



## **INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E MELHORIAS NO DESIGN DO FORNO DA CASA DE FARINHA**

**Sheila Cordeiro Mota (UFAM)**  
sheimota@yahoo.com.br

**Rubem César Rodrigues Souza (UFAM)**  
rubem\_souza@yahoo.com.br

*Este estudo compõe parte de um projeto de pesquisa na área de eficiência energética, que propõe desenvolver uma adaptação tecnológica do fogão a lenha de combustão por queima limpa e o forno tradicional de farinha de mandioca, buscando encontrar caminhos sustentáveis e ecologicamente corretos para se reduzir os impactos ambientais negativos causados pela atividade de produção de farinha de mandioca no Amazonas. Alguns problemas de ordem operacional no sistema foram detectados a partir de observações sistêmicas, onde se realizou uma intervenção ergonômica a fim de promover melhorias para a realização da tarefa. A projeção ergonômica proveu as bases que serviram de diretrizes para se conceber um novo design para o forno, cujo resultado se inspirou na filosofia da Bauhaus, que pontua sobre a forma como a resultante da função. Além disso, o projeto buscou respeitar a cultura local no que tange a estrutura produtiva da farinha de mandioca, onde a configuração do sistema deve refletir um significado comum aos usuários inseridos no processo de torrefação, uma vez que o foco do projeto se limita ao forno e a arquitetura da casa de farinha.*

*Palavras-chaves: Inovação tecnológica, Sustentabilidade, eficiência energética*

## 1. Introdução

Mediante as observações do sistema forno de casa de farinha, constataram-se problemas de variadas classes, que resultam em disfunções no sistema, tais como: desconforto térmico, poluição do ar, riscos e danos à saúde, riscos acidentais, além de causar ineficiência produtiva. As observações motivaram uma intervenção ergonômica que foi validada através de uma investigação experimental por meio de protótipos e testes, primando pela eficiência energética e produtiva, assim como às condições térmicas de isolamento, buscando corrigir o sistema e evitando assim os constrangimentos da tarefa, (MOTA, 2006).

A utilização do posto de trabalho forno de farinha de mandioca se faz necessária por se tratar de um instrumento diretamente ligado a cultura regional, no entanto a sua estrutura tal como ela se apresenta ainda é deficitária, podendo ser citado o subsistema da câmara de combustão da lenha ou fornalha, que causa desconforto térmico em função da incidência direta do calor disperso sobre o executor da tarefa, o que dificulta a utilização efetiva da área acional do sistema, facultando acidentes por meio das paredes e da chapa super aquecidas, ardor nos olhos devido à fumaça inalada. Com base em Borges (1994), existem comparações eficazes que comprovam os danos da fumaça a saúde.

“em termos de monóxido de carbono, a equivalência encontrada para a exposição à fumaça foi a de se fumar dois maços de cigarro por dia. Com relação às substâncias orgânicas policíclicas, que são carcinogênicas, equivaleu a fumar vinte maços por dia; de material particulado, dois maços por dia; e de formaldeídos, cinco maços por dia. Esses inconvenientes foram constatados através de estudos realizados em diversos países, como Brasil, Venezuela, Nicarágua, Honduras e Índia.” (BORGES, 1994)

Em conformidade com as características de uma abordagem sustentável e ecologicamente correta, este projeto fez uso de requisitos e parâmetros projetuais, visando o uso racional da energia e da matéria-prima, além da minimização de resíduos e a utilização de tecnologias limpas. Portanto, podemos afirmar que os danos ambientais, causados pela fumaça lançada ao ambiente durante o processo da torrefação, resultante da queima ineficiente da lenha, configura-se como um agravante para a sustentabilidade daquela atividade, havendo a necessidade de se encontrar caminhos que possam minimizar ou eliminar os impactos ambientais negativos, propiciando uma melhoria das condições do ambiente de trabalho, principalmente pela redução da temperatura, a exposição do usuário a fumaça e a poluição do ambiente.

Segundo Barbieri (2004) o EIA (Estudo de Impacto Ambiental) afirma que mudanças no ambiente natural ou social, quais sejam elas decorrentes de uma atividade ou de um empreendimento proposto, gera impactos ambientais, podendo eles ser de natureza negativa ou positiva. Contudo Barbieri (2004) coloca também, que as normas ou as definições propostas pela Lei 6.938/1981, são um tanto limitadas “A esse conjunto de leis e interações devem-se incluir também as de ordem socioeconômica.”

