

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA MODULAR PARA MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA EM PEQUENAS PROPRIEDADES

Giovano Marcos Mazetto

Fernando Antônio Forcellini

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: giovano@nedip.ufsc.br, forcellini@emc.ufsc.br

Augusto Weiss

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: augusto@cca.ufsc.br

Resumo

A busca por métodos de produção agrícolas, que diminuam os problemas de erosão e perda de produtividade causados pelo sistema convencional de plantio, tem levado os agricultores a adotar os chamados métodos conservacionistas de cultivo. Esta mudança, exige uma adequação, em termos de mecanização. Com objetivo de disponibilizar à indústria de implementos agrícolas, projetos de implementos cujos princípios de solução já tenham sido testados e aprovados, foram realizados trabalhos visando a obtenção de um sistema modular. Como resultado destes trabalhos, foi obtido um sistema modular conceitual composto por dez módulos. Estes módulos, combinados entre si atendem a quatro funções globais variantes. O compartilhamento de módulos deverá resultar em vantagens fabris, como redução de estoques e linhas de produção mais racionalizadas. Os trabalhos atualmente estão voltados para a fabricação de um protótipo, onde serão utilizados componentes atualmente fabricados pela indústria, juntamente com demais módulos.

Palavras-chaves: Sistema modular, pequenas propriedades, implementos agrícolas.

1. INTRODUÇÃO

Os produtos modulares vem permitindo a indústria em geral, obter índices cada vez mais elevados de produtividade e qualidade, sem citar os menores custos de produção e revenda. Automóveis, computadores e móveis, são apenas alguns dos bens de consumo desenvolvidos sob esta óptica de projeto, que literalmente tiveram seus custos reduzidos, baseando-se em conceitos peculiares como interfaces padronizadas, módulos intercambiáveis, padronização de componentes entre outros.

No entanto, se são muitas as vantagens obtidas com a aplicação das metodologias de projeto de produtos modulares, sua aceitação e conseqüente aplicação na indústria, ainda está longe do desejado e um dos fatores responsáveis apontados, é justamente o desconhecimento dos profissionais, sobre estas técnicas de trabalho. No decorrer dos últimos anos, o NeDIP - Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos – pertencente ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, tem dedicado parte de suas pesquisas, a

aplicação e aprimoramento das metodologias de projeto. Entre estudos recentes, podem-se citar, o desenvolvimento de implementos agrícolas e metodologias, como os trabalhos de CASTALDO (1999) e de PIZZATTO (1998), respectivamente, um implemento para manejo da cobertura vegetal, em pequenas propriedades e uma sistemática de projeto para produtos modulares, com aplicação em móveis.

Tendo como base estes aspectos, é apresentado como objetivo principal deste trabalho, o desenvolvimento de um sistema modular que possa dar uma contribuição no sentido de melhorar o atual quadro de mecanização da pequena propriedade rural, enfocando os implementos destinados as atividades conservacionistas de cultivo.

Para a obtenção deste propósito, são aplicadas ferramentas específicas de projeto, como QFD, Análise Funcional, Matriz Morfológica entre outras em um grupo de quatro implementos agrícolas. Deve-se citar também, o emprego de uma metodologia de projeto de sistemas modulares, que está sendo desenvolvida pelo NeDIP. Esta metodologia, está dividida em quatro fases principais. Estas fases por sua vez dividem-se em etapas e tarefas, dando ao processo de projeto uma característica mais uniforme, diminuindo as lacunas existentes em outras metodologias principalmente em relação ao nível de abstração que envolve as tomadas de decisão. A Figura 1, mostra o fluxo geral da metodologia adotada, que orienta as atividades de projeto a serem desenvolvidas.

