

Aplicação do projeto conceitual para o desenvolvimento de um sistema de aquecimento solar

Edward Seabra Júnior (UTFPR-Câmpus Medianeira) seabra.edward@gmail.com
Paulo Henrique Zoche (UTFPR-Câmpus Medianeira) paulozoche@alunos.utfpr.edu.br
Daniel Marcos Dal Pozzo (UTFPR-Câmpus Medianeira) danielpozzo@utfpr.edu.br
José Airton Azevedo Dos Santos (UTFPR-Câmpus Medianeira) airton@utfpr.edu.br
Neron Alípio Cortes Berghauser (UTFPR-Câmpus Medianeira) neronalipio@gmail.com

Resumo:

Os sistemas de aquecimento solar mais comuns do mercado apresentam coletor e reservatório como principais componentes, sendo fabricados com diversos materiais. O desenvolvimento de um novo produto pode ser definido como a união de três fases: o pré-desenvolvimento, o desenvolvimento e o pós-desenvolvimento. Estas três etapas compõem o projeto de um sistema de aquecimento solar de placa plana com reservatório, com a proposta de manter a funcionalidade de um utilizando materiais de menor custo que os convencionais. Este trabalho apresenta a aplicação de um modelo de referência em projetos de desenvolvimento de produto para um sistema de aquecimento solar doméstico utilizando o Modelo Rozenfeld de Referência. Para a realização deste trabalho, foi escolhida especificamente a etapa de projeto conceitual, presente na fase de desenvolvimento do modelo e utilizadas ferramentas tais como Representação da Estrutura das Funções, Analogia Sistemática, Matriz Indicadora de Módulos e Matriz Morfológica. Os resultados da aplicação das técnicas indicadas para esta etapa permitiram a análise e a melhor tomada de decisão quanto aos seus aspectos de funcionalidade. A aplicação do modelo se mostrou eficiente, pois permitiu a identificação antecipada das limitações quando a especificação do processo, evitando possíveis prejuízos ocasionados pela continuação do processo de desenvolvimento do produto.

Palavras chave: Desenvolvimento, placa plana, Coletor solar.

Application of the conceptual project for the development of a solar heating system

Abstract:

The most common heating systems of the market present collector and reservoir as main components, being manufactured with diverse materials. The development of a new product can be defined as the union of three phases: pre-development, development and post-development. These three steps comprise the design of a flat plate solar heating system with reservoir, with the proposal to maintain the functionality of one using lower cost materials than conventional ones. This work presents the application of a reference model in product development projects for a domestic solar heating system using the Rozenfeld Reference Model. In order to carry out this work, we specifically chose the conceptual design stage, present in the model development phase and used tools such as Function Structure Representation, Systematic Analogy, Modular Indicator Matrix and Morphological Matrix. The results of the application of the techniques indicated for this stage of the Model were achieved, as they allowed the analysis and the better decision making regarding its aspects of functionality. The application of the model was efficient, since it allowed the early identification of the limitations when specifying the raw material, avoiding possible damages caused by the continuation of the product development process.

Key-words: Development, Flat plate, Solar collector.

1. Introdução

A inovação pode ser entendida como uma criação ou alteração substancial em um produto, processo ou serviço de forma a trazer benefícios à sociedade, ou empresa e pode ser caracterizado como radical ou incremental. De uma forma geral, as inovações necessariamente implicam na criação de novos produtos, resultado de métodos que, a cada dia, se apresentam mais criteriosos e exigentes. Existem inúmeras metodologias aplicáveis para desenvolvimento de novos produtos. Rozenfeld *et al.*, (2010) afirmam que a aplicação de ferramentas como essas permite a redução dos riscos e despesas com relação ao sucesso do produto no mercado.

O engenheiro de produção tem um papel de grande importância no que se refere à concepção e projeto de novos produtos. Este profissional precisa estar preparado para utilizar métodos consolidados que lhe darão suporte científico nas atividades de planejamento de um novo produto.

Thomas *et al.*, (1993) afirmam que em um mercado turbulento, é importante que se faça um estudo antecipado do produto antes de lançá-lo no mercado, permitindo que se corrija as falhas antes que ele esteja em circulação.

