

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

**PROJETO CONCEITUAL DE SISTEMAS DE ASSENTO
PARA CADEIRA DE RODAS: UMA ABORDAGEM SISTEMÁTICA**

Helton Scheer de Moraes

Porto Alegre

2009

HELTON SCHEER DE MORAES

**PROJETO CONCEITUAL DE SISTEMAS DE ASSENTO
PARA CADEIRA DE RODAS: UMA ABORDAGEM SISTEMÁTICA**

Dissertação de mestrado apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Design como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Design, na Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Orientador: Prof. Vilson João Batista, Dr. Eng.

**Porto Alegre
2009**

M827p Moraes, Helton Scheer de

Projeto conceitual de sistemas de assento para cadeira de rodas: uma abordagem sistemática / Helton Scheer de Moraes. – 2009.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia e Faculdade de Arquitetura. Programa de Pós-Graduação em Design. Porto Alegre, BR-RS, 2009.

Orientador: Prof. Dr. Vilson João Batista

1. Tecnologia assistiva. 2. Design de produto. 3. Cadeira de rodas. I. Batista, Vilson João, orient. II. Título.

CDU-620.1(043)

HELTON SCHEER DE MORAES

**PROJETO CONCEITUAL DE SISTEMAS DE ASSENTO
PARA CADEIRA DE RODAS: UMA ABORDAGEM SISTEMÁTICA**

Esta dissertação foi analisada e julgada adequada para a obtenção do título de mestre em DESIGN e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela banca examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Design, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Vilson João Batista, Dr. Eng.
Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Marcos Pinotti Barbosa, Dr. Eng.
Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

Prof. Rafael Antônio Comparsi Laranja, Dr. Eng.
Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Luterana do Brasil – ULBRA

Prof. Wilson Kindlein Jr., Dr. Eng.
Departamento de Materiais
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Helga e Alcino, por terem desde sempre me ensinado a importância e o valor do estudo

À minha esposa Natalia e ao meu enteado Camilo, pelo amor, pela paciência, e por todos os tipos de apoio que tornaram possível a existência desta dissertação

Ao meu orientador, Prof. Vilson Batista, pela oportunidade que me foi dada, pelo estímulo contínuo, e pelo entusiasmo que demonstra com relação à pesquisa em tecnologia assistiva

À Professora Tânia Koltermann da Silva, pelo interesse espontâneo no meu trabalho, e pela orientação metodológica de altíssimo nível e incalculável valor

Ao povo brasileiro, cuja contribuição anônima favorece enormemente o desenvolvimento da pesquisa nas universidades públicas

RESUMO

Esta dissertação consiste em um estudo teórico exploratório sobre o projeto sistemático de sistemas de assento especiais para cadeiras de rodas, com ênfase em seus aspectos conceituais e funcionais. De acordo com os princípios da tecnologia assistiva – que consiste no uso de tecnologias para o atendimento das necessidades de pessoas com deficiência – o objetivo das ajudas técnicas deve ser a promoção da atividade e participação social através da compensação de deficiências, promovendo a funcionalidade. Assim, foi feita uma revisão da literatura a respeito da adequação postural do usuário de cadeira de rodas, e dos fatores que contribuem para sua saúde, sua funcionalidade e seu conforto ou desconforto na posição sentada, permitindo a identificação de suas necessidades explícitas e implícitas. Com o uso da Metodologia de Projeto Sistemático de Pahl e Beitz, da Metodologia de Projeto Axiomático e da Teoria da Solução dos Problemas Inventivos (TRIZ), foi elaborada uma lista de requisitos funcionais através do mapeamento entre o domínio das necessidades do usuário e o domínio funcional do sistema de assento. Em seguida, elaborou-se uma estrutura funcional, demonstrando os principais elementos e conexões funcionais do sistema, sendo por fim comentados e propostos alguns princípios de solução para cada uma das sub-funções principais encontradas, envolvendo a análise de princípios de solução de sistemas existentes e de sistemas análogos em outras áreas tecnológicas. Concluiu-se que a imobilidade é o fator primário que desencadeia os diversos problemas de saúde e funcionalidade do usuário associados ao uso destes sistemas de assento, e que portanto a função principal desses sistemas deve ser a de permitir, facilitar e promover positivamente a alternância frequente de posição. Além disso, verificou-se o papel fundamental dos fluxos de informação responsáveis pela determinação do propósito homeostático da movimentação, que objetiva a redistribuição contínua das tensões locais nos tecidos, além do favorecimento da ação motora voluntária pela estabilização e mobilização seletiva de movimentos corporais.

Palavras-Chave: assentos para cadeiras de rodas, projeto sistemático, tecnologia assistiva, deficiência, adequação postural.

ABSTRACT

This work is an exploratory theoretical study on systematic design of special wheelchair seating systems, emphasizing its conceptual and functional aspects. According to the principles of assistive technology – which consists in the use of technologies applied to the caring of the needs of people with disabilities – the objectives of technical aids should be the promotion of optimal individual functionality. Thus, a literature review has been made on the theme of postural seating clinic, and the factors related to the health, the functionality, and the comfort or discomfort in the sitting position, allowing the identification of many explicit and implicit needs. By using the Systematic Design approach of Pahl & Beitz, complemented by some principles of Axiomatic Design and TRIZ, a functional requirements list has been made, consisting in the mapping between the customer needs in the customer domain and the functional requirements in the functional domain. In the next step, a functional structure has been created, showing the main functional elements and connections of the seating system, followed by the proposal of some working principles regarding the main identified sub-functions, including the analysis of analog technical systems of other technological fields. It was concluded that immobility is the main causative factor leading to the many functional and health problem associated with the sitting position, and therefore the main function of special seating systems must be to allow and actively promote frequent position changes. Moreover, it has become evident that information flows have a capital importance in proper functioning of seating systems, since they convey the homeostatic purpose of the movements being made, in order to continually redistribute and alleviate the local soft tissue deformations, and to promote the selective stabilization and motion of body segments that permit functional motor action.