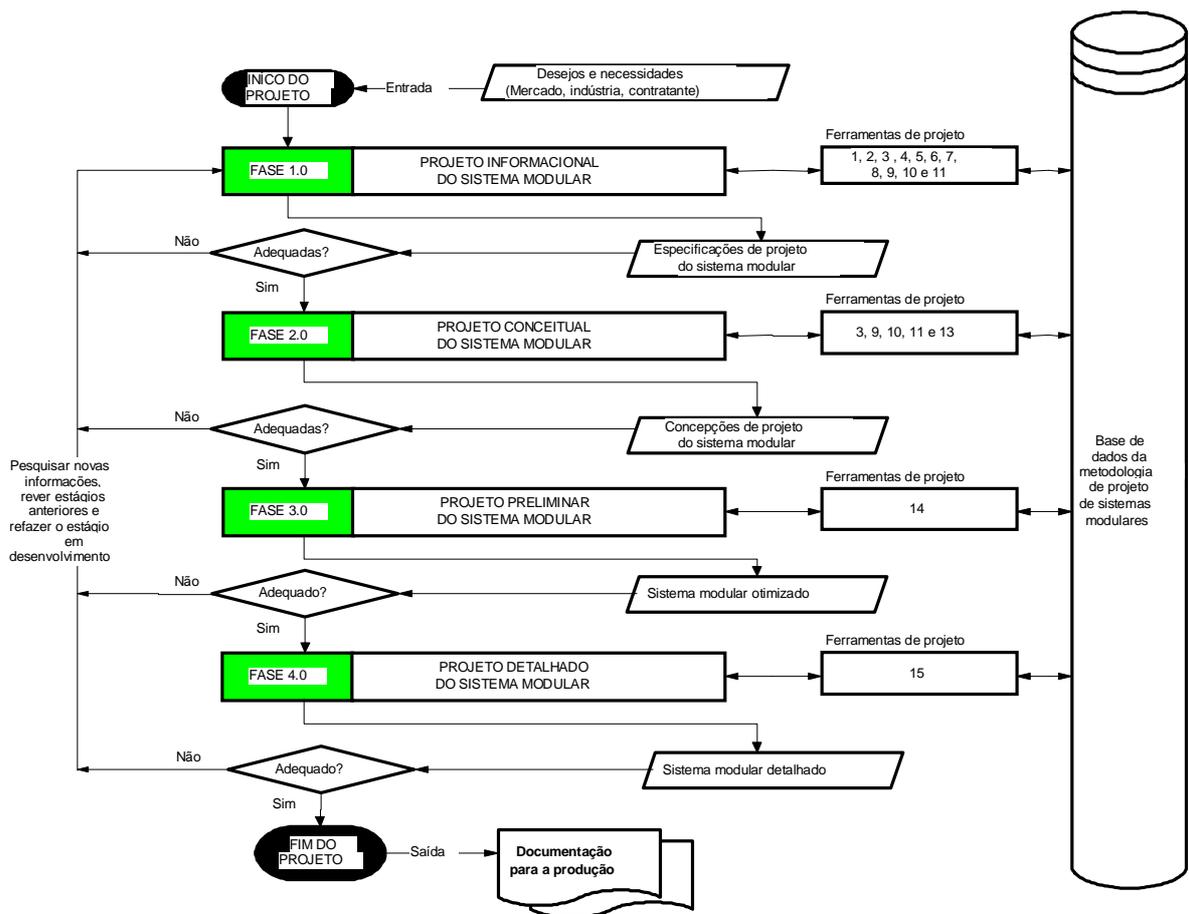


Figura 1: Fluxo geral da metodologia utilizada (MARIBONDO 1999).

Os trabalhos resultaram em um conjunto de 11 módulos, que combinados entre si, atendem as quatro Variantes da Função Global (VFG) dos implementos, caracterizando desta forma o aspecto de compartilhamento de componentes, que entre outros, caracterizam um produto modular. Na seqüência é apresentado o desenvolvimento dos trabalhos.

2 Desenvolvimento

O desenvolvimento do projeto, teve início com um estudo detalhado, sobre alguns aspectos da mecanização agrícola nas pequenas propriedades do Estado de Santa Catarina. A partir de um universo de dez implementos indicados para a atividade conservacionista em pequenas propriedades, estudados inicialmente, foram selecionados quatro. Os critérios para esta seleção foram, respectivamente, o nível de desenvolvimento e o grau de importância dos mesmos para o cultivo conservacionista. Os implementos selecionados são destinados a atender as seguintes atividades: 1) plantio e adubação do solo, através dos implementos conhecidos como: a) semeadora/adubadora em linha com tração animal e duplo cinzel; b) semeadora/adubadora em linha também de tração animal e cinzel para adubo e duplo disco para as sementes. 2) escarificação para descompactação do solo, através de um escarificador com disco de corte e tração animal, e; 3) sulcagem para transplante de mudas, realizado por um sulcador com disco de corte e tração animal.

Após o levantamento do estado da arte, que culminou com a delimitação do número de implementos, foi estabelecida uma definição inicial do problema de projeto: contribuir para uma melhoria na qualidade de vida do homem do campo, fornecendo a indústria de implementos agrícolas, projetos bem detalhados e oriundos de tecnologias apropriadas, condizentes com as indústrias locais, através da modularização de implementos, visando melhor desempenho, facilidade de fabricação e diminuição de custos.

