

Tecnologia para Decorticação da Castanha de Caju

Introdução

Existem diversos sistemas mecanizados de processamento da castanha de caju, porém o nível tecnológico desses equipamentos provoca perdas elevadas, sendo que o índice de amêndoas danificadas oscila entre 40 e 50%. Este baixo índice de amêndoas inteiras reduz o valor de vendas do produto no mercado internacional. O beneficiamento industrial da castanha, apesar de corresponder a 96% da produção brasileira, apresenta desafios quanto à qualidade final da amêndoa, especialmente quanto ao número de amêndoas inteiras e coloração final. Utiliza decortificador de múltiplos impactos aleatórios para romper a casca constituindo-se em um dos gargalos do processo.

Atualmente, a busca pela qualidade em produtos beneficiados, especialmente a castanha de caju, implica na necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias que reduzam os percentuais de amêndoas danificadas e resultem em produto de qualidade.

Assim, surgiu uma primeira proposta de se levantar as demandas específicas sobre os problemas relativos ao processamento da castanha de caju, com uma visita à Embrapa Agroindústria Tropical e à indústrias de beneficiamento do Ceará. Realizadas as visitas, o relatório indicou a possibilidade da construção de um protótipo de uma máquina automática, com uma concepção muito simples e diferente dos processos convencionais, para a abertura da castanha de caju, visando obtenção do maior número possível de amêndoas inteiras. O desenvolvimento teve então seu início com a aquisição dos materiais necessários, a construção nos laboratórios da Embrapa Instrumentação Agropecuária e o envolvimento efetivo da Feagri-Unicamp, com o projeto e dimensionamento do mecanismo e ensaios com castanhas.

Propriedades mecânicas do endocarpo e amêndoa da castanha de caju antes e após o tratamento térmico

A castanha de caju, composta pela casca (pericarpo), película e amêndoa apresenta particularidades em sua anatomia que influem na ruptura da casca e na liberação da amêndoa. A casca da castanha é composta pelo *epicarpo*, camada mais externa; pelo *mesocarpo*, camada alveolada intermediária contendo o Líquido da Casca da Castanha (LCC); e pelo *endocarpo*, camada fibrosa que oferece maior resistência mecânica, adjacente à amêndoa (Figura 1).

Foto: Arquivo



A castanha *in natura* apresenta características viscoelásticas que dificultam o seu beneficiamento. Para alterar essas características utiliza-se um tratamento térmico para tornar a casca mais frágil e, portanto, mais fácil de romper com pequena deformação. Os efeitos do tratamento térmico, no entanto, não devem se estender à amêndoa, evitando danos e conseqüente depreciação do seu valor.

O tratamento térmico pela imersão das castanhas no LCC em alta temperatura realizado na indústria de beneficiamento tem como objetivos tornar a casca frágil e promover uma maior separação entre casca e amêndoa, criando uma folga.

São Carlos, SP
Agostoo, 2005

Autores

Antonio Carlos de Oliveira Ferraz
Dr.
Faculdade de Engenharia
Agrícola, UNICAMP,
CEP 13083-970
Campinas, SP
carlos@agr.unicamp.br

Max César de Araújo
Dr.
Faculdade de Engenharia
Agrícola, UNICAMP,
CEP 13083-970
Campinas, SP
max@agr.unicamp.br

Clovis Isberto Biscegli
Físico, Dr.
Embrapa Instrumentação
Agropecuária, C.P. 741,
CEP 13560-970,
São Carlos, SP
clovis@cnpdia.embrapa.br

Ricardo Yassushi Inamasu
Eng. Mecânico, Dr.
Embrapa Instrumentação
Agropecuária, C.P. 741,
CEP 13560-970,
São Carlos, SP
Ricardo@cnpdia.embrapa.br

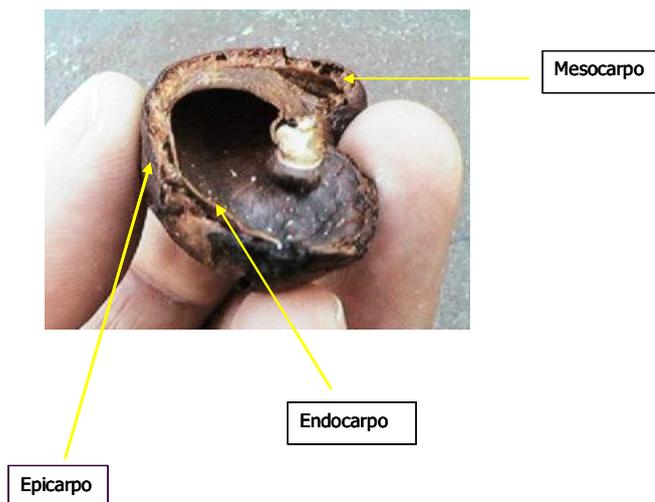


Figura 1. Parte da casca de uma castanha de caju após tratamento térmico em LCC, identificando o epicarpo, mesocarpo e endocarpo.

Preparação das castanhas para os ensaios de laboratório

Antes do tratamento térmico com o LCC, a castanha passa por um processo de umidificação com objetivo de facilitar a retirada do LCC da casca e deixar a amêndoa com grau de elasticidade mais acentuado, evitando assim, possíveis danos durante o beneficiamento.

Utilizou-se a metodologia de superfície de resposta para as comparações estatísticas dos pontos experimentais ensaiados. Estabeleceram-se assim, os períodos de umidificação de 72h, 79h, 86h, 93h, 100h e os tempos de residência no LCC de 120s, 135s, 150s 165s e 180s à 210°C. Para os ensaios de cisalhamento do endocarpo e de penetração da amêndoa foram utilizados todos estes tempos e períodos de umidificação, totalizando 11 tratamentos. O ponto central foi ensaiado em triplicata. Observa-se na Tabela 1 o arranjo experimental em função das variáveis estudadas.