A crescente demanda por fontes renováveis de energia, juntamente com o alto custo da energia elétrica nas residências, ocasionou maior interesse da parte do consumidor na questão de aproveitamento da energia solar. A tecnologia de aquecimento solar, apesar de antiga, apresenta-se como opção para o mercado consumidor brasileiro. A energia solar para aquecimento, nos últimos anos não apresentou grandes inovações sendo na sua maior parte do tipo incremental (VASCONCELOS *et al.*, 2012)

Diante das necessidades ambientais de redução de consumo e do alto custo energético, e também do alto custo de implantação de um sistema de aquecimento solar doméstico, o desenvolvimento de um sistema alternativo pode ser considerado atrativo, desde que comprovada a sua funcionalidade e viabilidade.

Neste contexto, a busca por desenvolver um produto que satisfaça a necessidade do consumidor, utilizando fontes renováveis de geração de calor, e que tenha um custo de implantação atrativo, torna-se fundamental para o engenheiro de produção que tem como uma de suas atribuições profissionais, colaborar para o desenvolvimento de produtos de forma científica.

Dentro deste contexto, o objetivo deste estudo foi apresentar um estudo para a criação de um sistema de aquecimento solar inovador, por meio de uma metodologia de projeto. Além de descrever o modelo de desenvolvimento de produtos proposto por Henrique Rozenfeld *et al.* (2010), bem como descrever o funcionamento de um sistema de aquecimento solar genérico, por meio de revisão bibliográfica, permitindo o embasamento teórico e desenvolver um projeto conceitual para um novo produto.

2. Metodologia

2.1 Descrição do tipo de abordagem

Essa pesquisa fez uso de técnicas quantitativas e qualitativas, pois se utilizou-se de dados numéricos e informações do modelo para a elaboração de procedimentos apresentados pelo modelo de referência.

A pesquisa aqui realizada pode ser classificada como exploratória de natureza aplicada, por tratar-se do desenvolvimento de um produto, sendo denominada como qualitativa e quantitativa, por utilizar dados sobre o produto como dimensões, valores financeiros, entre outros, e qualitativa, devido ao estudo sobre as características desejadas dos produtos e das percepções.

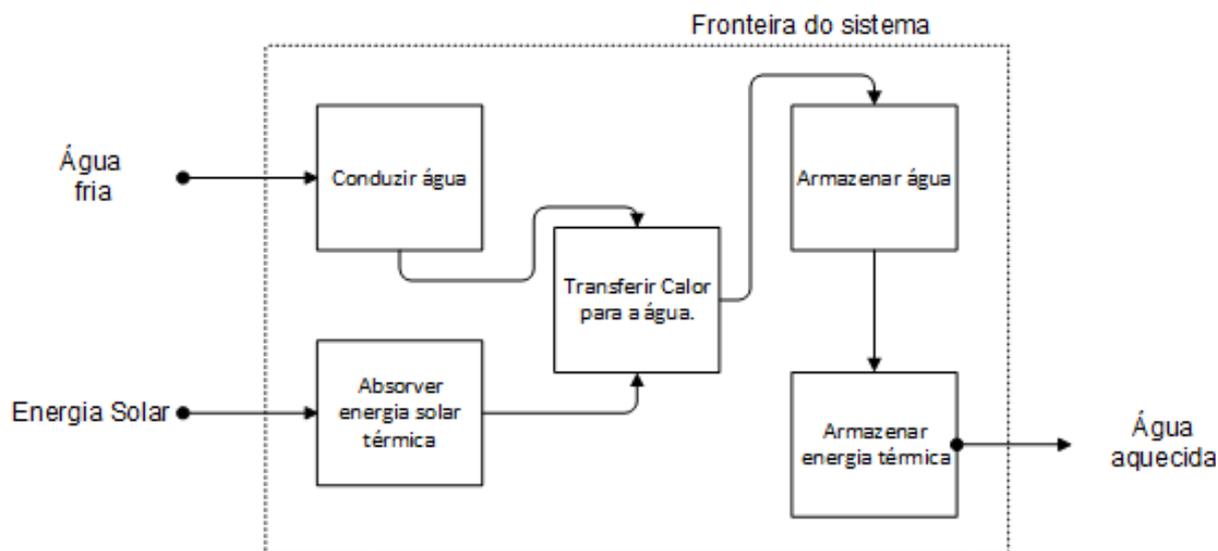
Para a realização do Projeto Conceitual utilizando a metodologia Rozenfeld, é necessário elaborar a estrutura das funções que é uma representação esquemática das funções físicas básicas do produto por meio de um desdobramento total em funções mais simples. A estrutura das funções deve conter todos os fluxos de energia, material e sinal envolvidos. O intuito da estrutura é permitir uma visão simples da necessidade para se produzir soluções econômicas.