2.1 Projeto Informacional do Sistema Modular

Nesta fase do desenvolvimento, foram identificados então, os desejos e necessidades dos futuros clientes e usuários do sistema modular. Para coletar estes desejos e necessidades, foi feita uma análise do ciclo de vida dos produtos deste gênero. Após esta coleta as informações foram transformadas em requisitos de projeto, ou seja, as informações coletadas foram interpretadas e transcritas para linguagem técnica, passível de quantificação.

A atividade realizada na seqüência, foi a hierarquização dos requisitos de projeto. Para esta atividade, foi utilizada a primeira Matriz Casa da Qualidade. Os resultados desta aplicação, apontaram como requisito mais importante, o menor tempo de *set up*, seguido de um menor número de componentes. Como terceiro requisito, tem-se um baixo número de novos componentes, e assim por diante.

O passo seguinte a hierarquização dos requisitos de projeto, foi a elaboração das especificações do projeto, como é mostrado na Tabela 1. Esta tabela apresenta uma descrição do item, seguido de um valor meta e uma unidade de medida para o mesmo. É indicado ainda neste quadro, um sensor, destinado a indicar um método de medição ou controle das metas traçadas e ainda uma indicação de saída indesejável, alertando para possíveis problemas de devem ser evitados durante a busca por soluções que atendam as especificações em questão. A Tabela 1 mostra apenas uma parte das especificações de projeto, ao total são 18 os itens que a compõem.

Tabela 1: Especificações de projeto para o sistema modular.

	Descrição	Meta	Uni	Sensor	Saída indesejável
1	Set up	15 minutos	Min	Testes de campo	Tempo elevado
2	Número de componentes	Reduzir em 50% o número de componentes	Núm.	Análise de projeto	Aumento do número de componentes ou da complexidade de fabricação
3	Componentes padronizados	Utilizar no máximo 30% de novos componentes	%	Avaliação no decorrer do projeto	Mais do que 30% de novos componentes
4	Custo de fabricação	O custo do sistema modular deve ser menor do que os implementos atualmente fabricados	R\$	Estimativas de custo através de ferramentas específicas	Custo maior ou perda de qualidade.

2.2 Projeto Conceitual

O objetivo desta fase do projeto, é obter a definição conceitual do sistema modular, e para tanto, foram identificadas as estruturas funcionais dos implementos. Antes porém, da identificação das estruturas funcionais, realizou-se delimitação das fronteiras do sistema em estudo. Esta atividade é importante, porque permite que sejam definidas as entradas e saídas de energia, material e sinal envolvidos no processo em estudo. A Figura 2 mostra o desenho esquemático do implemento 1, um escarificador com disco de corte, sendo que os limites do sistema excluem o operador e a fonte de tração, considerando apenas as entradas de energia que estes provêm ao sistema.

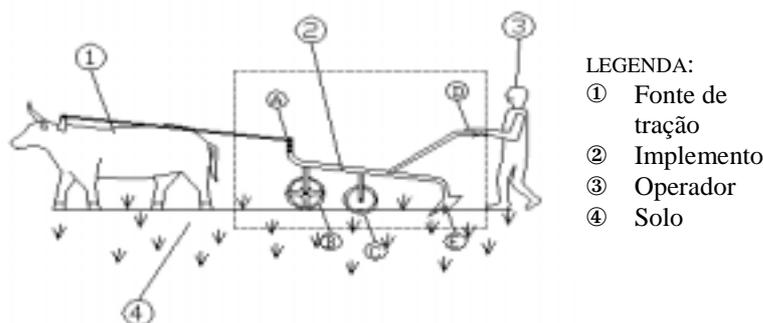


Figura 2: Limites do sistema relativo ao implemento 1.

A identificação das estruturas funcionais, inicia com a interpretação da Função Global do implemento. Na seqüência, a Função Global é desdobrada em Funções Parciais (FP) e Funções Elementares (FE). Como resultado desta atividade, são apresentadas as Funções Elementares que compõem o implemento e a representação gráfica de sua estrutura. Este processo foi repetido para todos os implementos em estudo e durante a identificação das funções, foram encontradas muitas funções comuns entre os implementos. Para simplificar os trabalhos, estas funções comuns foram agrupadas e receberam a mesma numeração, ou seja são tratadas como uma única função, mas que se repete em mais de um implemento. A Tabela 2 mostra a relação de funções de um dos implementos estudados e a Figura 3 a respectiva representação gráfica.