As castanhas utilizadas no trabalho foram fornecidas pela Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza CE.

Para identificar as possíveis alterações nas dimensões, na massa e no volume das castanhas esses parâmetros foram observados e medidos antes e após tratamento térmico. Descreve-se a seguir as alterações nas propriedades mecânicas do endocarpo e amêndoa. Tabela 1. Planejamento experimental para avaliação do efeito combinado de umidificação e tratamento térmico submetido a castanha de caju 'CCP 76'

Ensaio	Variáveis	
	Tu (h)	Tr(s)
1	79	135
2	93	135
3	79	165
4	93	165
5	86	150
6	86	150
7	86	150
8	72	150
9	100	150
10	86	120
11	86	180

Tu - tempo de umidificação e Tr - Tempo de residência no LLC a 210°C

Avaliação das propriedades mecânicas do endocarpo

Após a preparação das castanhas em laboratório separaram-se as cascas das amêndoas através de um dispositivo de decorticação manual por lâmina (Figura 2). As cascas seguiram para uma escarificação com faca para retirada do epicarpo e mesocarpo, deixando apenas o endocarpo.



Figura 2. Vista do dispositivo de decorticação manual de castanha de caju

Avaliaram-se as propriedades mecânicas do endocarpo através dos resultados fornecidos pelos ensaios no dispositivo de cisalhamento construído para este fim (Figura 3).

Assim, o dispositivo de cisalhamento, mostrado na Figura 3, é composto por uma ponteira cilíndrica de 4mm de diâmetro (faca) e uma base com orifício central (contra-faca).

O dispositivo foi montado numa máquina universal de ensaios (OTTOWA TEXTURE MEASURING SYSTEM), com célula de carga 2500 N, adequada para medir e registrar valores de força e deformação durante o corte realizado a uma taxa de deformação constante de 1,5mm/s. Foram utilizadas vinte e cinco castanhas para cada tratamento.

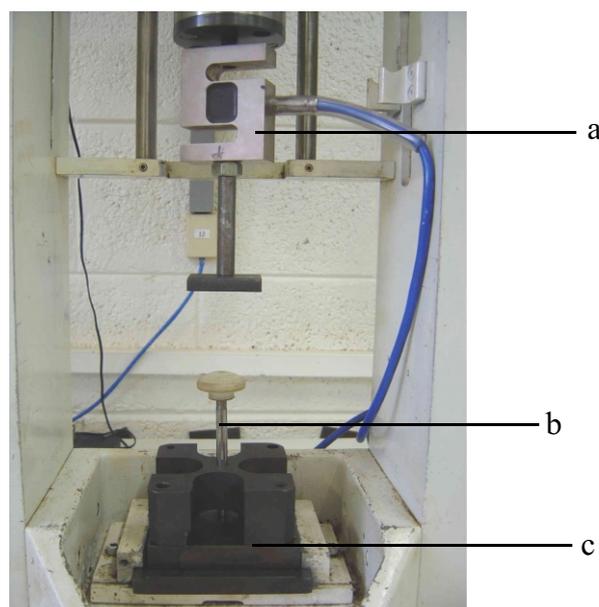


Figura 3. Vista do dispositivo de cisalhamento do endocarpo acoplado a máquina universal de ensaios mostrando a célula de carga (a), a ponteira (b) e a base plana(c).

Como exemplos das relações de força-deformação característica, apresentam-se, na Figura 4, algumas curvas obtidas no ensaio de cisalhamento do endocarpo com tratamento térmico, ensaio 1, e sem tratamento térmico, ensaio 12. Estas indicam que, quanto mais frágil o material, menor o nível de força de cisalhamento e de deformação específica correspondente. Para os demais tratamentos verificou-se comportamento semelhante.

As relações características de força-deformação, observadas nos ensaios realizados contribuíram para o entendimento do comportamento mecânico do endocarpo, indicando diferenças do material *in natura* quando comparado com o tratado termicamente.

Para a deformação específica (mm/mm), na força máxima, o ensaio 1, com tratamento térmico, e o ensaio 12, *in natura*, não apresentaram diferenças significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

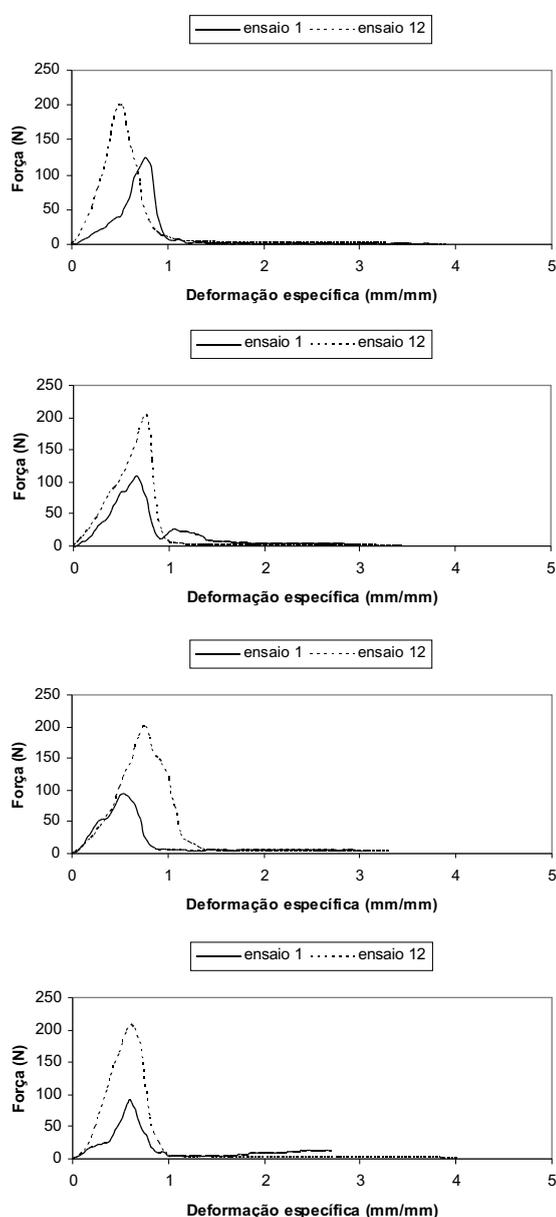


Figura 4. Relações força-deformação características, para o ensaio de cisalhamento do endocarpo com tratamento térmico, ensaio 1, e sem tratamento térmico, ensaio 12.