Assim sendo, Para a realização deste trabalho optou-se por seguir os passos determinados por Rozenfeld et al. (2010), mais especificamente no projeto conceitual.

O estudo realizado detalhou o funcionamento de um sistema de aquecimento solar comum, descrevendo os componentes e subcomponentes de um sistema de aquecimento solar. Procurou-se desenvolver um produto com características particulares, mas que mantivesse as funções básicas de um sistema de aquecimento solar.

2.2 Descrição do tipo de sistema abordado

Na Figura 1 pode-se ver a estrutura de funções do sistema de aquecimento planejado para este trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 1 - Estrutura de funções sistema de aquecimento solar.

Observa-se que, devido à simplicidade técnica do produto, apenas as funções básicas são apresentadas na estrutura de funções sendo que, as secundárias, como suportar o conjunto, não foram apresentadas, sendo assim possível uma análise posterior da real necessidade da

função. Em posse das funções básicas de um sistema de aquecimento solar, foi possível desenvolver soluções para estas funções.

O método escolhido para se determinar os princípios de soluções foi a analogia sistemática de acordo com o autor é a “transferência de características originárias de dois domínios distintos” (Rozenfeld *et al.*, 2010, p.250). O método foi escolhido devido à proposta de se manter as funções básicas de um sistema de aquecimento solar genérico, sendo assim a analogia à um sistema de aquecimento genérico permite a construção da estrutura funcional para este produto, conforme a Tabela 1.

FUNÇÃO	AQUECEDOR CONVENCIONAL	AQUECEDOR EM DESENVOLVIMENTO
Estrutural Conduzir a água	Caixa metálica Flauta	O próprio coletor Conjunto de superfícies superior e inferior
Absorção da energia Transferir calor para a água	Aleta Aleta + Flauta	Superfície superior Superfície superior
Armazenar água Armazenar energia térmica	Reservatório Isolamento térmico	Reservatório Isolamento térmico

Tabela 1 – Comparação entre um sistema de aquecimento convencional e o sistema proposto.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

A ideia do projeto é de simplificar ao máximo o sistema de aquecimento solar sem que as funções básicas do produto sejam comprometidas. Foi observado que no coletor do sistema de aquecimento convencional existe função estrutural na qual é utilizada a caixa como princípio de solução. A função estrutural foi considerada como secundária já que o objetivo do produto é o aquecimento de água através da energia do sol. Sendo assim, procurou-se evitar mais um componente para o produto, simplificando a construção e produção do mesmo.

Na função conduzir água, foi proposta a utilização de duas superfícies, evitando-se assim a necessidade da flauta. Na função absorver energia solar e transferir o calor para a água propôs-se a utilização da superfície superior como solução para ambas as funções. Foi proposta a manutenção das funções armazenar a energia térmica e armazenar água, sendo assim serão utilizados o isolamento e o reservatório como princípio de solução.