Keywords: wheelchair seating systems, systematic design, assistive technology, disability, seating clinic.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Contextualização e Delimitação	11
1.1.1 A atenção à pessoa com deficiência	11
1.1.2 Particularidades do projeto de produtos em TA.....	14
1.1.3 O projeto de sistemas de assento para cadeiras de rodas.....	15
1.2 Justificativa.....	16
1.3 Formulação do Problema de Pesquisa	17
1.4 Objetivo Geral	18
1.5 Objetivos Específicos	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 Evolução histórica dos sistemas de assento para cadeiras de rodas ..	20
2.2 Interações físicas entre o corpo humano e as superfícies de suporte.	28
2.3 Integridade tecidual e úlceras de pressão	35
2.4 Adequação postural	41
2.5 Conforto e desconforto	45
2.6 Aspectos de outras disciplinas relevantes ao problema.....	49
2.6.1 Ergonomia	49
2.6.2 Projeto de assentos na indústria de veículos.....	52
2.6.3 Conforto térmico	53
2.7 Referencial Metodológico	55
2.7.1 Projeto Sistemático.....	57
2.7.2 Projeto Axiomático.....	62
2.7.3 TRIZ – A Teoria da Solução dos Problemas Inventivos	65
2.7.4 Representação Funcional	67
3 METODOLOGIA	71
3.1 Identificação das necessidades.....	71
3.2 Formulação do problema de projeto.....	71

3.3	Elaboração da lista de requisitos.....	72
3.4	Estruturação funcional.....	72
3.5	Estruturação operacional	73
4	DESENVOLVIMENTO	74
4.1	Identificação das necessidades.....	74
4.2	Formulação do problema de projeto.....	76
4.2.1	A interação entre o sistema técnico e o organismo humano	82
4.2.2	A natureza homeostática do controle postural.....	83
4.2.3	O controle postural na pessoa com deficiência	84
4.2.4	Formulação final do problema de projeto	86
4.3	Elaboração da lista de requisitos.....	88
4.4	Estruturação funcional.....	91
4.4.1	Função manter posição sentada ou reclinada	92
4.4.2	Função manter integridade anatômica e fisiológica.....	93
4.4.3	Função permitir atividade funcional	94
4.4.4	Função diminuir esforço físico e mental	96
4.4.5	Subdivisão das funções principais em funções elementares.....	96
4.4.6	Estruturação das funções elementares	98
4.5	Estruturação operacional	101
4.5.1	Sub-função sentar: ocupar e desocupar assento	102
4.5.2	Sub-função trocar (periodicamente) de posição	104
4.5.3	Sub-função manter passivamente a integridade tecidual	106
4.5.4	Sub-função manter ativamente integridade tecidual.....	111
4.5.5	Sub-função permitir atividade funcional.....	113
4.6	Considerações sobre as leis de evolução dos sistemas técnicos aplicadas aos sistemas de assento.....	115
5	CONCLUSÕES.....	121
5.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	123
	ANEXO A – 40 princípios para remoção de contradições técnicas	137
	ANEXO B – 39 Parâmetros elementares dos sistemas técnicos.....	139

ANEXO C – As 14 heurísticas de Glazunov para contradições físicas.....	140
ANEXO D – Base Funcional de acordo com Hirtz <i>et al.</i> (2002, PP. 76-81) ..	141

1 INTRODUÇÃO

A atenção à pessoa com deficiência tem adquirido crescente importância em nossa sociedade, sendo objeto de diversas políticas públicas que buscam promover a inclusão e a participação através de medidas como acessibilidade, trabalho, educação, transporte e atendimento de saúde. Uma estratégia que busca a compensação da deficiência, promovendo a funcionalidade e a atividade das pessoas com essa condição, é o uso de tecnologias assistivas (TA), a qual consiste em produtos ou sistemas que substituem estruturas e funções ausentes ou perdidas. A tecnologia assistiva se divide em várias áreas, sendo uma delas os sistemas de adequação postural, cujo projeto conceitual será abordado neste trabalho.

O projeto de assentos para cadeiras de rodas, assim como de outros dispositivos de TA, apresenta algumas peculiaridades que o diferenciam do projeto de outros dispositivos técnicos, como bens de consumo ou bens de produção. Em primeiro lugar, são sistemas que devem atender necessidades complexas, associadas à prática clínica de profissionais de saúde, os quais costumam aplicar os conhecimentos disciplinares de suas especialidades para a prescrição e implementação de equipamentos de adequação postural para uma grande variedade de acometimentos. Esse contexto predominantemente clínico fez com que os sistemas de assento, enquanto dispositivos técnicos, não fossem desenvolvidos em um contexto planejado e sistemático, mas antes num contexto empírico de melhoria contínua dos sistemas mais simples originalmente disponíveis, dependendo fortemente da experiência pessoal do profissional e carecendo de uma metodologia universalmente aceita.

A necessidade de tradução das necessidades do usuário e dos requisitos terapêuticos em parâmetros de projeto torna necessária a participação de profissionais de saúde e de profissionais com formação tecnológica responsáveis pelo projeto e fabricação em um contexto interdisciplinar. Entretanto, as diferenças entre os pressupostos metodológicos dos profissionais de saúde e dos profissionais de engenharia tendem a fazer com que as informações sobre as necessidades do usuário e dos requisitos funcionais desejados para o sistema possam ser transmitidas para o projetista de forma inconsistente ou fragmentada. Além disso, como em qualquer empreendimento industrial, a fabricação e comercialização de artigos de adequação postural sofrem restrições de ordem econômica, o que limita a viabilidade do desenvolvimento intensivo de pesquisas pelo setor privado. Por fim, como o mercado é ainda

relativamente pequeno, a ausência de opções dificulta a avaliação do bom desempenho de um sistema de assento em termos absolutos.

Este trabalho de caráter exploratório buscou analisar na literatura a estrutura dos problemas enfrentados pelas pessoas que têm deficiência e que necessitam do uso de assentos especiais. A partir dessa análise, foram aplicadas metodologias de projeto de sistemas técnicos, visando determinar a natureza real dos requisitos funcionais desses produtos, contribuindo assim para o estabelecimento de parâmetros consistentes para o projeto conceitual de assentos para pessoas com deficiência, baseados na integração de referenciais teóricos interdisciplinares.

1.1 Contextualização e Delimitação

1.1.1 A atenção à pessoa com deficiência

Segundo a Declaração dos Direitos das Pessoas com Deficiência, a definição de pessoa com deficiência é a seguinte:

“Pessoas com deficiência são aquelas que têm impedimentos de longo prazo de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, os quais, em interação com diversas barreiras, podem obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdade de condições com as demais pessoas.” (ONU, 2007)

Historicamente, as pessoas com deficiência foram durante muito tempo vistas como um grupo à parte da sociedade. Segundo a “teoria da tragédia pessoal”, a deficiência era vista como um evento terrível que ocorria ao acaso com alguns indivíduos desafortunados. Dessa forma, a incapacidade se originaria no indivíduo, derivando das perdas corporais, funcionais ou psicológicas sofridas por esse indivíduo (OLIVER, 1990).

