b>	<b>Nota 2 - EST</b>	<b>Nota 3 - INST</b>
<b>TAS</b>	2x1 (3 km h <sup>-1</sup> )	7,94	14,07	1,79	6,13	20	0	2	4	4
	2x1 (5 km h <sup>-1</sup> )	6,76	12,12	1,40	5,36	20	0	4	4	4
	4x2 (3 km h <sup>-1</sup> )	9,32	15,40	3,24	6,08	19	1	3	3	1
	4x2 (5 km h <sup>-1</sup> )	7,05	13,21	0,89	6,16	20	0	1	4	4
<b>IC</b>	2x1 (3 km h <sup>-1</sup> )	1,02	1,88	0,17	0,85	19	1	2	2	2
	2x1 (5 km h <sup>-1</sup> )	0,90	1,65	0,14	0,76	19	1	3	1	2
	4x2 (3 km h <sup>-1</sup> )	1,01	1,86	0,15	0,85	20	0	2	4	4
	4x2 (5 km h <sup>-1</sup> )	0,87	1,53	0,21	0,66	20	0	4	4	4
<b>FD</b>	2x1 (3 km h <sup>-1</sup> )	11,82	19,42	4,22	7,60	20	0	3	4	4
	2x1 (5 km h <sup>-1</sup> )	11,91	19,81	4,01	7,90	20	0	2	4	4
	4x2 (3 km h <sup>-1</sup> )	11,39	16,72	6,07	5,33	20	0	4	4	4
	4x2 (5 km h <sup>-1</sup> )	12,54	24,68	0,39	12,14	20	0	1	4	4
<b>Prod.</b>	2x1 (3 km h <sup>-1</sup> )	7843,00	12739,00	2949,00	4896,00	20	0	3	4	4
	2x1 (5 km h <sup>-1</sup> )	7307,00	14999,00	0,00	7692,00	20	0	1	4	4
	4x2 (3 km h <sup>-1</sup> )	7459,00	11452,00	3465,00	3993,00	20	0	4	4	4
	4x2 (5 km h <sup>-1</sup> )	7128,00	12717,00	1538,00	5589,00	20	0	2	4	4
<b>AL</b>	2x1 (3 km h <sup>-1</sup> )	31,25	42,73	19,77	11,48	20	0	3	4	4
	2x1 (5 km h <sup>-1</sup> )	18,80	27,90	9,70	9,10	19	1	4	1	1
	4x2 (3 km h <sup>-1</sup> )	28,95	49,39	8,51	20,44	20	0	1	4	4
	4x2 (5 km h <sup>-1</sup> )	26,50	42,74	10,26	16,24	20	0	2	4	4
<b>LL</b>	2x1 (3 km h <sup>-1</sup> )	103,05	117,47	88,63	14,42	20	0	3	4	4
	2x1 (5 km h <sup>-1</sup> )	90,20	104,06	76,34	13,86	20	0	4	4	4
	4x2 (3 km h <sup>-1</sup> )	98,60	115,40	81,80	16,80	19	1	2	2	1
	4x2 (5 km h <sup>-1</sup> )	82,00	103,00	61,00	21,00	20	0	1	4	4
<b>PIA</b>	2x1 (3 km h <sup>-1</sup> )	114,00	334,00	0,00	220,00	19	1	2	2	2
	2x1 (5 km h <sup>-1</sup> )	245,00	690,00	0,00	445,00	20	0	1	4	4
	4x2 (3 km h <sup>-1</sup> )	151,00	302,00	1,00	151,00	20	0	4	4	4
	4x2 (5 km h <sup>-1</sup> )	189,00	378,00	0,00	189,00	18	2	3	1	1
<b>PVA</b>	2x1 (3 km h <sup>-1</sup> )	152,30	408,30	0,00	256,00	20	0	2	4	4
	2x1 (5 km h <sup>-1</sup> )	238,80	536,00	0,00	297,20	20	0	1	4	4
	4x2 (3 km h <sup>-1</sup> )	186,30	383,40	0,00	197,10	20	0	3	4	4
	4x2 (5 km h <sup>-1</sup> )	194,90	348,00	41,80	153,10	20	0	4	4	4
<b>PTA</b>	2x1 (3 km h <sup>-1</sup> )	267,00	708,00	0,00	441,00	20	0	2	4	4
	2x1 (5 km h <sup>-1</sup> )	483,00	1105,00	0,00	622,00	20	0	1	4	4
	4x2 (3 km h <sup>-1</sup> )	337,00	644,00	31,00	307,00	20	0	3	4	4
	4x2 (5 km h <sup>-1</sup> )	384,00	683,00	84,00	299,00	20	0	4	4	4

**Tabela** - Valores dos Índices de Uniformidade (IDU) e de Variabilidade (IDV) para área 1 e 2.

<b>Arrancador</b>	<b>Área 1</b>				<b>Área 2</b>			
	<b>IDU</b>		<b>IDV (Máquina)</b>		<b>Solo</b>	<b>Planta</b>	<b>Máquina</b>	
	<b>Solo</b>	<b>Planta</b>	<b>Leira</b>	<b>Perdas</b>			<b>Leira</b>	<b>Perdas</b>
2x1 (3*)	0,63	0,96	0,79	0,75	0,67	0,92	0,92	0,72
2x1 (5**)	0,71	0,88	0,71	0,89	0,75	0,79	0,75	0,75
4x2 (3*)	0,58	0,83	0,83	0,97	0,71	1,00	0,58	0,94
4x2 (5**)	0,88	0,83	0,75	0,72	0,88	0,79	0,79	0,81