A partir destas observações, a investigação acerca da problemática buscou focar o estudo no que tange os fatores ambientais e humanos envolvidos durante o processo artesanal e semi-industrial de produção de farinha de mandioca.

De posse da apreciação preliminar do posto de trabalho, que objetivava detectar probabilidade de desconforto do trabalhador no ambiente e da tarefa, desenvolveram-se as demais fases que permeiam a intervenção ergonômica, tendo como base a Norma Regulamentadora n° 17 (NR 17), do Ministério do Trabalho (Laudo Simplificado).

A partir da figura 1, observou-se a delimitação dos problemas existentes quanto à tarefa de torrefação de farinha no forno tradicional, dados que nos serviram de indicativos para realizar as fases concernentes ao diagnóstico ergonômico, projeção e validação deste projeto.



Fig.1– Registro dos problemas mais agravantes, segundo avaliação GUT, originados a partir das disfunções do sistema em estudo.

Em função da motivação e da necessidade de se desenvolver melhorias nesse sistema, lançou-se mão de métodos que pudessem suprir o atendimento aos objetivos do projeto.

## 2. Identificação do método de abordagem

Mediante a necessidade de se adaptar dois sistemas de características peculiares, sugeriu-se então fazer uso de uma abordagem metodológica híbrida que pode propiciar o respaldo esperado para a adaptação sistêmica e intervenção ergonômica simultaneamente, sendo assim, prevemos as possíveis abordagens, tais como os métodos de intervenção Ergonômica sugeridos por Iida (1993) e Moraes e Mont'alvão (2003), onde se aplicam não somente a coerência antropométrica da relação entre o produto e o usuário, como também a interação entre os sistemas homem, tarefa, máquina e ambiente de produção. Este método também permite obter subsídios para compreender as questões funcionais, subsequentes registros detalhado para um aprofundamento das análises de esforços, ritmo de produção, e os aspectos de conforto e higiene, levando em consideração a classificação dos problemas que interagem nos respectivos subsistemas.

Para criar soluções complementares, fez-se uso dos métodos de analogia sistêmica por semelhança (BAXTER, 2000), ajudando a descobrir como um problema semelhante pode ser resolvido em outro contexto, seja por proximidade, semelhança, contraste e causa-efeito, propondo a transferência de características de um objeto para outro objeto diferente,

mantendo algumas propriedades em comum, no caso a adaptação entre os sistemas anteriormente citados.

Para materializar as necessidades e objetivos do projeto, fez-se necessário a utilização do modelo sugerido por Slack et al (1999), configurada no quadro a seguir.

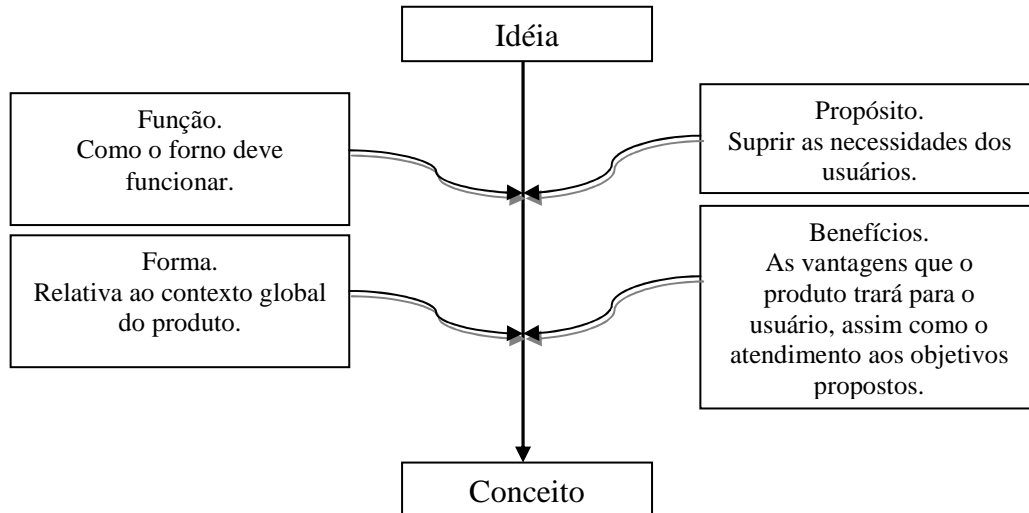


Fig.2 Quadro de idealização de uma conceito gerado a partir de uma idéia.  
 Fonte: Adaptado de SLACK et al (1999:122)

Partindo de uma idéia originada de uma necessidade pré-eminente, a função verificada se estabelece através das diretrizes que regem a funcionalidade do sistema, onde o resultado é a resultante da forma e que incorpora o contexto global do produto, com o propósito de suprir as necessidades dos usuários, elencados as vantagens e atendimento dos objetivos propostos.