Após a identificação das Funções Elementares dos quatro sistemas em estudo, foram elaboradas Fichas Técnicas contendo informações sobre cada função. Foram catalogadas ao todo, 17 Funções Elementares diferentes. A partir de uma análise das Funções Elementares identificadas e catalogadas, a equipe de projeto decidiu que alguns dos princípios de solução atualmente utilizados, não seriam modificados, ou seja, o sistema modular a ser criado, deverá ser compatível com componentes já existentes. Desta maneira, o sistema modular passou a contar com 6 Módulos Construtivos (MC) já definidos.

Tabela 2: Relação das Funções Elementares do implemento 1.

Resumo do Desdobramento das Funções que Compõem o Implemento 1			
Primeiro desdobramento <u>Função parcial</u>	Segundo desdobramento <u>Função Elementar (FE)</u>	Função Principal: ESCARIFICAR SOLO <i>Interpretação técnica das funções elementares</i>	Numeração das Funções Elementares
1.1	-	Posicionar haste	FE 1.1
1.2	1.2.1	Ajustar torque	FE 1.2.1
	1.2.2	Fixar tração	FE1.2.2
1.3	1.3.1	Dar mobilidade	FE 1.3.1
	1.3.2	Cortar palhada	FE 1.3.2
	1.3.3	Romper solo	FE 1.3.3
1.4	-	Captar força humana	FE 1.4
1.5	-	Auxiliar manobras	FE 1.5

Na seqüência das atividades foram estabelecidas as estruturas funcionais modificadas. Para esta atividade, o seguinte roteiro foi observado: 1) definição da Função Global do sistema modular; 2) definição das Variantes da Função Global do sistema modular; 3) classificação das Funções Elementares identificadas nos quatro implementos; 4) listagem das Funções Elementares necessárias para a execução de cada uma das Variantes da Função Global; 5) criação dos Módulos Funcionais (MF) e, 5) apresentação das estruturas funcionais modificadas compostas pelos Módulos Funcionais.

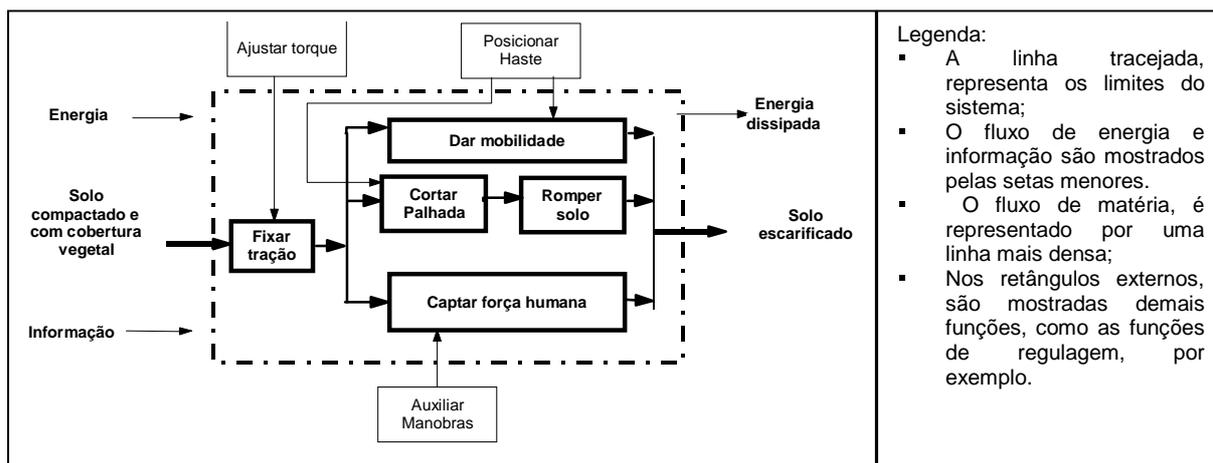


Figura 3: Representação gráfica da estrutura de funcional e sua legenda

Como resultado da realização das atividades descritas, obteve-se um conjunto de 10 Módulos Funcionais. A combinação entre estes módulos em quatro arranjos diferentes, permite que quatro Variantes da Função Global (VFG) sejam atendidas.

Após a definição dos Módulos Funcionais que compõem o sistema modular, os trabalhos são direcionados para a obtenção dos Módulos Construtivos (MC), ou seja, tendo como base os requisitos de projeto e de modularidade, são pesquisados e definidos os princípios de solução adequados para cada um dos Módulos Funcionais. A Tabela 3, mostra a relação total dos Módulos Funcionais do sistema modular.

Tabela 3:Relação dos Módulos Funcionais (MF) do sistema modular.