Durante o século XX, a reivindicação associada aos direitos humanos levou à rejeição a um determinado modelo de tratamento social da deficiência, o qual ficou conhecido como o “Modelo Individual”, ou “Modelo Médico” de incapacidade (OLIVER, 1990; OMS, 2003). Nesse modelo, o conceito de *deficiência* fica implicitamente vinculado ao conceito de *doença*, o que implica que algo necessita ser *curado*, havendo assim a ênfase no tratamento clínico da deficiência como principal meio de combater a incapacidade. Através dessa cura, que ocorreria quando a deficiência

fosse compensada ou remediada, o indivíduo *retornaria ao normal* e dessa forma recuperaria sua participação na sociedade. A medicalização da deficiência também faz com que as pessoas com deficiência fiquem subordinadas à abordagem prescritiva dos profissionais de saúde, cuja avaliação serve de base para decisões a respeito de diversos aspectos da participação daquelas pessoas – que equipamento deverão utilizar, que escola deverão frequentar, que atividade de trabalho serão capazes de desempenhar.

Nas últimas décadas, tanto as políticas sociais quanto a visão dos profissionais de saúde sobre a deficiência têm se baseado no *Modelo Social* de deficiência e incapacidade (OMS, 2003). Esse modelo considera diferenças conceituais entre integridade, atividade e participação, conforme as seguintes definições (OMS, 2003):

- a) Funções do corpo são as funções fisiológicas dos sistemas orgânicos, incluindo as psicológicas;
- b) Estruturas do corpo são os componentes anatômicos do corpo;
- c) Deficiências são problemas nas funções ou estruturas do corpo;
- d) Atividade é a execução de uma tarefa ou ação¹;
- e) Participação é o envolvimento em uma situação de vida real;
- f) Limitações de atividade são dificuldades para executar tarefas;
- g) Restrições de participação são problemas enfrentados quando o indivíduo está envolvido em situações da vida real;
- h) Incapacidade é a condição que existe quando há limitação da atividade ou restrição da participação

De acordo com o Modelo Social, há uma desvinculação dos conceitos de *doença*, *deficiência* e *incapacidade*, sendo esta última decorrente da interação do indivíduo com a sociedade. As restrições de participação decorrem, portanto, das limitações impostas pela sociedade à pessoa que tem deficiência, e a recuperação da funcionalidade deve ser buscada através de modificações na sociedade, favorecendo a inclusão e a valorização da diversidade (OMS, 2003). Dessa forma, a incapacidade ou dificuldade de realização de tarefas pode ser transformada em possibilidade funcional e participação, se for devidamente provido o acesso e os recursos neces-

¹ Entende-se que a capacidade de executar uma tarefa em um ambiente controlado (por exemplo, uma clínica de reabilitação) não garante que haverá participação, pois esta depende também de fatores ambientais.

sários para este indivíduo. Por exemplo, a autonomia em mobilidade pode existir para uma pessoa com deficiência física, se ela possuir uma cadeira de rodas adequada e se em sua cidade houver um planejamento urbano acessível.

Uma das formas de atenção às necessidades das pessoas com deficiência é a aplicação da tecnologia assistiva (TA), definida pela legislação brasileira como:

“Uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social”
(BRASIL, 2007).

Através dos serviços de tecnologia assistiva são oferecidas ajudas para a definição e seleção do recurso apropriado, encaminhamento para agentes financiadores, ajuste e personalização, treinamento, implementação, e seguimento do usuário.

A Tecnologia Assistiva se divide em diversas sub-áreas, dependendo do tipo de funcionalidade que ela busca recuperar (KING, 1999):

- a) Comunicação aumentativa e alternativa (CAA);
- a) Auxílio para acesso ao computador;
- b) Auxílio para atividades de vida diária (AVD);
- c) Educação e aprendizagem alternativas;
- d) Modificações ambientais;
- e) Dispositivos para baixa audição;
- f) Dispositivos para baixa visão;
- g) Próteses e órteses;
- h) Lazer e recreação;
- i) Mobilidade e transporte;
- j) Adequação postural;

Estes dois últimos itens em geral são utilizados em conjunto através das cadeiras de rodas. Existe nas cadeiras de rodas um componente veicular, que é responsável por características como estabilidade, manobrabilidade, autonomia, eficiência de propulsão, raio de giro, conforto ao rodar e amortecimento de vibrações; e um componente de adequação postural, relacionado ao conforto, facilitação de ativi-

dades motoras, prevenção e correção de deformidades, estabilização da posição da cabeça e facilitação de cuidados por assistentes. De modo geral, esses dois componentes se encontram integrados no projeto das cadeiras de rodas, embora a tendência para alguns modelos, especialmente os elétricos, seja separar o componente postural do componente veicular através da modularização (WATSON e WOODS, 2005).

1.1.2 Particularidades do projeto de produtos em TA

O projeto e a fabricação de dispositivos de TA tem características especiais quando comparado aos projetos de produto em geral, que usam o conceito de normalidade. Para itens de consumo produzidos em massa, restrições de mercado e de processos fazem com que seja recomendável a aplicação de economias de escala, baixando o custo do produto final através da padronização e serialização da produção. Já para os produtos de TA, ocorre o oposto, já que as pessoas com deficiência apresentam condições excepcionais que exigem soluções diferenciadas, com um nível maior de atenção à usabilidade e à inclusão da diversidade (DONG, 2007).

Outro aspecto próprio do projeto de produtos de TA é que, uma vez que o usuário apresenta limitações de funcionalidades e capacidades, deve haver uma ênfase no desempenho funcional dos produtos. Isto significa que mais atenção deve ser dada à qualidade estrutural, funcionalidade, usabilidade e durabilidade do produto, pois este será utilizado em um contexto onde há baixa tolerância a falhas, e onde a possibilidade de contornar eventuais deficiências de projeto é menor.

Ao ser considerado o aspecto econômico dos produtos de TA, cabe ressaltar que as pessoas com deficiência, especialmente nos países em desenvolvimento, apresentam um grau variável de exclusão econômica, devido às dificuldades de acesso à educação e ao mercado de trabalho, e portanto não representam um mercado consumidor capaz de estimular grandes investimentos privados no desenvolvimento de produtos (ONU, 2006). Mesmo nos países desenvolvidos, a concessão de TA necessita de aprovação de agências financiadoras, vinculada ao julgamento clínico de um profissional de saúde (SCHMELER e BUNING, 1999). Além disso, não havendo verificação científica quanto à necessidade ou utilidade de determinados

recursos dos sistemas de assento, as oportunidades de financiamento ficam bastante comprometidas (HOBSON e CRANE, 2001).