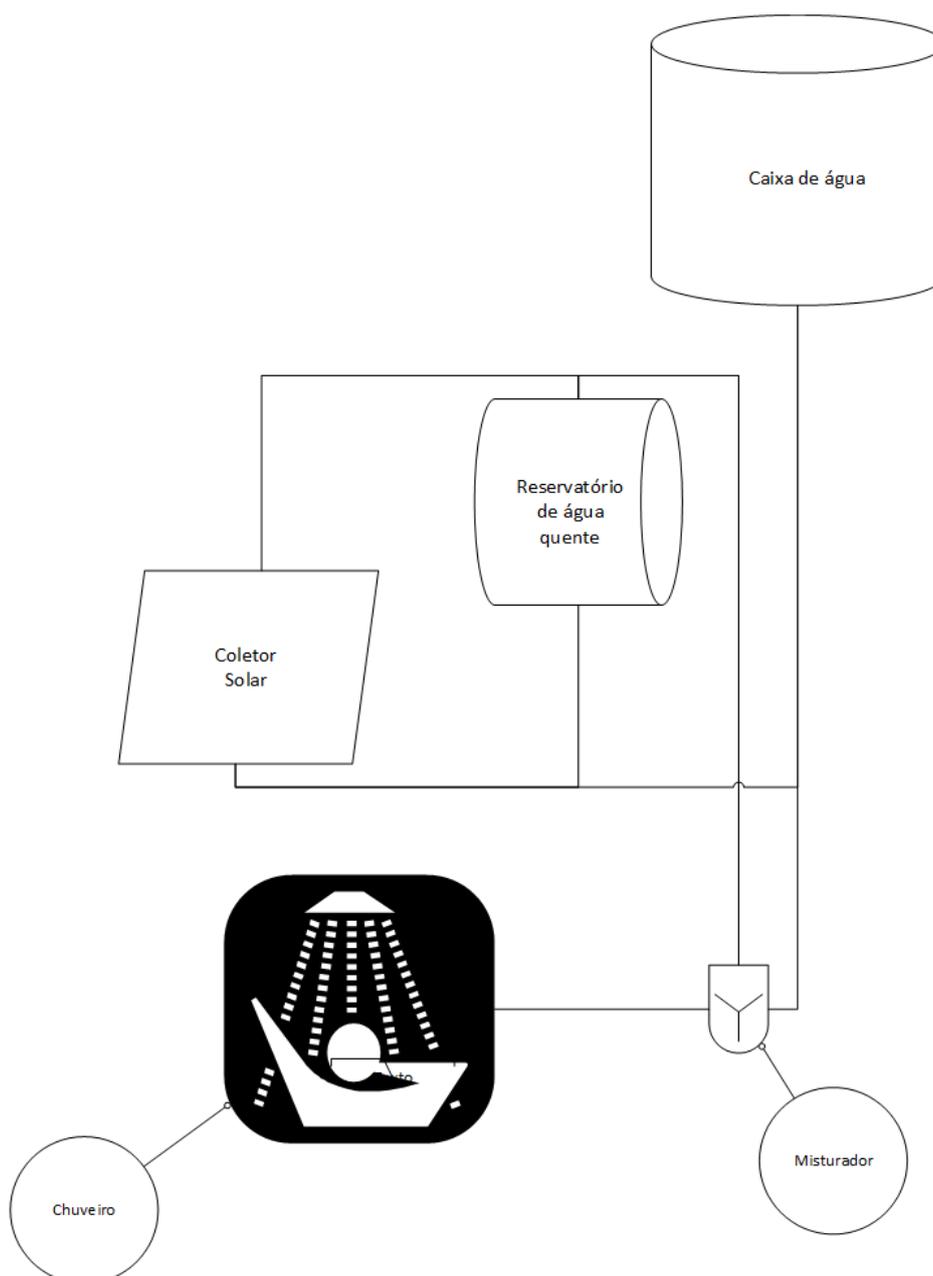
2.2 Alternativas para o modo de operação do produto

A arquitetura de um produto pode ser definida como Modular ou Integral, o produto desenvolvido foi um sistema de aquecimento solar doméstico, composto por coletor solar e reservatório de água quente. Entre os tipos de modularidade apresentadas pelo produto, está a de se adaptar para a variedade, que na maioria das vezes está associada às dimensões físicas do produto, permitindo-se que no processo produtivo seja possível fabricar produtos com dimensões diferentes, mas possuindo as mesmas funções básicas, sem que haja necessidade de grandes alterações no processo produtivo. Há também a modularidade em compartilhar componentes, na qual é possível que componentes diferentes possam ser utilizados em famílias diferentes de produtos.

A Matriz Indicadora de Módulos (MIM), proposta por Rozenfeld *et al.* (2010) foi a ferramenta utilizada para a determinação dos módulos e pode ser vista na Figura 8.