Denominação	Classificação do módulo	Funções atendidas	Interpretação técnica das funções	Classificação
MF 01	ESPECIAL	FE 1.3.3	ROMPER SOLO	ESPECIAL
MF 02	BÁSICO	FE 1.2.1	AJUSTAR TORQUE	AUXILIAR
		FE1.2.2	FIXAR TRAÇÃO	BÁSICA
MF 03	BÁSICO	FE 1.1	POSICIONAR HASTE	AUXILIAR
		FE 1.3.1	DAR MOBILIDADE	BÁSICO
		FE 1.3.2	CORTAR PALHADA	BÁSICA

Continuação da Tabela 3

MF 04	BÁSICO	FE 1.4	CAPTAR FORÇA HUMANA	BÁSICA
		FE 1.5	AUXILIAR MANOBRAS	AUXILIAR
MF 05	ESPECIAL	FE 2.3.1.1	CAPTAR POTÊNCIA	ESPECIAL
		FE 2.3.1.3	COMPACTAR SOLO	ESPECIAL
		FE 2.6	INTERROMPER DOSAGEM	AUXILIAR
		FE 2.1.2	POSICIONAR RODA COMPACTADORA	AUXILIAR
MF 06	ESPECIAL	FE 2.7	DOSAR ADUBO	ESPECIAL
MF 07	ESPECIAL	FE 2.8	DOSAR SEMENTES	ESPECIAL
MF 08	ESPECIAL	FE 2.3.3	DEPOSITAR ADUBO	ESPECIAL
MF 09	ESPECIAL	FE 2.3.4	DEPOSITAR SEMENTES (CINZEL)	ESPECIAL
			DEPOSITAR SEMENTES (DISCO DUPLO)	
MF 10	ESPECIAL	FE 4.3.3	ABRIR SULCO	ESPECIAL

A pesquisa por princípios de solução que atendessem as funções de cada módulo, foi realizada de forma independente, e para esta atividade foi utilizada a ferramenta conhecida como Matriz Morfológica. Após a aplicação da Matriz Morfológica para cada Módulos Funcional, deparou-se com uma situação nova, devido ao fato de que para cada módulo, foram encontradas mais de uma solução construtiva que atendia as especificações de projeto.

Diante da necessidade de optar entre os princípios de solução indicados, desenvolveu-se uma Matriz de Apoio a Escolha entre Módulos Funcionais, que utiliza como critérios, os requisitos de projeto. Após a aplicação desta matriz, apenas as concepções mais pontuadas, foram consideradas. O último passo para a escolha dos princípios de solução, foi a aplicação dos chamados Critérios de Modularização, a saber: 1)critérios gerais: similaridade entre estruturas funcionais e físicas do sistema modular e; minimização das interações incidentais entre os componentes físicos; 2) critérios específicos: energia, material, sinal, geometrias, entre outros. Com base nos critérios de modularização, foram então selecionados os princípios de solução para os Módulos Construtivos do sistema modular.

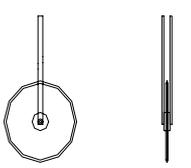
FUNÇÃO ELEMENTAR 1.3.2 ①		FICHA 05 ②
Interpretação técnica: cortar palhada③		
Implementos em que está presente: todos④		
⑤Descrição da função elemental: Cortar a palhada sobre o solo promovendo a menor perturbação possível na cobertura vegetal. O corte é realizado através de cisalhamento, onde o disco é pressionado verticalmente contra o solo. O disco penetra no solo girando sem deslizamento a uma profundidade pré determinada.		
⑥Exemplo de princípio de concepção: Disco metálico		⑦Características: É basicamente composto por um disco metálico, montado em um eixo através de buchas ou rolamentos. O eixo, colocado no centro do disco é fixado a uma espécie de garfo, que por sua vez é fixado a estrutura do implemento. o disco de corte, deve permitir a regulagem da profundidade do corte, o que é feito na maioria das vezes através do garfo.
		
⑧Efeito portado pelo componente do exemplo: cisalhamento		
⑨Classificação do componente: Básico - B		
⑩Observações: O princípio de solução aplicado originalmente nesta função elemental, deve ser mantido		
Entradas: (energia, material, sinal) _____	Saídas: (energia, material, sinal) _____	
_____	_____	
Demais observações:	Possibilidade de união? Sim (X) Não ()	
Tanto esta FE, como a FE 1.3.1, estão ligadas a	Se sim, com quais? FE 1.3.1 – FE 1.1	
FE 1.1. Existem soluções construtivas		
que englobam estas funções.		

Figura 4: Ficha técnica.