São apresentados na Tabela 2 os valores médios de força máxima, deformação específica e energia de deformação correspondentes, com seus respectivos coeficientes de variação para os ensaios realizados. A deformação específica apresentou menores coeficientes de variação indicando ser o melhor índice para a caracterização mecânica do endocarpo. O ensaio 1 foi o que apresentou menores níveis de força máxima e deformação específica correspondente, e o ensaio 12, *in natura*, os maiores níveis.

Tabela 2. Valores médios de força máxima (N), deformação específica correspondente (mm/mm) e energia de deformação (J) obtidos nos ensaios de cisalhamento do endocarpo em diversos tratamentos.

Ensaio	Força máxima (N)	Deformação específica (mm/mm)	Energia (J) x10 ⁻²
1	118,91 (24)	0,71 (23)	2,73 (32)
2	121,75 (21)	0,77 (17)	3,22 (36)
3	132,87 (22)	0,76 (19)	4,16 (40)
4	121,78 (26)	0,78 (14)	2,73 (30)
5*	142,02 (2)	0,84 (8)	4,25 (5)
8	120,26 (26)	0,78 (9)	2,86 (34)
9	122,84 (28)	0,79 (15)	3,77 (44)
10	145,11 (24)	0,75 (23)	3,79 (30)
11	126,14 (22)	0,79 (16)	3,16 (33)
12**	197,45 (13)	0,75 (18)	5,24 (23)

coeficiente de variação entre parênteses expresso em porcentagem
 * representa a média de três repetições do ponto central do planejamento experimental.
 ** representa a castanha *in natura*.

Uma vez que os fatores não foram significativos ($p \leq 0,05$) apresenta-se a tendência da superfície de resposta e curva de contorno para a deformação específica no endocarpo em função do tempo de umidificação e tempo de residência no LCC a 210°C, na Figura 5. Verifica-se que a região de mínimo esta abaixo da faixa estudada e que o ensaio 1, de menor deformação específica, é o que esta mais próximo da região desejada.

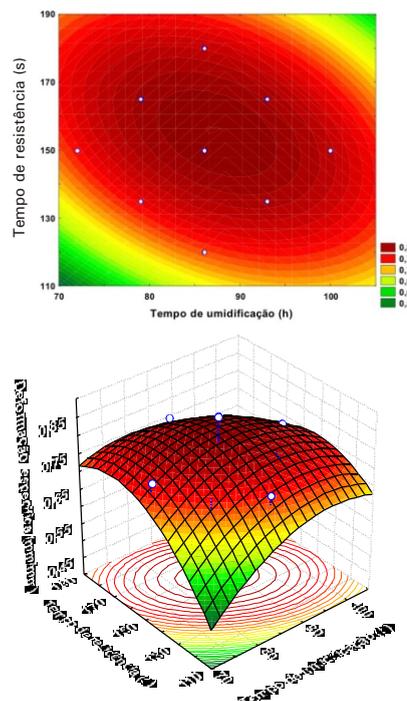


Figura 5. Tendência da superfície de resposta e curva de contorno para a deformação específica no endocarpo em função do tempo de umidificação e tempo de residência.

Avaliação das propriedades mecânicas da amêndoa

As amêndoas decorrentes da decorticação manual seguiram para o ensaio de penetração utilizando-se uma ponteira cilíndrica de diâmetro de 2mm acoplada a uma máquina universal de ensaios (TEXTURE ANALYSER), Modelo TA 500, Figura 6, com célula de carga de 50 N, para realizar penetração à taxa de deformação constante de 0,6mm/s e profundidade máxima de 30% da espessura da amêndoa. Realizou-se uma penetração em cada amêndoa utilizando-se vinte e cinco amêndoas para cada tratamento.



Figura 6. Vista da ponteira utilizada no ensaio de penetração da amêndoa.

Na Figura 7 observam-se algumas das relações características de força-deformação obtidas no ensaio de penetração da amêndoa, com tratamento térmico, ensaio 1 e sem tratamento térmico, ensaio 12. No geral, as relações características dos outros tratamentos apresentaram comportamentos semelhantes, ou seja, o ensaio 12, amêndoa *in natura*, os níveis de força foram sempre menores comparados com a amêndoa após tratamento térmico.

Entende-se que a amêndoa mais úmida deve apresentar uma menor rigidez implicando em menores níveis de força. Essa alteração na amêndoa pode ser evidenciada com as curvas características.

Após comparação de médias (Tukey, $p \leq 0,05$), entre os dados da energia, do ensaio 1, com tratamento térmico, e ensaio 12, *in natura*, não foram evidenciados diferenças significativas.