3 Resultados e Discussão

A soma total para as funções: conduzir água, transferir calor para a água e absorver energia térmica, foi maior com relação às outras duas funções, permitindo observar a possibilidade de modularidade estes elementos, sobrando assim para as duas funções restantes a possibilidade de um segundo módulo. Foi possível observar que, analogamente ao sistema convencional de aquecimento solar, visto durante a revisão bibliográfica, a modularidade apresenta-se semelhante. As três primeiras funções pertencem ao coletor solar que é o primeiro módulo, e as duas seguintes funções pertencem ao segundo módulo, que é o reservatório. Na Figura 2 é possível observar a representação da arquitetura do sistema de aquecimento solar proposto.



Fonte: O autor.

Figura 2 - Representação esquemática de um sistema de aquecimento solar doméstico.

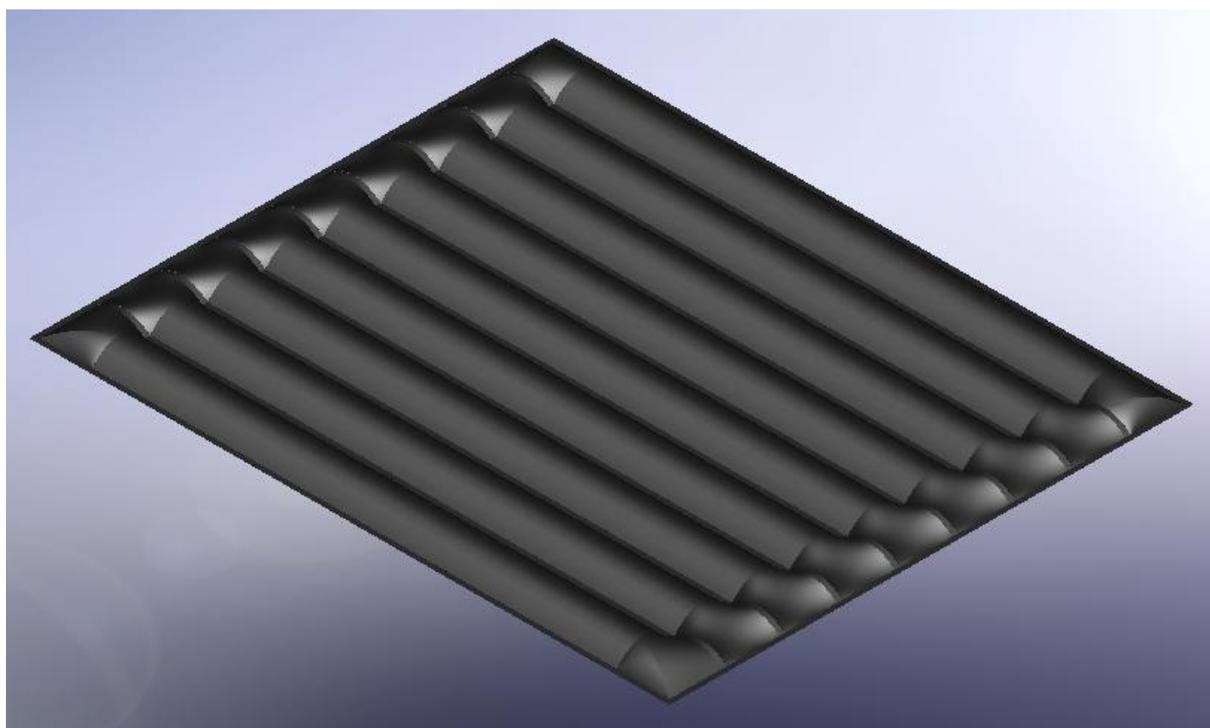
Nota-se que na representação esquemática são exibidos os elementos do produto em uso, e também os seus inter-relacionamentos com os demais componentes que não fazem parte do produto.

Na representação da arquitetura, podemos observar o percurso da água até chegar ao usuário, partindo da caixa d'água doméstica, que é um elemento comum nas casas. A fonte de origem da água não necessariamente precisa ser uma caixa d'água. A absorção da energia térmica é realizada por meio do coletor, e por convecção natural a água chega até o reservatório.