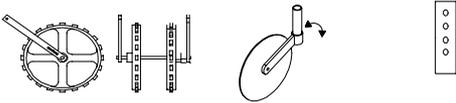
Concepções Alternativas Dos Módulos Funcionais	Alternativas para o Módulo Funcional			
	02	03	04	05
Requisitos técnicos para avaliação das alternativas concepção	I	II	III	IV
1) Menor número de componentes	X	X	X	X
2) Maior facilidade de fabricação		X	X	X
3) Maior rapidez e lógica na montagem	X	X	X	X
4) Menor custo (estimativa)		X	X	X
5) Manutenção mais simples		X	X	X
6) Maior quantidade de materiais recicláveis	X	X	X	X
7) Menor risco de acidentes com transporte e manuseio				X
8) Maior simplicidade nas operações e regulagens	X			X
9) Maior durabilidade	X	X	X	X
10) Maior facilidade de uso em terrenos acidentados	X	X	X	X
11) Menor set-up	X			X
12) Maior facilidade de limpeza após o uso				
13) Maior manobrabilidade				X
14) Maior facilidade de transporte fora do uso				X
15) mais adequados a fontes de tração de pequena potência		X		X
16) Maior facilidade de acoplamento a tração	X			
17) Maior confiabilidade	X	X	X	X
18) aspecto mais robusto	X	X	X	X
Somatório dos requisitos de cada alternativa de concepção	9	1	7	8
	11	4	11	10
	1	4	2	10
	3			

Figura 5: Matriz de Apoio a Escolha de MF.

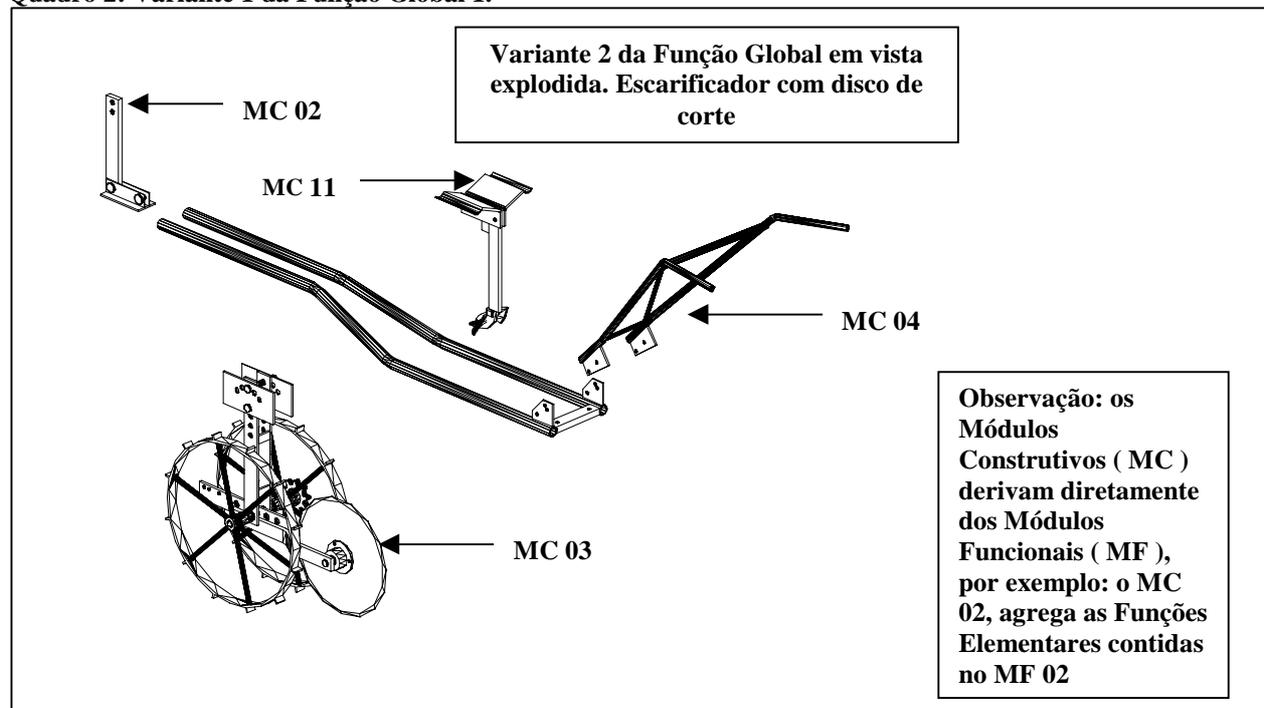
As figuras 4 e 5 mostram as ferramentas desenvolvidas para auxiliar no desenvolvimento do projeto. A partir da aplicação destas ferramentas, juntamente com as tradicionais já citadas, foi possível obter a definição conceitual do sistema modular. No Quadro 1, são mostrados dois Módulos Construtivos, juntamente com algumas observações sobre as decisões tomadas, suas denominações e funções por eles portadas. No quadro 2 e 3, são mostradas em uma representação esquemática as Variantes 1 e 2 da Função Global respectivamente.