Transformar as necessidades do usuário em requisitos de projeto é o primeiro desafio de uma iniciativa de desenvolvimento de produto industrial, e recomenda-se que isso seja feito logo nos estágios iniciais de projeto (EUSTAT, 1998). Entretanto, historicamente o projeto de bens de consumo tem sido determinado mais por requisitos de engenharia e fabricação do que pelas necessidades dos usuários (ETCHELL e YELDING, 2004)

1.1.3 O projeto de sistemas de assento para cadeiras de rodas

Para os usuários de cadeiras de rodas, é essencial que o sistema de assento e seus acessórios contribuam ativamente para a qualidade de vida, maximizando a função física remanescente e aumentando o bem-estar social e psicológico, o que pode ser feito pela promoção da viabilidade tecidual, da postura saudável, e da mobilidade e funcionalidade ótimas (COGGRAVE e ROSE, 2003). Entretanto, essas mesmas indicações estão diretamente associadas aos principais problemas associados ao uso de cadeiras de rodas, que são (ENGSTRÖM, 2002; COOPER *et al.*, 2006):

- a) Lesões de tecidos moles devido à pressão contra a superfície de assento;
- b) Desvios da coluna vertebral gerados pelo mau posicionamento crônico;
- c) Sensação de desconforto, fadiga e dor devido ao uso do assento;
- d) Dificuldade em realizar atividades de vida diária devido a limitações físicas associadas à cadeira ou ao assento.

Usuários com diminuição ou ausência da sensibilidade devido a comprometimento neurológico, como paralisia cerebral, lesão medular e esclerose múltipla, apresentam dificuldades para perceber concentrações excessivas de pressão na região do assento, e alterações das propriedades teciduais fazem com que esse grupo seja especialmente propenso ao desenvolvimento de úlceras de pressão (AISSAOUI *et al.*, 2001; LINDER-GANZ *et al.*, 2008). Entretanto, os mecanismos fisiopatológicos relativos ao desenvolvimento de úlceras de pressão ainda não estão totalmente compreendidos, e embora tenha havido uma diminuição significativa na incidência dessas lesões após a introdução de alguns tipos de equipamentos, até recentemente

te nenhum sistema se mostrou totalmente satisfatório (BRIENZA *et al.*, 2001; MILLER, 2007).

Outro fenômeno que vem chamando a atenção dos profissionais de TA é o abandono dos equipamentos, apesar de muitas vezes haver um sucesso inicial durante a implementação do uso sob acompanhamento dos terapeutas (KING, 1999; DING *et al.*, 2008). Há o risco de considerar a TA apenas como objetos técnicos compensatórios, sem avaliar o projeto de vida do usuário individual, havendo casos onde aspectos relacionados com o retorno ao lar após alta hospitalar tenham sido subestimados, levando ao fracasso da intervenção (EUSTAT, 1998).

O fator mais importante no abandono da TA parece a falha em considerar as opiniões e preferências do usuário (CEDAT, 2003). Com muita frequência as expectativas que o usuário tem com uma ferramenta não se realizam porque suas metas, necessidades percebidas e preferências não são levadas em consideração (KINTSCH e DEPAULA, 2002). Essa dificuldade é agravada pelo fato de que muitos usuários apresentam déficit cognitivo ou de comunicação, tornando complexa ou impossível a tarefa de conhecer diretamente suas necessidades e desejos, tanto de forma individual quanto coletivamente.

1.2 Justificativa

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 14,5% da população brasileira apresenta algum tipo de deficiência, o que corresponde a 24,5 milhões de pessoas. Além disso, 70% dessas pessoas vivem abaixo da linha da pobreza, 33% são analfabetos ou têm até 3 anos de escolaridade, que 90% estão fora do mercado de trabalho (BRASIL, 2000). Com relação às estatísticas mundiais, apresentam-se os seguintes dados:

- a) Cerca de dez por cento da população mundial – em torno de 650 milhões de pessoas – possui alguma deficiência, correspondendo à mais numerosa minoria do mundo;
- b) Em países com expectativas de vida superior a 70 anos, indivíduos passam em média oito anos, ou cerca de 11,5 % de seu tempo de vida, vivendo com alguma deficiência;

- c) A prevalência de deficiências é maior em grupos de pessoas com menor grau de instrução;
- d) Nos Estados Unidos, em 2004, apenas 35% da população economicamente ativa com deficiência estava empregada, enquanto na população sem deficiência essa porcentagem era de 78%. Entretanto, no mesmo país em 2002, o índice de permanência no emprego das pessoas com deficiência foi de 85% após um ano, sendo maior do que o índice das pessoas sem deficiência (ONU, 2006).

Estatísticas internacionais apontam que a Inglaterra gasta anualmente entre 180 e 321 milhões de libras para o tratamento de úlceras de pressão, das quais 36 a 50% são resultantes do uso de cadeiras de rodas (APATSIDIS; SOLOMONIDIS e MICHAEL, 2002). Estima-se que de 7 a 23% dos pacientes hospitalizados nos Estados Unidos apresentem úlceras por pressão, e de 5 a 10% dos usuários de cadeiras de rodas apresentam um episódio de úlcera por pressão por ano (WHITTINGTON; PATRICK e ROBERTS, 2000; SMITH, 2003).

O projeto de superfícies de suporte adequadas, que minimizem os fatores de lesão e potencializem o conforto e a atividade dos usuários de cadeiras de rodas, requer uma profunda compreensão dos elementos causadores de lesão, dos mecanismos preventivos propostos, e da relação entre as condições mecânicas desejadas, os materiais utilizados, e a forma com que os processos de fabricação influem no comportamento final desses produtos, na viabilidade de sua produção, e nos fatores humanos envolvidos no uso desses equipamentos (BRIENZA *et al.*, 2001; OOMENS *et al.*, 2008).

1.3 Formulação do Problema de Pesquisa

Com base no exposto, percebe-se que o projeto de sistemas de assento para cadeiras de rodas ainda não se encontra em um estágio ótimo de evolução, apresentando as seguintes limitações principais:

- a) As causas dos problemas de saúde relacionados ao uso de assentos não estão completamente conhecidas, e os avanços recentes do conhecimento científico interdisciplinar ainda não foram incorporados aos projetos;

- b) As soluções comercialmente existentes resolvem o problema apenas parcialmente, ou acabam criando problemas adicionais;
- c) O sucesso das intervenções clínicas envolvendo tecnologias de adequação postural depende da competência e do julgamento subjetivo de cada profissional, dificultando a criação e validação de parâmetros universais;
- d) A natureza dos problemas e necessidades de cada usuário final é muito variável, tornando necessária a correta associação entre as necessidades do usuário e os princípios formais de solução, para que a intervenção de adequação postural seja satisfatória;
- e) A identificação das necessidades dos usuários, a criação de requisitos funcionais, e sua disponibilização para equipes de projeto não ocorre de forma sistematicamente estruturada, e portanto não há requisitos consistentes que possam orientar esses profissionais no projeto e fabricação de assentos para cadeiras de rodas.