A função do reservatório é armazenar a água contendo energia solar térmica até que seja consumida pelo usuário. Durante a construção da representação, procurou-se minimizar a quantidade de entradas e saídas do reservatório e do coletor, a fim de minimizar as perdas em calor e o custo de fabricação do produto, já que a abertura para passagem de água é um ponto sem isolamento.

Entre os tipos de modularidade apresentadas na metodologia, foi priorizada a de se adaptar para a variedade, permitido a produção em várias dimensões e formas para o mesmo produto.

A área de superfície da parte superior do coletor solar é de $1,2 \text{ m}^2$. O volume aproximado para o reservatório de água é de 137 litros ($0,137 \text{ m}^3$). Nas Figuras 3 e 4 é possível verificar o design do coletor solar e reservatório respectivamente.



Fonte: O autor.

Figura 10: Representação gráfica do design esperado para o coletor solar.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Figura 11: Representação gráfica do design esperado para o reservatório, vista cortada.

Para que o coletor solar desempenhe suas funções de acordo com o projeto, o material utilizado teve que apresentar coloração escura (Figura 3), garantindo uma absorção da radiação solar, espessura fina em relação à área de superfície do coletor e flexibilidade, para que permita a passagem de água entre as duas superfícies. Além disso, é necessário que o material tenha características de boa resistência aos fenômenos naturais como chuvas, granizo, ventos, entre outros.

Foi definido que, para que haja compatibilidade no processo produtivo, o mesmo material deve ser utilizado para a construção do reservatório (Figura 4) de água, exceto para o isolamento térmico. O isolamento térmico deve possuir propriedade de flexibilidade para envolver o reservatório e capacidade de armazenar calor.

O material encontrado que possui essas propriedades foi a lona plástica (PVC) com laminado vinílico reforçado e tecido de poliéster e aditivo anti UV (ultravioleta) que aumentam a resistência ao ressecamento causado pela exposição ao sol. Levantou-se no mercado fornecedor, que esta lona plástica é comercializada em diversas cores, sendo escolhida a cor preta para a maior absorção de energia solar térmica. O material é normalmente utilizado para o transporte de cargas, na qual fica exposto a diversos tipos de fenômenos naturais, o que se assemelha com as condições em que o sistema de aquecimento solar.

Como isolamento térmico foi utilizada a lã de poliéster, normalmente presente em cobertores para isolamento térmico. De acordo com o fabricante do material, a lã de poliéster possui propriedades térmicas semelhantes a materiais isolantes como o poliuretano e a lã de vidro,

comumente empregados na fabricação de reservatórios de água para aquecimento solar. Ainda o material possui a vantagem de se poder manipular sem a necessidade de EPIs (Equipamentos de Proteção Individual), facilitando futuros processos produtivos.

A abordagem DFM (*Design for Manufacturing*), foi utilizada na elaboração do *design* do sistema de aquecimento solar, na qual o produto foi desenhado obedecendo às limitações da máquina (figura 11) utilizada no processo produtivo. O equipamento normalmente utilizado para o processo de união de lonas plásticas é a vulcanizadora (Figura 12), que opera por meio de aquecimento do material por corrente elétrica realizando a sua a colagem. O equipamento apresenta uma lâmina metálica com 1 cm de largura, na qual é feita a colagem. O movimento realizado pelo equipamento ocorre no sentido vertical, no qual o material é colocado sobre a plataforma e a lâmina desce, acionada por um atuador pneumático até o material e realiza a união. Este atuador é comandado pelo operador por meio de pedal na parte inferior do equipamento.

Considerando-se as limitações do equipamento, a abordagem DFM foi utilizada no design do coletor do reservatório de água. Os pontos de união, foram representados com 1cm de largura (Apêndice A), de acordo com largura da lâmina.

O design do reservatório apresenta arestas circulares, o que exige uma lâmina circular no equipamento ou a união por partes das arestas na qual pequenos segmentos são vulcanizados um de cada vez até que circunferência seja fechada. O reservatório é composto por duas camadas de lona e uma camada isolante; a camada interna, por conter a água, exige que a união seja realizada por extrusão. No caso da parte externa do produto, a união pode ser realizada por colagem, o que permite obter melhor acabamento no produto.