São apresentados na Tabela 3 os valores médios de força máxima e energia de deformação, com seus respectivos coeficientes de variação para os ensaios realizados. Os menores coeficientes de variação foram observados no parâmetro energia indicando ser o melhor, entre os índices considerados para a caracterização mecânica da amêndoa. O ensaio 1 foi o que apresentou menor índice de energia, por resultar numa amêndoa com uma menor rigidez. Vale ressaltar, que o ensaio 12 amêndoa *in natura*, apresentado na Tabela 3, foi utilizado somente para fins de comparação de médias pelo teste de Tukey a $p \leq 0,05$.

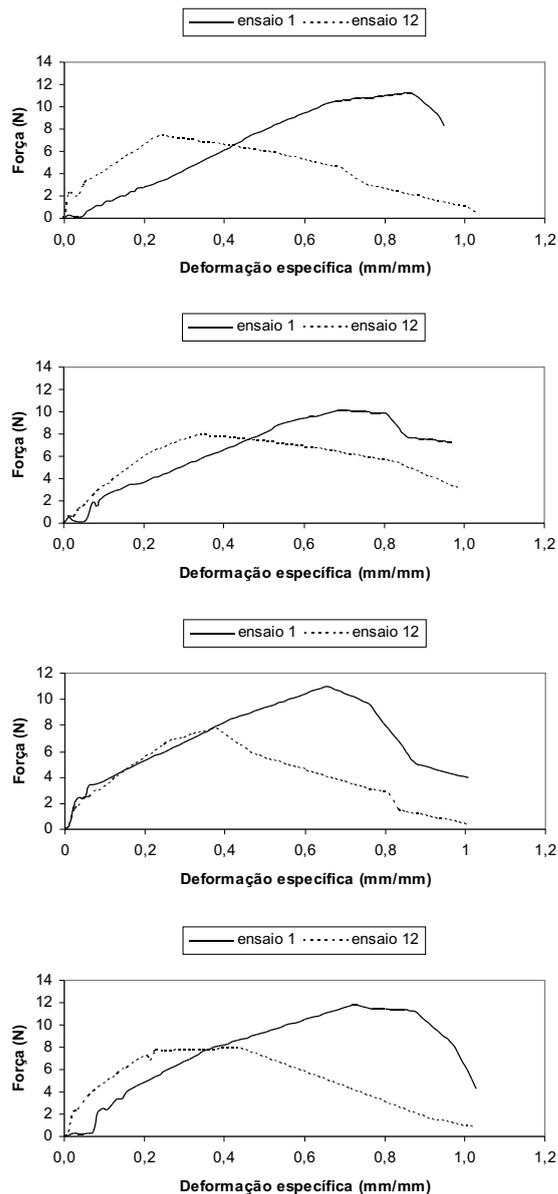


Figura 7. Relações força-deformação característica, para o ensaio de penetração da amêndoa com tratamento térmico, ensaio 1, e sem tratamento térmico, ensaio 12

Tabela 3. Valores médios de força máxima (N) e energia de deformação (J) da amêndoa da castanha de caju submetido ao ensaio de penetração em diversos tratamentos.

Ensaio	Força máxima (N)	Energia (J) x 10 ⁻²
1	4,57 (48)	2,26 (23)
2	5,25 (28)	2,60 (15)
3	4,95 (50)	2,95 (21)
4	5,15 (35)	2,57 (14)
5*	4,04 (18)	2,66 (4)
8	4,16 (48)	3,13 (19)
9	5,48 (43)	2,45 (18)
10	4,61 (55)	2,51 (14)
11	6,65 (34)	2,65 (24)
12*	2,44 (47)	2,27 (22)

coeficiente de variação entre parênteses expresso em porcentagem
* representa a média de três repetições do ponto central do planejamento experimental.

** representa a castanha *in natura*.

Como não se observou diferenças estatísticas a $p \leq 0,05$ nos fatores estudados apresenta-se na Figura 8 a tendência da superfície de resposta e a curva de contorno para a energia na amêndoa em função do tempo de umidificação e tempo de residência no LCC a 210°C, sugerindo que a menor energia encontra-se na região verde, com maior ou menor tempo de umidificação e de residência no LCC. O ponto experimental mais próximo do ótimo é o do ensaio 1, confirmando o que os dados apontaram na Tabela 3.

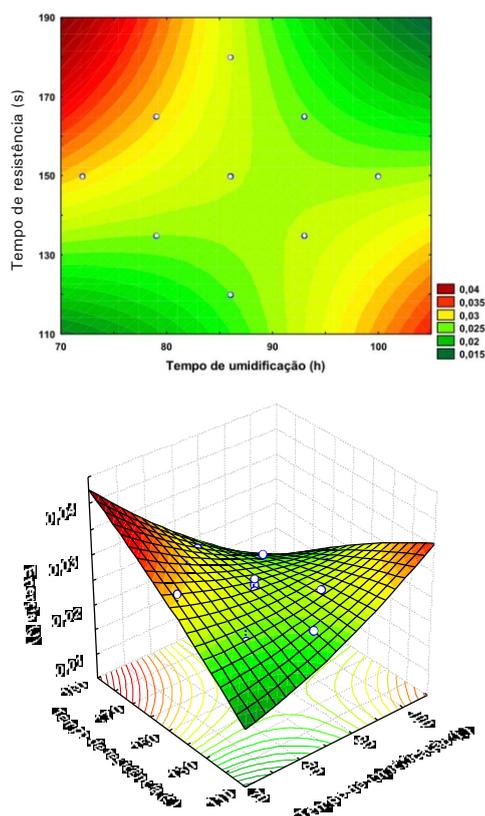


Figura 8. Tendência da superfície de resposta e curva de contorno para a energia na amêndoa em função do tempo de umidificação e tempo de residência.

Não foram evidenciadas diferenças significativas nas propriedades mecânicas da amêndoa da castanha de caju dentro da faixa estudada, indicando que características da amêndoa com menores tempos de umidificação são bastante semelhantes às amêndoas com os maiores tempos.