O próximo passo, na seqüência dos trabalhos, é o desenvolvimento do Projeto Preliminar do Sistema Modular, fase está, que com base em critérios técnicos e econômicos entre outros, terá como resultado as definições preliminares sobre geometrias, dimensões, interfaceamento entre módulos e etc.

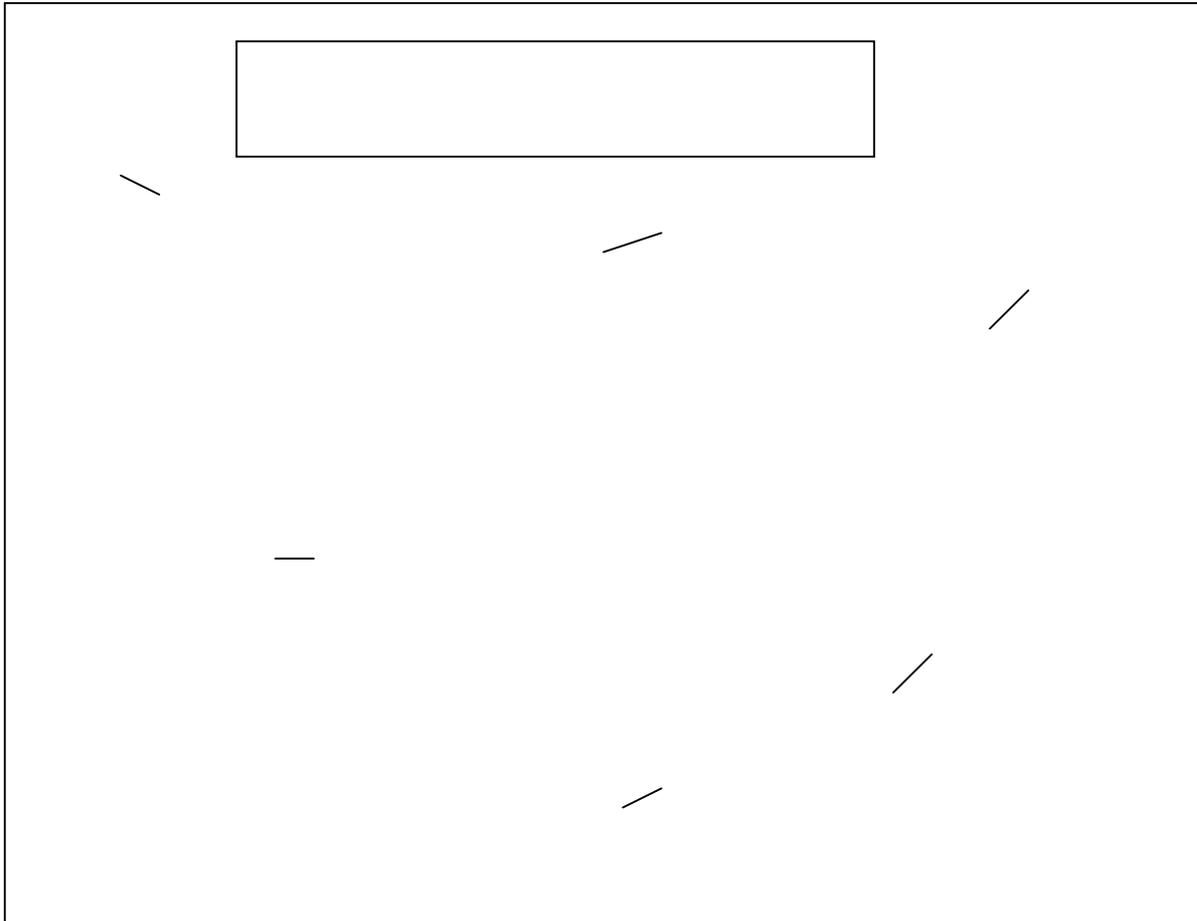
Quadro 1: Módulos Construtivos Básicos.