Nesta etapa, segundo Rozenfeld *et al* (2010) é realizada uma estimativa do custo de fabricação do produto, sendo na etapa de Projeto Detalhado necessária uma nova análise financeira mais apurada. Estima-se um período de 4 horas para a construção do protótipo utilizando a mão de obra de 02 operários além disso, é necessário o uso de componentes como flanges, cola e lixas, conforme a Tabela 2.

PRODUTO	VALOR UNITÁRIO (R\$)	QUANTIDADE	VALOR TOTAL
Lona em Vinil Preta	25,00	7,84 m ²	R\$ 196,00
Lã de Polyester	7,00	7m ²	R\$ 49,00
Mão de Obra	15,00	8h	R\$ 120,00
Outros	32,00	*	R\$ 32,00
Total			R\$ 397,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 2 - Relação dos custos para o desenvolvimento do protótipo.

Constata-se que no mercado atual, existe variedade de preços para os sistemas de aquecimento solar, sendo eles encontrados por valores aproximados a partir de R\$1.384,39 (Hidraushop, 2017). O sistema de aquecimento solar desenvolvido apresenta maior simplicidade com relação aos presentes no mercado, o que indica que deve ser vendido por valor menor no mercado.

Com a realização do estudo foi possível perceber que o custo de fabricação do produto pode ser reduzido substancialmente com a obtenção de fornecedores atacadistas e automatização do processo de manufatura. A viabilidade de automatização pode ser constatada com a existência de demanda suficiente no mercado ou a utilização um layout industrial para vários produtos.

De acordo com o item 3.1.11, da página 29, a etapa de avaliar fase pode ser realizada por meio de um questionário, no qual as perguntas e respostas serão descritas a seguir. O modelo divide esta etapa em duas abordagens. A primeira é voltada para o atendimento da viabilidade técnica do produto e a segunda abordagem está voltada para a maturidade tecnológica que o produto pode apresentar.

3.1 Quanto a Viabilidade Técnica

a) Existe alguma limitação tecnológica? As especificações técnicas estão sendo atendidas?

De acordo com os testes experimentais, realizados com o protótipo, foi possível avaliar que as especificações técnicas do produto não foram atendidas devido a limitações apresentados no processo. A metodologia é utilizada de forma que não se carregue erros de concepção do produto para a etapa a seguir. Portanto a revisão do projeto conceitual especificamente na etapa de Analisar SSCs e definir plano macro do processo faz-se necessária para comprovar a viabilidade do produto.

b) As especificações de custo estão sendo atendidas? Quais os custos de produção?

Como visto no item 4.9, o valor do custo de produção, poderá ser estimado com maior precisão na fase de Projeto Detalhado, tendo sido possível, entretanto, durante a aplicação da etapa de Projeto Conceitual, uma estimativa que conduz a um custo aproximado de construção de R\$ 398,00. Nesta avaliação, não foram estimados custos fixos empresariais e tributos, o que deverá ser considerado no cálculo durante a etapa de Projeto Detalhado.

3.2 Quanto a Maturidade Tecnológica

a) Podem as tecnologias ser manufaturadas por processos conhecidos?

Como pode ser visto no item 4.8, a união de lonas plásticas é realizada por meio da vulcanização, processo que já é utilizado, o que deve ser analisado é a viabilidade de uso para este método ou material.

b) Os parâmetros funcionais críticos estão sendo identificados?

Podem ser verificados os parâmetros funcionais os parâmetros de funcionalidade do produto.

c) Os modos de falhas são conhecidos?

Os modos de falha para o produto são concebidos por meio de testes funcionais, não foi possível realizar todos os testes funcionais com o produto, portanto os modos de falha não são conhecidos, entretanto, a ruptura da união da lona plástica pode ser considerada um modo de falha.

d) A tecnologia é controlável por meio do ciclo de vida do produto?

A expectativa é que não haja alterações na matéria prima ou processo, durante o ciclo de vida do produto que levem à alteração tecnológica drástica na concepção do produto.