A partir da utilização dos métodos e dos resultados obtidos em testes, pode-se observar que existia a necessidade de se desenvolver um elemento de conexão entre os sistemas, algo que os unissem mantendo cada um suas características conceituais de função. Com efeito, configurou-se a definição dos caminhos a serem visualizados para a geração de alternativas, a partir da elaboração do quadro de requisitos e parâmetros, que estabelece o que o sistema deve vislumbrar e o que necessita para atingir os objetivos.

A implementação dos requisitos e parâmetros do projeto delinearam a configuração do sistema, de onde se pode desenvolver a alternativa escolhida e que mais se identificou com os objetivos do projeto. Em função das variadas questões de sustentabilidade, viabilidade produtiva e eco eficiência que o projeto aborda, as características do forno inovador em consonância com a casa de farinha são uma consequência da função que o sistema deve possuir.

### 3. O forno inovador

A partir da geração de alternativas e testes com protótipos, foi desenvolvida uma modelagem virtual, o que possibilitou a existência de uma concepção visual do produto, onde o mesmo deveria seguir as intenções e os objetivos apontados pela definição dos requisitos e parâmetros que delinearam o desenvolvimento do resultado abordado.

Com o propósito de suprir a necessidade de tamanhos diferentes de usuários, o pequeno, o médio e o grande produtor, foram desenvolvidas duas alternativas: uma denominada manual, pois não utiliza mecanização para girar as paletas que movimentam a massa, e; outra que possui mecanização com alimentação fotovoltaica, no entanto ambas as alternativas possuem o mesmo sistema de combustão a lenha por queima limpa.

A diferenciação de usuário diz respeito a questões relativas ao custo de produção deste forno, pois entre os modelos desenvolvidos o investimento torna-se mais oneroso devido à inserção de alta tecnologia para abastecer o sistema de captação de energia solar e conversão em energia elétrica, sistema que alimenta o processo de movimentação da massa.

### 3.1 Alternativa Mecanizada

Esta alternativa (Figura 3) possui adaptações relativas às dimensões e modificações no redimensionamento do queimador, adequação de chaminé e afunilamento interno, com diferenciação volumétrica.

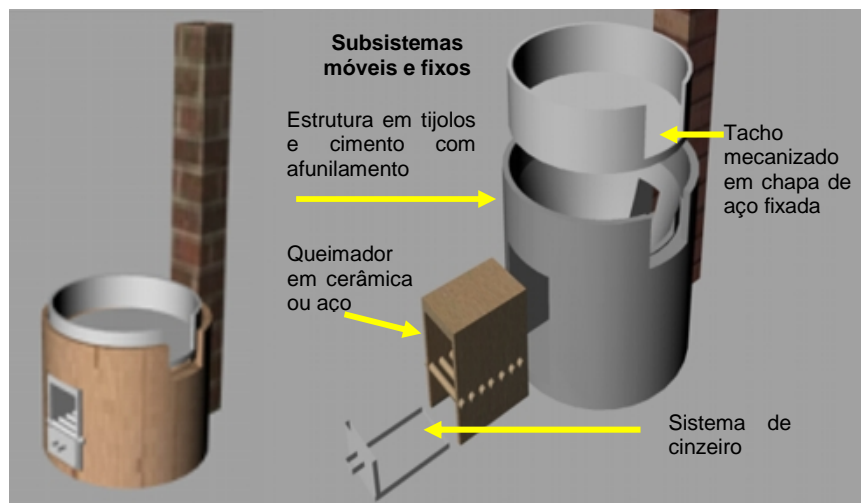


Fig. 3 Alternativa Mecanizada direcionada para o médio e grande produtor.