Deformação específica limite em diferentes tratamentos

Foi projetado e construído um dispositivo de impacto com o objetivo de determinar a deformação específica limite para rompimento da casca da castanha, com um único golpe.

O dispositivo (Figura 9) que imprime um golpe com deformação limitada, é composto por conduto vertical que permite deslizamento de martelo plano de aço 1020 de 722,5g atingindo a base a uma velocidade de 4,18 m/s. O conduto vertical é fixo na estrutura do dispositivo. O conjunto é rígido e suas deformações, no momento do impacto, são consideradas pequenas se comparadas, às

da castanha. O martelo é elevado manualmente por um sistema de cabo e polias e liberado para movimento em queda livre com altura de 918mm. Na extremidade inferior do conduto vertical localiza-se uma base plana de 203mm de diâmetro, com orifício central de 37 mm de diâmetro, onde está inserida uma plataforma de altura regulável. A superfície da base ajustável foi revestida por lixa nº 240 para aumentar o atrito e assim evitar o deslizamento da castanha. Essa parcela exposta representa a deformação máxima permitida no impacto com o martelo plano. É denominado também de deformação específica limite, quando expressa em porcentagem da largura.

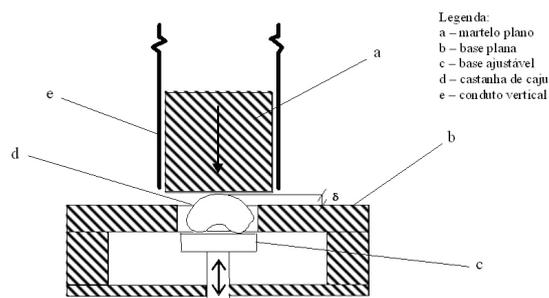


Figura 9. Representação esquemática do dispositivo de impacto mostrando a aplicação direcionada da força e deformação ().

Critério de avaliação da qualidade da ruptura da castanha e condição da amêndoa

Após o golpe, o martelo plano foi levantado e a castanha retirada do dispositivo para avaliação visual do efeito do impacto. Os efeitos do impacto foram avaliados segundo o seguinte critério: castanhas com *ruptura total da casca e amêndoa inteira liberada* (RtAi); castanhas com *ruptura parcial da casca e amêndoa protegida* (RpAp), tendo potencial de completar a ruptura através de solitação mecânica adicional; castanha com *ruptura parcial da casca e amêndoa exposta* (RpAe), mas sem potencial de completar a ruptura através de um impacto na mesma direção e *castanha com ruptura total da casca e amêndoa danificada* (RtAd).

O dispositivo construído para determinar a deformação específica limite mostrou-se eficiente na condução do ensaio, não apresentando dificuldades operacionais. No entanto, recomendam-se alguns cuidados, tais como: o ajuste de altura da base móvel para aplicação da deformação específica, a retirada e a limpeza periódica da base móvel, o lançamento do martelo plano a mesma altura e o levantamento do martelo logo após o impacto. Nas fotos (Figura 10) obtidas após o impacto direcionado ilustra-se cada classe estabelecida pelo critério de avaliação.

Realizaram-se os ensaios de impacto aplicando a deformação específica que apresentou o melhor resultado de *abertura total da casca e amêndoa inteira liberada* (RtAi), identificado no ensaio correspondente, 19% e apresentado no primeiro relatório. Para cada ensaio foram utilizadas 50 castanhas e para cada castanha a base móvel foi ajustada à deformação específica estabelecida. Aplicou-se a metodologia de superfície de resposta para identificar a melhor combinação de umidificação e tratamento térmico no ensaio de impacto.

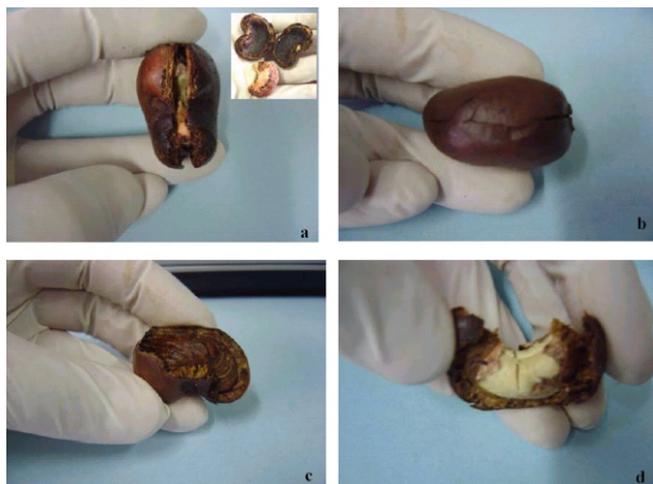


Figura 10. Castanhas submetidas ao ensaio de impacto, mostrando cada classe estabelecida. a - *ruptura total e amêndoa inteira*, b - *ruptura parcial e amêndoa protegida*, c- *ruptura parcial e amêndoa exposta*, d - *ruptura total e amêndoa danificada*.

Desempenho do impacto direcionado na abertura das castanhas

Mostra-se na Figura 11, o resultado da avaliação de desempenho na ruptura das castanhas através do ensaio de impacto direcionado para os diversos tratamentos realizados. O melhor desempenho de *ruptura total da casca com amêndoa inteira* foi do ensaio 1, com 87,5%, correspondendo ao menor valor de *ruptura parcial da casca e amêndoa protegida*, com 2,08% e de *ruptura total da casca e amêndoa danificada* 4,17%. O ensaio 3 apresentou o pior resultado de *ruptura total da casca com amêndoa inteira* 72,34%. O maior índice de amêndoas danificadas, 20% foi observado no ensaio 11 devido ao maior tempo de residência no LCC.