3.3 Aprovar Fase

Por meio dos testes funcionais foram possíveis identificar falhas na concepção do produto, o que leva necessidade de revisão da etapa de projeto conceitual. O modelo de desenvolvimento de novos produtos proposto por Rozenfeld *et al.*, 2010 prevê a possibilidade de o produto apresentar falhas e determina que neste caso é necessário rever o projeto para encontrar as falhas.

4. Considerações finais

A aplicação da metodologia Rozenfeld de desenvolvimento de novos produtos a um sistema de aquecimento solar doméstico para água, permitiu a observação simplista e detalhada do produto em desenvolvimento a partir do levantamento de suas funções básicas. Em seguida, por meio da analogia sistemática, foi possível a determinação dos princípios de soluções para as funções levantadas, e posteriormente com o uso da matriz morfológica, determinar as alternativas de solução. A partir deste ponto foi possível observar que quanto ao projeto conceitual, esta visão tem a função de evitar que nas etapas seguintes, componentes desnecessários fossem utilizados para o produto. Neste requisito, é possível confirmar que o produto desenvolvido apresentou menor número de componentes do que o sistema disponível atualmente no mercado.

Na definição da arquitetura do produto foi aplicada às funções do produto a matriz indicadora de módulos, que demonstrou os requisitos que formariam um módulo. A arquitetura básica permaneceu semelhante ao produto que é encontrado atualmente no mercado, havendo dois componentes sendo eles o reservatório e o coletor.

Foi definido nesta etapa que o tipo de modularidade escolhida para o produto seria a de se adaptar para a variedade, o que exigiria um design que permitisse a fabricação de componentes de dimensões diferentes, mas que preservasse a função básica. Em seguida foi realizada a representação gráfica da arquitetura do produto, com suas interações com o usuário.

Foi possível também perceber que esta etapa possibilitou compreensão do funcionamento produto para o posterior desenho. A aplicação do modelo de desenvolvimento de novos produtos permitiu verificar a importância da avaliação do processo produtivo antes da realização do desenho o que evita a necessidade de se desenvolver novos métodos para a fabricação de um produto.

Observou-se que o modelo de referência desenvolvimento de novos produtos apresentado por Rosenfeld *et al.* 2010, mostrou-se eficiente, ao ponto de ser possível identificar que existe uma possível falha no processo de fabricação ou na escolha do material utilizado, o que ocasionou a ruptura da união das lonas no coletor solar. A revisão desta etapa pode ser definida como estudo posterior. Para que o produto seja considerado realmente inovador, sugere-se como estudo a revisão das etapas de análise dos SSCs e de Definir o plano macro do processo.

Referências

ABRAVA, Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação, Aquecimento. Disponível em: <www.abrava.com.br> acesso em 13 de outubro de 2016.

ANEEL, Resenha Energética Brasileira. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>> acesso em 02 de setembro de 2016.

BARBOSA FILHO, Antônio Nunes. **Projeto e desenvolvimento de produtos**. São Paulo: Atlas, 2009. x, 181 p. ISBN 9788522453306.

CARMO, Danieli Martins Do. **Recuperação de Borracha EPDM Vulcanizada: Estudo da Compatibilização e do Processamento**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. UFRRJ. Instituto de Tecnologia. Seropédica, RJ. 2008

CHIGUERU, T..et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>> acesso 20 de agosto de 2016.

COMETTA, Emilio. **Energia solar: utilização e empregos práticos**. São Paulo: Hemus, c1982. 127 p.

DASOL. **Departamento de Aquecimento Solar**. Disponível em <<http://www.dasolabrava.org.br/>> acesso em 1 de setembro de 2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: atlas, 2009.

GRUPO DE PESQUISA EM ENERGIA, **Como funciona um aquecedor solar**. Disponível em <<http://portal.pucminas.br>> acesso em 12 de outubro de 2016

HIDRAUSHOP, **Comércio de Aquecedores Solares**. Disponível em: <<http://hidraushop.com.br>> Acesso 01 de novembro de 2017.

KHURANA, A. & ROSENTHAL, S. R. **Integrating the fuzzy front end of new product development**. Sloan Management Review, v. 38, n. 2, p. 103, 1997.