### 3.2 Alternativa manual

Esta alternativa (Figura 4) também possui modificações no redimensionamento do queimador, adequação de chaminé e afunilamento interno, mantendo o tacho manual de 1,80 de diâmetro facilmente encontrado no mercado local, portanto não necessita de alimentação fotovoltaica para movimentar as pás que mexem a massa.

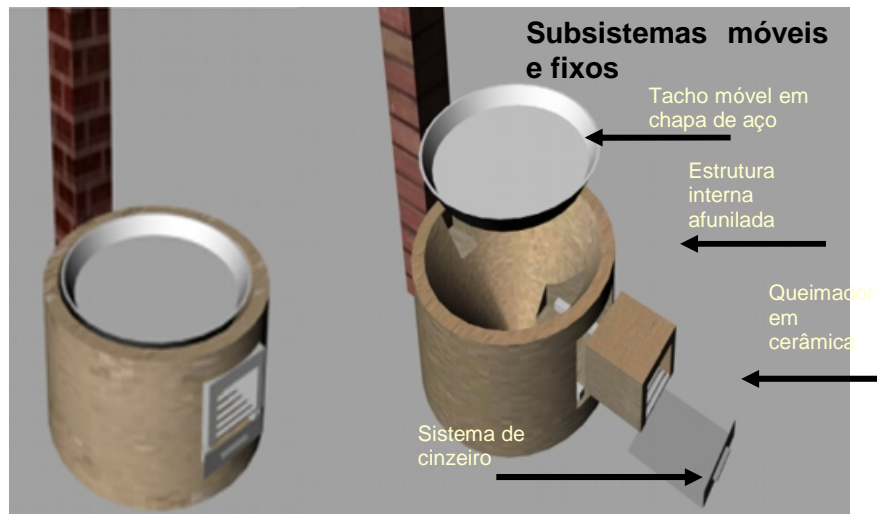


Fig.4 Alternativa manual com sistema de chaminé, tacho e queimador móvel.

#### 4. Protótipos de teste

A fabricação de protótipos ou produtos piloto foi de grande importância, pois as funções foram testadas e avaliadas possibilitando reformas e melhorias no produto.

Os protótipos do queimador (Figuras 5 e 6) e do suporte do tacho foram construídos com os próprios materiais que deverão ser fabricados e em escala real, uma vez que se trata de um produto que possui matriz energética, com isso os testes que se segmentam desse protótipo necessitavam de precisão relativa à função que o mesmo desempenharia a partir de seus objetivos.



Fig.5 Protótipo da alternativa mecanizada, em escala e subsistemas reais para teste.



Fig.6 Protótipo do queimador (câmara de combustão) em chapa de aço 1020 e espessura 3/16

#### 4.1 Testes com o protótipo

Foram realizados quatro testes com o protótipo, para fins de verificação e replicabilidade de resultados. Estes testes buscaram verificar o potencial térmico e a eficiência energética do forno mecanizado para torrefação de farinha que utiliza o princípio de queima invertida (downdraft), visando o desenvolvimento de equipamento para a combustão de biomassa com alta eficiência energética e reduzindo emissões de poluentes. Os testes também possibilitaram avaliar a influência que o novo design do forno exerceria sobre o sistema homem, tarefa, máquina e ambiente e que buscou melhorias no processo produtivo da atividade de torrefação da farinha.



Mediante os testes com o protótipo, os resultados alcançados comprovaram que a combustão da lenha no queimador é determinada por complexos processos e fenômenos físicos e químicos. Os fenômenos físicos acompanham os processos de preparação do combustível e do ar, pulverização e mistura do combustível e do ar, e de inflamação. Os fenômenos químicos são caracterizados pela temperatura e concentração das substâncias em reação. Na câmara de combustão há complexos campos de distribuição de velocidade, concentração e temperatura.

Nos fornos de aquecimento, o calor liberado pela combustão transfere-se para o material a aquecer por radiação e convecção. Os principais processos térmicos que ocorrem no interior do forno são processos de combustão e transferência de calor. A eficiência da transferência de calor depende muito da temperatura dos produtos de combustão e varia com o aumento da temperatura em potência de quatro.

No forno de câmara, o caso em estudo, o processo de transferência de calor no forno varia em função do aquecimento do material, o qual exige a variação da quantidade do calor fornecido ao forno. No início do aquecimento, a potência do forno é grande (grande consumo de combustível e do ar). No final do aquecimento, para igualar a temperatura do material. A potência diminui (por exemplo, diminui-se a quantidade da lenha ou desligam-se alguns queimadores).