O efeito combinado do tempo de umidificação e de residência no LCC altera as características da castanha apontando para diferenças de desempenho nos diversos tratamentos estudados.

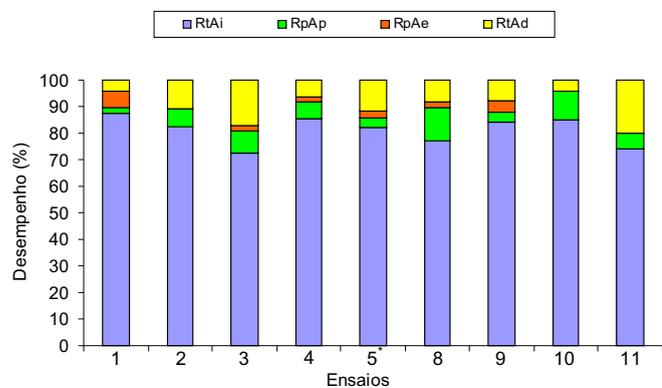


Figura 11. Desempenho da ruptura das castanhas através do impacto único e direcionado na *ruptura total da casca com amêndoa inteira* (RtAi), *ruptura parcial da casca com amêndoa protegida* (RpAp), *ruptura parcial da casca com amêndoa exposta* (RpAe) e *ruptura total da casca com amêndoa danificada* (RtAd), expresso em porcentagem, para a deformação específica de 19%.

Comparação do desempenho entre os diversos tratamentos

Ruptura total da casca com amêndoa inteira

Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de *ruptura total da casca e amêndoa inteira* no ensaio de impacto da castanha de caju indicam que os efeitos estimados foram não significativos ($p \leq 0,05$). Logo, apresenta-se na Figura 12 a tendência de superfície de resposta.

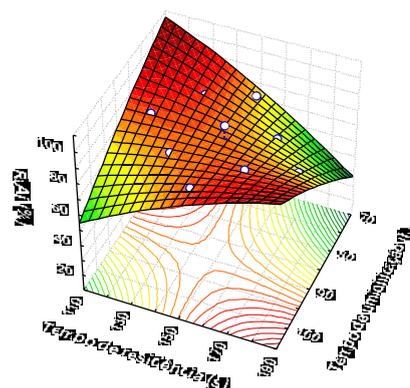
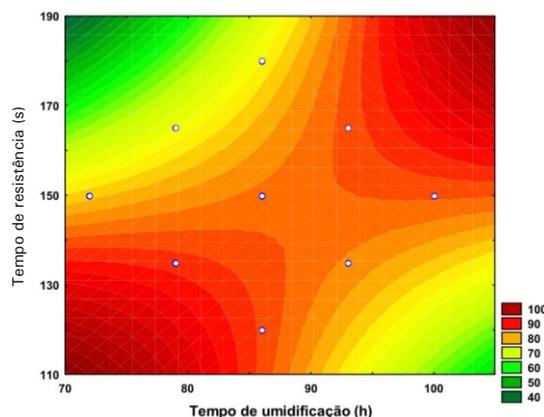


Figura 12. curva de contorno para a *ruptura total da casca e amêndoa inteira* em função do tempo de umidificação e tempo de residência no ensaio de impacto.

Para as respostas de *ruptura parcial da casca com amêndoa protegida*, *ruptura parcial da casca com amêndoa exposta* e *ruptura total da casca com amêndoa danificada*, obteve-se resultados semelhantes não apresentando diferenças estatísticas ao nível de 95% de confiança, gerando tendência da superfície de resposta.

Dados fornecidos pela indústria de beneficiamento mostram que o efeito combinado do tempo de umidificação e de residência no LCC a 210°C, é que oferece maior influência nas respostas estudadas, no entanto, a faixa de variação dos fatores escolhida para os testes, não apresentou diferenças estatisticamente significativas, implicando em resultados de desempenho muito próximos com combinações de umidificação e residência no LCC bem distintas.

Com base em todos os testes e resultados obtidos, descritos anteriormente, foi possível projetar e construir um protótipo de máquina para abrir a castanha de caju.

Observa-se na Figura 13 o protótipo construído mostrando seus principais componentes.

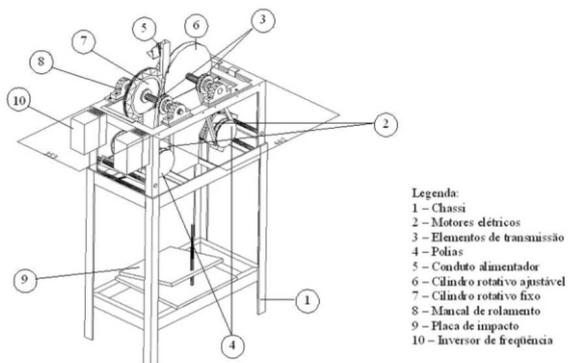


Figura 13. Decortificador para a ruptura da casca da castanha de caju por mecanismo cilíndrico de compressão, mostrando seus principais componentes.

Na Figura 14, observa-se a interação da castanha com cilindro decortificador (a) e placa de impacto (b).



Figura 14. Vista da interação entre castanha e cilindro decortificador (a) e da placa de impacto (b)

Resultado de desempenho a diferentes rotações

Trabalhando-se com rotação iguais (1300, 1400, 1500, 1600 e 1700rpm) obteve-se entre 10 e 44% de *ruptura total e amêndoa inteira*. Com o aumento da rotação dos cilindros observou-se um decréscimo no percentual de amêndoas inteiras. No entanto, trabalhando-se com rotações diferenciadas (1050rpm 1650rpm; 1150rpm 1450rpm e 1200rpm 1600rpm) identificou-se a melhor combinação em 1050rpm 1650rpm em função do percentual de amêndoas inteiras. Vale ressaltar, que as rotações diferenciadas acabam provocando um cisalhamento nas castanhas no momento em que estas passam pelos cilindros, tendo como efeito um aumento na eficiência do sistema de decorticação.