Dessas constatações, podemos formular o seguinte problema de pesquisa: *como os parâmetros de forma e função dos sistemas de assento para cadeiras de rodas podem ser estabelecidos através de metodologias de projeto, de forma a atender adequadamente as necessidades e características de seus usuários?*

1.4 Objetivo Geral

Estabelecer princípios funcionais e formais para o projeto de sistemas de assento para cadeiras de rodas, visando o atendimento das necessidades de saúde, funcionalidade e participação social de seus usuários.

1.5 Objetivos Específicos

- a) Identificar as necessidades explícitas e implícitas de usuários de cadeiras de rodas referentes às suas deficiências e limitações, e à forma como os sistemas de assento contribuem positiva ou negativamente para a satisfação dessas necessidades;

- b) Analisar a estrutura dos problemas que caracterizam as necessidades dos usuários, bem como as condições que deveriam ser satisfeitas para que as situações problemáticas pudessem ser consideradas resolvidas;
- c) Desenvolver as etapas conceituais do projeto de um sistema de assento;
- d) Analisar os resultados das etapas anteriores, buscando identificar limitações dos métodos utilizados e dos resultados obtidos, bem como oportunidades para o aprofundamento das pesquisas sobre o tema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo descreve o desenvolvimento do uso de assentos especiais em um contexto clínico e tecnológico, revisando alguns fatores físicos envolvidos na interação entre a pessoa e a superfície de assento. Além disso, apresenta e discute o conhecimento científico sobre os fatores envolvidos no comprometimento da integridade tecidual, descreve as práticas habituais da disciplina de adequação postural, e traz algumas considerações sobre a caracterização do conforto e do desconforto relativos à posição sentada. São incluídas também informações das áreas de ergonomia de posto de trabalho, projeto de assentos de veículos, e conforto térmico, onde foram encontradas analogias relevantes para o tema do projeto de assentos especiais.

2.1 Evolução histórica dos sistemas de assento para cadeiras de rodas

O uso de cadeiras de rodas apresenta registros desde a antiguidade entre chineses, gregos e romanos, tendo aumentado gradualmente ao longo da idade moderna, geralmente usando materiais como madeira, metal e vime, e servindo principalmente para que pessoas pudessem ter maior mobilidade em casa ou ser carregadas por assistentes (SAWATZKY, 2002). Com o advento dos automóveis, Herbert Everest, um minerador com paraplegia, e Harry C. Jennings, um engenheiro mecânico, projetaram e construíram um modelo dobrável de forma que o equipamento pudesse ser guardado em um porta-malas de carro, dando origem ao modelo clássico de cadeira de rodas dobrável, e a uma das primeiras fábricas de cadeiras de rodas em série do mundo (FIELDS, 2003). Essa mesma configuração de projeto – que apresenta estrutura em X e superfícies de suporte flexíveis – é produzida até hoje, e pode ser vista na Figura 1.



Figura 1. Cadeira de rodas dobrável Everest & Jennings Traveller®²

Em comparação com equipamentos anteriores maiores e mais pesados, este modelo proporciona maior mobilidade às pessoas com deficiência, especialmente aos paraplégicos com boa movimentação de membros superiores, permitindo a propulsão manual e a integração a outros meios de transporte. Entretanto, a falta de ajustes e o acolchoamento limitado do assento e do encosto flexíveis podem não ser suficientes para promover conforto e função adequados a todos os usuários, especialmente àqueles cuja limitação física é maior (MAY *et al.*, 2004).

A necessidade de garantir, além de mobilidade, um cuidado maior com a manutenção da integridade tecidual, manejo de incontinência, função digestiva e respiratória, assim como prevenção de deformidades esqueléticas, fez com que o desenvolvimento de sistemas de assento especial emergisse em um contexto predominantemente pediátrico, e depois fosse ampliado para a população adulta (WATSON e WOODS, 2005). Enquanto nos Estados Unidos essa especialidade teve seus fundamentos embasados nas práticas e nos conhecimentos dos terapeutas ocupacionais, na Inglaterra os primeiros a fabricar assentos especiais foram engenheiros que aplicaram conhecimento de engenharia aos problemas clínicos. Embora inicialmente algumas soluções envolvessem abordagens distintas, a cooperação entre pesquisadores logo fez com que as soluções tomassem uma forma bastante semelhante (WATSON e WOODS, 2005).

² Fonte:

<http://www.grahamfield.com/nosync/productimagesV2/400/ProductImageItem902_400.jpg>;
Acesso em 08 jun 2009

Uma prática que se consolidou na adequação postural, especialmente para crianças com paralisia cerebral – que podem apresentar alterações de tônus muscular e de reflexos neurológicos, deformidades congênitas da coluna vertebral e dos membros, e limitação ou ausência de controle postural – foi a elaboração de sistemas de assento utilizando moldes construídos sob medida (CARLSON; PAYETTE e VERVENA, 1995; BRIENZA; CHEN-TSE e KARG, 1999; BROUGHTON; DILABIO e COOPER, 2001). Um dos métodos de fabricação utilizado consiste em tomar um molde de gesso do paciente, na posição desejada, e utilizá-lo para a confecção de um molde em espuma (WATSON e WOODS, 2005; SILVA *et al.*, 2009). Tal método, embora possa produzir resultados satisfatórios, exige grande habilidade e experiência, já que o posicionamento do paciente na posição correta deve ser obtido logo na primeira tentativa, e mantido de forma adequada até que o gesso seque. Esse sistema evoluiu com o desenvolvimento de cadeiras de avaliação, onde o paciente podia ser reposicionado tantas vezes quantas necessárias até que a posição final fosse obtida e o molde fosse tomado. Um exemplo de assento com contorno personalizado pode ser visto na Figura 2.



Figura 2. Configuração preliminar de um sistema de assento com uso combinado de espuma recortada e espuma usinada por CNC, a partir de molde de gesso. Fonte: arquivo pessoal do autor³.

³ Foto tirada durante sessão de avaliação realizada pela terapeuta Rita Bersch no Centro Especializado em Desenvolvimento Infantil, em Porto Alegre – RS, em fevereiro de 2008. Espuma usinada pelo Professor Fábio Pinto da Silva no Laboratório de Design e Seleção de Materiais da UFRGS.