A chaminé tem grande importância no forno, pois assume duas funções: criar (auxiliar) a tiragem dos gases e dispersar gases poluentes na atmosfera. A primeira função permite minimizar gastos de energia para efetuar a tiragem dos gases. A segunda função permite minimizar a concentração de partículas sólidas e de gases nocivas ao redor do forno, minimizar prejuízos para a saúde humana. O princípio da ação da chaminé é baseado na diferença de densidade dos gases quentes de escape e do ar atmosférico. Sabe-se que os gases quentes têm a densidade tanto menor quanto maior for a temperatura deles. A diferença das densidades gera a diferença de:

pressão  $\Delta p_{ch}$  (valor da tiragem) entre a pressão na base da chaminé e a pressão atmosférica:

$\Delta p_{ch} = Hg(\rho_{ar} - \rho_g)$  onde H é altura da chaminé, em m;  $\rho_{ar}$  e  $\rho_g$  são densidades do ar e dos gases à base da chaminé, em  $\text{kg/m}^3$  g é a aceleração da gravidade.

## 5. Considerações finais e discussões

Os testes com o novo sistema buscaram avaliar o comportamento do mesmo mediante sua interação com o usuário, fazendo valer o que se pretendia para reduzir ou eliminar todos os indicativos de desconforto no ambiente da tarefa. Após os testes, pode-se atestar que os indicativos que dizem respeito a produtividade, como a utilização eficiente de energia associada e a produção limpa, assim como o conforto térmico, responderam positivamente ao que se pretendia, no entanto constatou-se que alguns subsistemas deveriam ser aprimorados, em função de uma melhoria que vigore e valorize o redesign aplicado ao sistema, ficando então para a fase subsequente os ajustes e sugestões que possam aperfeiçoar todo o sistema.

Com isso o projeto pode ser validado no que contempla a melhoria da interação entre o usuário operante do sistema e o novo ambiente de trabalho, mediante as variáveis relativas aos aspectos de conforto térmico e interface do sistema.

#### **Bibliografia**

- BARBIERI, José C. (2004) – *Gestão Ambiental Empresarial*. Conceitos, Modelos e Instrumentos. 1ª Ed. São Paulo: Editora Saraiva.
- MOTA, Sheila C. Inovação Tecnológica em Forno de Casa de Farinha. Relatório Técnico TR-DDGE- 2006-01. Department of Design and Graphical Expression. 2006.
- MOTA, Sheila C. (2006) - Technical and ergonomic improvements in the furnace design of a manioc flour house. Artigo dos anais do 16th World Congress on Ergonomics – IEA. Associação Internacional de Ergonomia. Holanda. Edited by R.N. Pikaar Eur.Erg., E.A.P. Koningsveld Eur.Erg. and P.J.M. Settels Eur.Erg., ISSN 0003-6870, Elsevier Ltd.
- Dias, M.C.X., Barreto, J.J.B.N., Ferdinando, J. Cadeia produtiva da mandioca no amazonas Ed. Embrapa- CPAA – SEBRAE-AM, Série Agros Negócios, 1999, pp. 31.
- Fuad-Luke, A. Manual de Diseño Ecológico. Cartago S.L., 2002.
- Borges, T.P.F. Fogão a Lenha de Combustão Limpa. MSc. Thesis. Universidade Estadual de Campinas. 1994.
- Moraes, A., Mont'Alvão, C. Ergonomia – Conceitos e Aplicações. Editora iUsEr. 2003.
- Panero, J., Zelnik, M. Human Dimension & Interior Space. Watson-Guption Publications, New York, 2002.
- Baxter, M. Projeto de Produto – Guia Prático para o Design de Novos Produtos, 2ª Edição, Editora Edgard Bluecher. 2000.
- SLACK, Nigel et al. Administração da Produção. São Paulo. 1999
- IIDA, Itiro. Ergonomia: projeto e produção. São Paulo. 2ª edição. Edgar Blucher LTDA 1993. 465p.
- RODRIGUEZ. Geraldo, M. UAM-A. Fonte: Traduzido e adaptado do texto Manual de diseño industrial Por D.I. Henry Benavides Puerto – Universidade do Amazonas,1993/4.