Partindo-se da melhor combinação identificada anteriormente, investigaram-se dois níveis acima e abaixo deste (Tabela 4) Os resultados apontam a rotação diferenciada 1150rpm 1750rpm com a de melhor desempenho em ruptura total da casca e amêndoa inteira.

Tabela 4. Desempenho do protótipo a várias rotações de trabalho com castanhas de tamanho médio entre 22,31 e 33,22mm.

Classes	Rotações (rpm)				
	950 - 1550	850 - 1450	1050 - 1650	1250 - 1850	1150 - 1750
Ruptura total amêndoa inteira (%) ¹	36,00	30,00	24,49	28,88	58,00
Ruptura parcial amêndoa protegida (%) ²	48,00	68,00	46,94	46,67	34,00
Ruptura parcial amêndoa exposta (%) ³	16,00	2,00	26,53	6,67	6,00
Ruptura total amêndoa danificada (%) ⁴	0,00	0,00	20,4	17,78	2,00

¹ Castanha com ruptura total da casca e amêndoa íntegra liberada; ² Castanha com ruptura parcial da casca, com potencial de abertura total através de solicitação mecânica adicional; ³ Castanha com rompimento parcial impossibilitando novo impacto na mesma direção; ⁴ Castanha com ruptura da casca e da amêndoa.

Resultado do cálculo estimado da velocidade da castanha

Encontrou-se uma velocidade média da castanha de 15,26 m/s no instante do impacto com a placa rígida.

Para a caracterização por tamanho dos lotes de castanhas utilizadas nos ensaios utilizou-se a dimensão ao longo de sua largura (dorso-hilo). Esta dimensão serviu de referência para aplicar a deformação específica limite pré-estabelecida de 19%.

Ensaio de desempenho do protótipo

As castanhas dos onze ensaios realizados, de acordo com o planejamento experimental, após os respectivos tempos de residência no LCC, apresentaram largura média de 29,17mm e o ajuste dos cilindros proporcionou uma deformação de 5,54mm. Foi utilizada a rotação diferenciada 1150rpm - 1750rpm, de acordo com o resultado do ensaio anterior.

Apresenta-se na Figura 15 a avaliação de desempenho do protótipo para todos os ensaios realizados. Obteve-se um percentual de 70,41% de *ruptura total da casca e amêndoa inteira liberada* para o ensaio 11, entretanto, obteve-se um percentual de 8,16% de amêndoas danificadas devido este lote de castanhas ter o maior tempo de residência no LCC. O menor índice de castanhas com *ruptura parcial da casca e amêndoa protegida*, 10,2%, foi para o ensaio 3. Para a resposta de castanha com *ruptura parcial da casca e amêndoa exposta* o menor índice, 4%, foi observado no ensaio 10. Verifica-se nos ensaios 1 e 9 a não ocorrência de amêndoas danificadas.

De modo geral, pode-se considerar o melhor experimento aquele que obteve o maior índice de amêndoas inteiras combinado com o menor percentual de danos as amêndoas, com isso, o ensaio 1 é o que apresenta o melhor resultado.

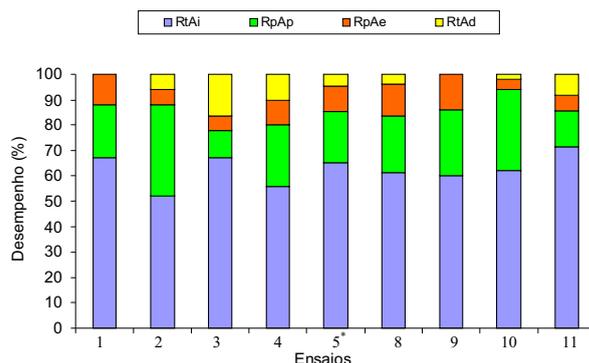


Figura 15. Desempenho do protótipo de decorticação na ruptura total da casca com amêndoa inteira (RtAi), ruptura parcial da casca com amêndoa protegida (RpAp), ruptura parcial da casca com amêndoa exposta (RpAe) e ruptura total da casca com amêndoa danificada (RtAd), expresso em porcentagem, numa deformação específica de 19% e rotação de 1150-1750rpm.

Resultado da análise estatística

Ruptura total da casca e amêndoa inteira

Como não houve diferenças estatísticas à $p \leq 0,05$, para as variáveis consideradas, pode-se apresentar a tendência da superfície de resposta e curva de contorno para *ruptura total da casca e amêndoa inteira* em função do tempo de umidificação e tempo de residência no LCC (Figura 16). Quando se desloca da região verde para a vermelha aumenta a resposta. Verifica-se que a região procurada, neste caso a de máximo, encontram-se na combinação do menor tempo de umidificação e de residência no LCC e no tempo médio de umidificação e máximo de residência. Este comportamento é encontrado próximo dos ensaios 1 e 11.