Um sistema para a elaboração de assentos especiais foi desenvolvido por Roy Nelham, inspirado na forma com que a indústria da aviação tomava o molde de pilotos para a construção de assentos de avião (WATSON e WOODS, 2005). Esse sistema consiste em uma almofada plástica recheada com pequenas esferas de poliestireno, e conectada com uma bomba de vácuo. A almofada deve ser acomodada ao redor do paciente, na posição desejada, e a retirada do ar de seu interior faz com que as esferas fiquem firmemente unidas, mantendo o contorno de forma permanente enquanto o vácuo for mantido. Caso o operador perceba a necessidade de realizar alguma alteração, o ar pode ser parcialmente reintroduzido, permitindo correções localizadas no contorno (WATSON e WOODS, 2005). Um exemplo de aplicação desse tipo de almofada pode ser visto na Figura 3.



Figura 3. Almofada de vácuo após a obtenção do formato final e retirada do paciente - as marcas de giz representam pontos anatômicos de referência. Fonte: arquivo pessoal do autor⁴.

Os métodos mais utilizados para fabricação de sistemas de assento personalizado se encaixam em três categorias principais (BROUGHTON; DILABIO e COOPER, 2001):

- a) Medição direta dos contornos do corpo para orientar a produção de um assento com espuma cortada e colada.

- b) A técnica *Foam in Place*, onde o paciente é o próprio molde e a espuma é polimerizada e curada em contato com o contorno do corpo;
- c) A confecção de um molde (real ou virtual) que represente o formato desejado para a pessoa: moldagem por almofada de vácuo, *Foam in Box*, e a maioria dos métodos CAD/CAM se enquadram nessa categoria;

Com o tempo, além do próprio sistema principal de assento, constituído pela base ou almofada e pelo encosto, passaram a ser introduzidos outros elementos, como apoios para os pés e para a cabeça, suporte para os braços, e bandejas para manipulação de objetos. Todos esses elementos deveriam permanecer – às vezes temporariamente – conectados à cadeira de rodas, de forma que houve uma tendência à modularização desses componentes (GALVÃO, 2006). Atualmente, há dezenas de fabricantes de sistemas de adequação postural modulares. Estes sistemas consistem geralmente nos seguintes componentes (PEISCHL; KOCZUR e STRINE, 2007):

- a) Base do assento;
- b) Encosto;
- c) Suporte lateral de tronco;
- d) Suporte lateral de quadril;
- e) Coxins abdutores ou suportes adutores de joelhos⁵;
- f) Retratores de ombros;
- g) Cintos de segurança e cintos posicionadores;
- h) Suportes posicionadores para os pés e tornozelos;

A Figura 4 apresenta uma cadeira de rodas motorizada, apresentando alguns desses dispositivos modulares de posicionamento.

⁴ Fotografia realizada durante sessão de avaliação realizada pela terapeuta Rita Bersch no Centro Especializado em Desenvolvimento Infantil, em Porto Alegre – RS, em fevereiro de 2008.

⁵ Abdução: movimento de afastamento do plano médio; Adução: movimento de aproximação do plano médio. Os coxins e apoios laterais impedem que haja adução ou abdução excessiva, contribuindo para melhorar o posicionamento do usuário.



Figura 4. Cadeira de rodas motorizada cujo sistema de assento apresenta posicionadores laterais para a pelve, suporte inclinado para os pés e limitador do deslocamento anterior dos joelhos.

Fonte: Peischl, Koczur e Strine (2007).

Embora a maioria dos usuários possa manter um bom nível de segurança e estabilidade com o uso de um sistema modular, muitas vezes é necessária a confecção de um assento moldado exatamente ao contorno do paciente, constituindo-se assim em uma órtese de tronco (TRAIL e GALASKO, 1990; CARLSON; PAYETTE e VERVENA, 1995; ENGSTRÖM, 2002). Nesses sistemas, os conceitos básicos são: adequar o aparelho à pessoa por meio do contorno personalizado; deslocar a pressão de áreas que não podem suportá-la para áreas que possam; melhorar e estabilizar a postura sentada; evitar fricção, umidade e aumento de temperatura; projetar considerando a funcionalidade, tal como transferências, estabilidade para dirigir, e espaço para acesso a superfícies de trabalho (CORBET, 1997).

Se por um lado o uso de módulos de adequação postural permite que se construa uma configuração personalizada e reajustável para um indivíduo, outra maneira de abordar a questão da integração ou modularização é a subdivisão de sistemas moldados de forma personalizada em módulos que podem ser configurados de forma independente, de acordo com sua função planejada. Assim, caso haja modificação do corpo ou da postura do usuário, ou caso a tomada do molde não tenha proporcionado um ajuste perfeito, a subdivisão modular do molde permite alguma faixa de ajuste (BROUGHTON; DILABIO e COOPER, 2001). Há limitações quanto ao local onde divisões podem ser feitas no contorno, já que ali haverá uma descontinuidade que pode criar pontos potencialmente lesivos ao usuário. A modularização

mais comum é separar a parte do assento da parte do encosto, o que apresenta as seguintes vantagens (BROUGHTON; DILABIO e COOPER, 2001):

- a) Permite acomodar crescimento e outros ajustes de altura e profundidade do encosto;
- b) Possibilidade de ajustar inclinação pélvica através do deslocamento lateral do encosto com relação ao assento;
- c) Possibilidade de ajustar a rotação vertical do tronco com relação ao assento;
- d) Possibilidade de montar o encosto em algum sistema elástico ou com mola para a acomodação dinâmica de espasmos extensores.

A abordagem modular também permite a inclusão de um recurso que vem sendo considerado cada vez mais necessário para muitos tipos de pacientes: as superfícies de apoio dinâmicas. Por *suporte dinâmico* entende-se aquele que permite a movimentação do usuário e simultaneamente proporciona suporte. Nesse contexto, *dinâmico* não significa *ajustável* e não se refere a sistemas de suporte que permitam que o usuário se mova *relativamente* ao sistema (COOPER *et al.*, 2001). Muitos usuários apresentam distúrbios do tônus muscular, que faz com que eles tenham episódios tônicos onde há a ativação involuntária da musculatura, em geral da musculatura extensora. Uma estratégia bastante difundida é o reforço mecânico dos sistemas de assento para usuários distônicos, de modo que possam restringir o movimento, se necessário também com o uso de contenções e imobilizações acessórias. Entretanto, o efeito positivo de pequenos movimentos enquanto se está em uma determinada postura, para reduzir o desgaste muscular, já vem sendo considerado pelos fabricantes de cadeiras, que produzem cadeiras com encostos flexíveis (BROWN, 2001; VERGARA e PAGE, 2002; STOCKTON e RITHALIA, 2008).