Nome	Funções	Princípios de solução empregados
MC 02	<ol style="list-style-type: none"> 1 Ajustar momento 2 Fixar tração 	 <p>A opção por estes princípios de concepção se justificam pela simplicidade de sua construção. A fixação por parafuso e porca foi descartada, devido ao tempo de fixação e maior necessidade de ferramentas para a montagem.</p>
MC 03	<ol style="list-style-type: none"> 3 Posicionar haste; 4 Dar mobilidade 5 Cortar palhada. 	 <p>Para dar mobilidade, a opção pelas rodas duplas está ligada as informações obtidas com pessoas que tiveram ligação direta, com testes desenvolvidos neste tipo de equipamentos e que, segundo as mesmas, o corte da palhada acontece de forma mais regular, quando as rodas estão próximas e nos dois lados do disco, ao invés de estarem imediatamente a sua frente. Destes mesmos testes de campo, resultou também a informação de que os discos de corte que apresentavam um movimento relativo, ou seja, não eram rígidos, apresentavam melhor desempenho, por desviarem de pequenos obstáculos encontrados no caminho.</p> <p>A chapa com furos, como forma de ajuste da posição da haste, é de simples fabricação, e dispensa ferramentas para set up.</p>

Quadro 2: Variante 1 da Função Global 1.



Quadro 2: Variante 2 da Função Global.



3 Conclusão

Os resultados até então obtidos, com a aplicação de uma metodologia de projeto a um grupo de quatro implementos agrícolas, demonstram que uma das maiores dificuldades encontradas pela equipe está na organização das informações coletadas, juntamente com as tomadas de decisão peculiares a atividade de projeto. Como resultados desta primeira aplicação, estes dois aspectos fizeram com que a equipe desenvolvesse duas ferramentas de auxílio.

A primeira delas, denominada Ficha Técnica, foi de fundamental importância na organização das informações coletadas, permitindo que de forma simples, fosse possível confrontar as diversas funções catalogadas e assim iniciar a definição dos módulos, agrupando as funções comuns ou semelhantes, identificando semelhanças construtivas, ou ainda restrições de união entre as mesmas.

A segunda ferramenta, denominada Matriz de apoio a escolha de MF, foi desenvolvida com o intuito de auxiliar na escolha dos princípios de solução, visto que em muitos casos, existiam mais de uma combinação de princípios que atendiam a especificações de projeto. É certo também que neste caso, trata-se apenas de um desenvolvimento inicial, e prova disso é que a própria equipe que está desenvolvendo a metodologia que foi utilizada, está trabalhando para aperfeiçoar e implementar computacionalmente esta ferramenta, o que mostra que estamos no caminho certo.

De um modo geral, conclui-se que este trabalho permitiu a equipe de projeto avançar significativamente, rumo ao domínio da técnica de projeto, além de apresentar soluções inovadoras para implementos até então fabricados de forma praticamente artesanal.

Finalizando, acredita-se também ter contribuído de forma significativa para o desenvolvimento de produtos agrícolas destinados a pequenos produtores, se confirmadas as expectativas, poderão ser obtidas reduções de custo e massa dos implementos, aspectos estes citados como críticos, além de uma maior facilidade de fabricação. Quanto a metodologia aplicada no desenvolvimento, os resultados são reais, por apontar aos pesquisadores passo a passo, as dificuldades e vantagens encontradas ao longo da aplicação, contribuindo assim para o desenvolvimento desta em tempo real.

4 Bibliografia

- 1) BACK, Nelson, FORCELLINI, F. A., **Projeto de Produtos**. Notas de aula da disciplina Projeto Conceitual, do curso de Pós-graduação em eng. Mecânica. UFSC, 1996.
- 2) CASTALDO, E. Cardoso. **Desenvolvimento, construção e testes de um picador para coberturas vegetais**. Florianópolis, 1999. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Santa Catarina.
- 3) MARIBONDO, Jucelino de Farias. **Diretrizes para o Desenvolvimento de uma Metodologia de Projeto de Sistemas Modulares**. COBEM-99. Águas de Lindóia, SP Nov. 22 a 26.
- 4) PIZZATO, Alex. **Desenvolvimento de uma Sistemática de Apoio ao Projeto de Móveis Modulares**. Florianópolis, SC: Curso de Pós-graduação em eng. Mecânica -CTC-EMC-UFSC, 1998.(Dissertação de Mestrado).
- 5) WEISS, Augusto. **Desenvolvimento e Adequação de Implementos para Mecanização Agrícola nos Sistemas Conservacionista em Pequenas Propriedades**. Florianópolis, SC: Curso de Pós-graduação em eng. de Produção –CTC-EPS-UFSC, 1998. (Tese de Doutorado).