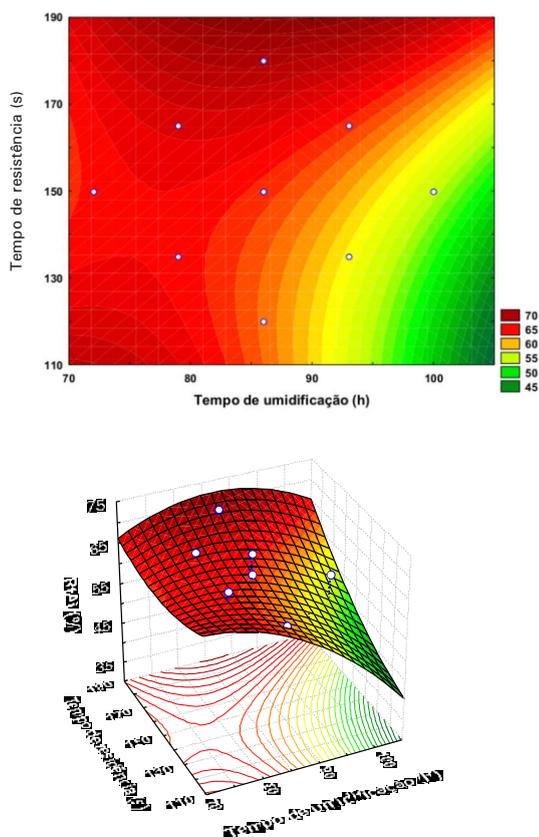


Figura 16. Tendência da superfície de resposta e curva de contorno para a ruptura total da casca e amêndoa inteira em função do tempo de umidificação e tempo de residência no ensaio do protótipo.

Para as respostas de *ruptura parcial da casca com amêndoa protegida*, *ruptura parcial da casca com amêndoa exposta* e *ruptura total da casca com amêndoa danificada*, obteve-se resultados semelhantes não apresentando diferenças estatísticas ao nível de 95% de confiança, gerando tendência da superfície de resposta.

Conclusões

As alterações nas dimensões da castanha após o tratamento térmico indicam que se deve realizar a classificação por tamanho antes da decorticação. Estas novas dimensões constituem parâmetro importante na decorticação.

Como o resultado da análise estatística não foi significativa ($p \leq 0,05$), para a combinação dos fatores, tempo de umidificação e de residência no LCC, são necessários novos estudos utilizando-se uma faixa de variação mais ampla para que se revele os pontos críticos do processo e permita inferir sobre minimização de custos e tempo de beneficiamento.

Considerações finais

- Os avanços alcançados durante este período do projeto foram bastante importantes, pois se investigou as características mecânicas da castanha de caju, até então pouco estudados, fornecendo subsídios para melhor manuseio quanto à preparação e decorticação. Resultou na confirmação do princípio de funcionamento de mecanismo decortificador baseado em deformação controlada aplicada transversalmente à castanha combinada a um impacto direcionado.
- O efeito das combinações de tempo de umidificação e residência no LCC estudados, não permitiram evidenciar diferenças a ponto de alterar o desempenho na decorticação. Isso aponta para a necessidade de estudos para estabelecer parâmetros de processo com maior economia de tempo e de energia.
- Após os tratamentos de umidificação e térmico, a variabilidade das propriedades mecânicas das castanhas aumentou. Isso sugere que apesar de condicionar o endocarpo para a ruptura, a preparação introduz componentes desconhecidos que aumentam a variabilidade e podem afetar o desempenho da decorticação.
- O desempenho do protótipo com relação a ruptura total da casca e liberação da amêndoa inteira, em uma única passada, superou o sistema utilizado atualmente. Destaca-se também, que a abertura com deformação controlada e um único impacto direcionado sugere menor agressão.

Referências Bibliográficas

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária (São Carlos, SP). Clóvis Isberto Biscegli; Antonio Carlos de Oliveira Ferraz; Max César de Araújo; Ricardo Yassushi Inamasu; Francisco Fábio de Assis Paiva. **Máquina decortadora da castanha de caju por mecanismo cilíndrico de compressão**. BR n. PI 012050000540, 25 abr. 2005.

COSTA, R. R. C. da. **Desenvolvimento de máquina semi-automática para descascamento de castanha de caju**. 120 f. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

FIGUEIREDO, F. J. S. de. **Análise e proposta de redesenho do posto de trabalho de corte da castanha de caju**. 123 f. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

JAIN, R. K.; KUMAR, S. Development of a cashew nut sheller. **Journal of food engineering**, Essex, v. 32, p. 339-345, 1997.

LOPES NETO, A. **A agroindústria do caju**. Fortaleza: IPLANCE, 1997. 263p.

PAIVA, F. F. de A.; GARRUTTI, D. dos S.; SILVA NETO, R. M. da. **Aproveitamento industrial do caju**. Fortaleza: Embrapa-CNPAT/SEBRAE/CE, 2000. 43p. (Embrapa-CNPAT. Documentos, 38).

RUSSEL, D. C. **Cashew nut processing**. FAO Agricultural Services Bulletin. n. 6, 1969. 86 p.

SANTOS, I. F. **Dinâmica de Sistemas Mecânicos: modelagem, simulação, visualização e verificação**. São Paulo: Makron Books, 2001.

SILVA, V. V. da. **Caju: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa SPI; Fortaleza: Embrapa-CNPAT, 1998. 220 p.

Circular Técnica, 26

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua XV de Novembro, 1542 - Caixa Postal 741
CEP 13560-970 - São Carlos-SP
Fone: 16 3374 2477
Fax: 16 3372 5958
E-mail: sac@cnpdia.embrapa.br
www.cnpdia.embrapa.br

1a. edição
1a. impressão 2005: tiragem 300

Comitê de Publicações

Presidente: Dr. Carlos Manoel Pedro Vaz
Secretária Executiva: Valéria de Fátima Cardoso
Membros: Dra. Débora Marcondes B. P. Milori,
Dr. João de Mendonça Naime,
Dr. Washington Luiz de Barros Melo

Membro Suplente: Dr. Paulo S. P. Herrmann Junior

Expediente

Supervisor editorial: Dr. Victor Bertucci Neto
Revisão de texto: Dr. Victor Bertucci Neto
Normalização bibliográfica: Valéria de Fátima Cardoso
Tratamento das ilustrações: Valentim Monzane
Editoração eletrônica: Valentim Monzane