Um dos componentes do assento que recebem especial atenção são as almofadas que constituem a base, visto que elas são responsáveis por sustentar a maior parte do peso do usuário, e as regiões do corpo em contato com ela ficam submetidas a grandes pressões, que podem causar lesões teciduais e desconforto. Diversos princípios de solução encontram-se disponíveis no mercado atualmente, como almofadas de espuma pré-contornadas, contendo inserções de gel de silicone, células pressurizadas individuais, espumas com propriedades visco-elásticas, entre outras. Alguns modelos podem ser vistos na Figura 5.



Figura 5. Alguns tipos de almofadas de assento (em sentido horário a partir do canto superior direito): câmara de ar em base de espuma, material visco-elástico em base de espuma, espuma pré-contornada, e células pressurizadas com ar
Fonte: Wolf *et al.* (2004).

Existem técnicas ainda experimentais para a melhora da distribuição de pressão sobre a base do assento. Uma dessas técnicas consiste em monitorar em tempo real a modificação do formato da superfície de suporte e seu efeito sobre a pressão de contato, com o uso de um arranjo de atuadores e sensores integrados ligados a um computador que altera o formato de forma iterativa até que se obtenha gradientes de pressão suavemente distribuídos (BRIENZA *et al.*, 1996). As informações tridimensionais obtidas orientam a usinagem de um molde através de uma fresadora CNC. O princípio de funcionamento desse sistema é mostrado na Figura 6.



Figura 6. Sistema de medição computadorizada do formato e das distribuições de compressão da superfície de assento, constituído de uma matriz de sensores móveis.
Fonte: Brienza (1996).

2.2 Interações físicas entre o corpo humano e as superfícies de suporte

Sistemas de assento podem ser considerados, do ponto de vista mecânico, como superfícies de suporte destinadas a sustentar a força que o usuário exerce sobre elas devido à ação da gravidade, devido à própria atividade muscular, e devido à movimentação passiva durante a manipulação por um assistente. O projeto adequado de assentos pode ser usado como uma maneira de modificar cargas nas estruturas do corpo para reduzir a sobrecarga mecânica e o desconforto do usuário (MEHTA e TEWARI, 2000).

A gravidade exerce um papel fundamental na fisiologia humana, servindo como estímulo ao desenvolvimento esquelético e manutenção da massa óssea, modeladora do desenvolvimento dos sistemas de controle postural e orientação espacial, e responsável por diversas forças e resistências mecânicas envolvidas na manutenção de um bom condicionamento físico (GUYTON e HALL, 2006). Entretanto, a pessoa que necessita do uso de cadeira de rodas em geral apresenta alguma diminuição ou perda de funções sensitivas, motoras, neuropsíquicas ou metabólicas. Essas perdas fazem com que as forças mecânicas de reação aplicadas pela superfície de suporte sobre o corpo acabem se tornando um fator secundário de agressão à saúde, podendo causar lesões teciduais⁶, desalinhamento e degeneração osteoarticular, e sintomas de dor e desconforto com repercussão sobre a capacidade funcional do indivíduo.

Além das forças geradas pela gravidade, alterações do controle motor e do tônus muscular fazem com que algumas pessoas apresentem episódios de espasmo da musculatura, podendo sofrer lesões devido ao atrito contra a superfície de suporte, à colisão com objetos, e em alguns casos até mesmo devido à queda da cadeira de rodas caso ela não esteja suficientemente estabilizada (TREFFLER e SCHMELLER, 2001).

Dessa forma, um aspecto essencial da determinação de parâmetros de projeto para sistemas de assento diz respeito às interações mecânicas entre o corpo humano e as superfícies de suporte, representadas por grandezas como força, distribuição de pressão, atrito, cisalhamento, tensão e deformação. Além disso, também

⁶ Neste trabalho, considera-se *lesão tecidual* como qualquer dano permanente aos tecidos moles, constituídos pela pele, tecido subcutâneo, tecido adiposo, fáscia e músculo.

devem ser consideradas a temperatura e a umidade na interface entre a pele e o assento, já que ambas influenciam o conforto e a integridade da pele (THEAKER, 2003; PARISH e WITKOWSKI, 2004).

Quando o corpo de uma pessoa repousa sobre um assento, a força peso é distribuída através dos tecidos moles para a pele que está em contato com o assento, de modo a exercer sobre este uma *compressão* ou *tensão normal*, cuja magnitude varia continuamente ao longo da superfície de contato. A compressão é um fator independente de aumento de risco para lesão tecidual, e uma pessoa não submetida à compressão sobre a pele não vai desenvolver uma úlcera de pressão. Tanto a intensidade quanto a duração de aplicação da compressão externa sobre os tecidos influem no desenvolvimento da lesão (SMITH, 2003). Um esboço do modelo físico de transmissão do peso para o assento pode ser visto na Figura 7.

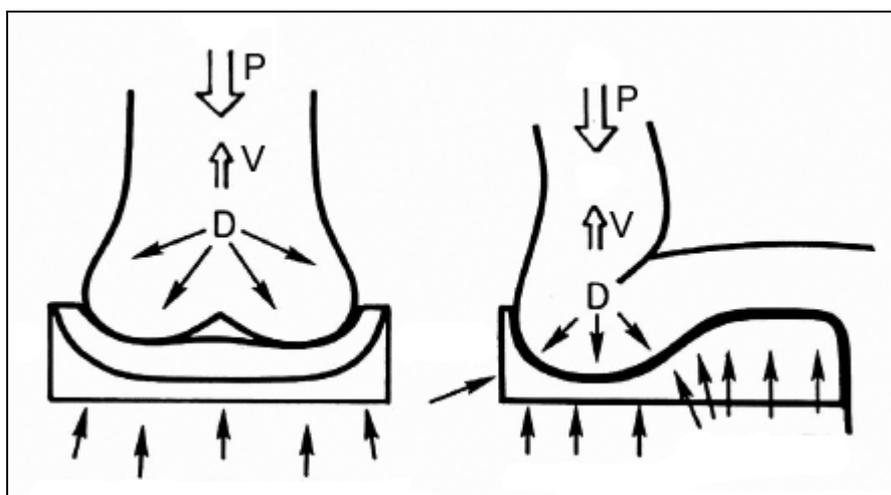


Figura 7. Diagrama da transmissão da força peso para o assento na forma de pressão distribuída.

Fonte: Rosenthal *et al.*(2003).

O comprometimento sério da integridade tecidual da pele em populações de usuários de cadeiras de rodas tem sido registrado mais freqüentemente sobre as tuberosidades isquiáticas, devido à concentração de tensão mecânica sobre as proeminências ósseas, considerado um dos principais fatores mecânicos de risco (MAKHSOUS *et al.*, 2007b). Diversas medições confirmam que essas são as regiões onde ocorrem os picos de compressão durante a postura sentada, havendo dessa forma uma associação entre esses picos e a lesão tecidual (TANIMOTO *et al.*, 2001; APATSIDIS; SOLOMONIDIS e MICHAEL, 2002; RAGAN *et al.*, 2002; EITZEN, 2004). Um exemplo de medição da distribuição de tensões normais na interface de um assento pode ser visto na Figura 8.

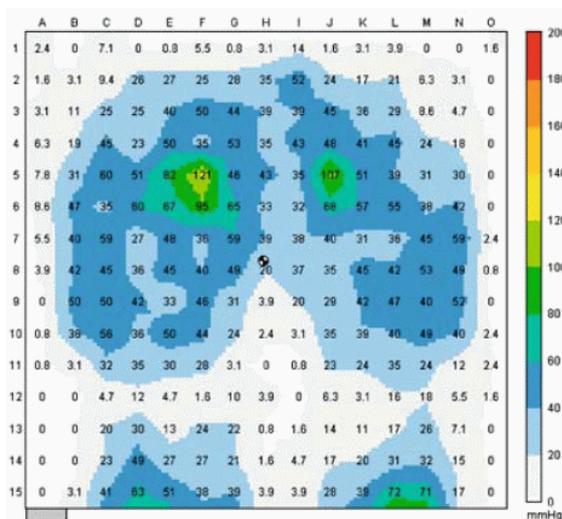


Figura 8. Exemplo de mapa de pressão obtido com um arranjo retangular de sensores colocado entre o assento e o usuário, mostrando a concentração de pressão junto às proeminências ósseas isquiáticas.

Fonte: Swain (2005).

Dentre as explicações a respeito dos mecanismos pelos quais a pressão excessiva causa lesão tecidual, aceita-se que um fator primário seja a interrupção da circulação sanguínea e linfática devido ao fechamento dos vasos, que ocorreria quando a compressão aplicada nos tecidos fosse maior do que a pressão no interior dos vasos (WANG e SANDERS, 2005; COLLIER e MOORE, 2006; STEKELENBURG *et al.*, 2008).

O modo mais direto e intuitivo de diminuir a compressão sobre o assento – dessa forma diminuindo o risco – consiste em fazer com que ela seja distribuída por uma área maior, e essa tem sido uma estratégia importante nos dispositivos de assento, através do acolchoamento e do contorno, conforme pode ser visto na Figura 9 e na Figura 10.

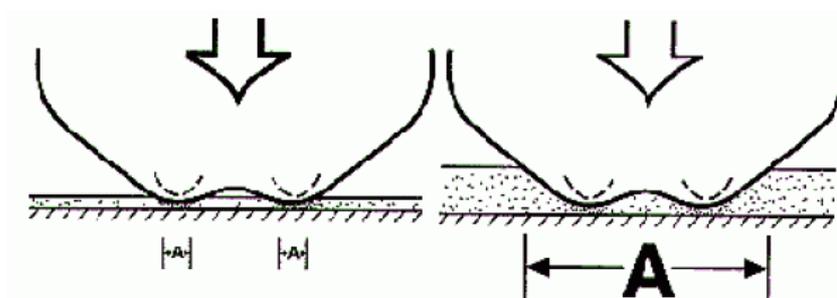


Figura 9. Princípio de funcionamento do acolchoamento: quando a superfície do assento é deformada, a área de contato aumenta, diminuindo os valores da pressão na interface.

Fonte: Carlson, Payette e Vervena (1995).

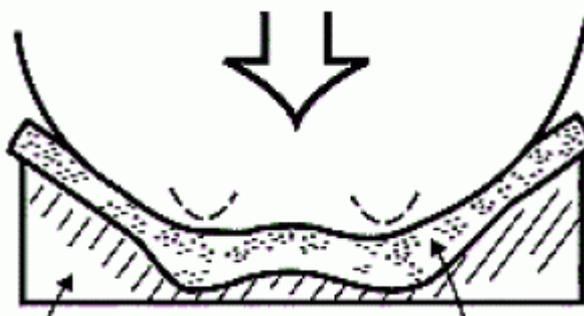


Figura 10. Princípio de funcionamento do contorno: quando a forma geométrica do assento é semelhante à conformação anatômica do usuário, a área de contato é maior e os valores da pressão na interface são menores, além de aumentar a estabilidade postural.

Fonte: Carlson, Payette e Vervena (1995).

Uma vez que não foi possível estabelecer um limite universal para os valores de compressão na interface acima dos quais houvesse dano tecidual, outros fatores começaram a ser pesquisados, entre eles a taxa de variação da pressão entre pontos adjacentes, ou *gradiente de pressão* (BRIENZA *et al.*, 2001; ZOU; MUELLER e LOTT, 2007; LOTT; ZOU e MUELLER, 2008). Esse parâmetro representa variações abruptas entre os valores de pressão em pontos espacialmente próximos, e mostrou-se que ele se encontra aumentado em grupos de pacientes com maior incidência de lesões (BRIENZA; KARG e BRUBAKER, 1996). As diferenças de pressão no interior dos tecidos são responsáveis pelo fluxo de fluido intersticial, e portanto podem interferir nas concentrações desses fluidos (REDDY *et al.*, 1982). Além disso, os gradientes de pressão levam à isquemia tecidual, pois a variação da compressão na superfície faz com que surja uma deformação chamada de *cisalhamento vertical* (BRIENZA *et al.*, 1996).

Enquanto a tensão normal é aquela aplicada perpendicularmente a um determinado plano, causando tração ou compressão, o cisalhamento consiste em uma tensão aplicada paralelamente a esse plano. Ocorre geralmente quando o peso da pessoa está apoiado em uma superfície inclinada, mas também no contato entre o corpo e o assento quando ambos se deformam sob o peso aplicado (SMITH, 2003). Sabe-se que, quando há uma combinação de compressão e cisalhamento, os níveis de tensão necessários para interromper a circulação sanguínea caem pela metade (COLLIER e MOORE, 2006). Na epiderme, as alças capilares correm perpendicularmente à superfície, e são espiraladas em suas bases, limitando assim o risco de oclusão sob pressão direta. Já no tecido subcutâneo, os vasos correm paralelos à superfície da pele, nessa orientação, eles são muito vulneráveis à distorção e oclu-

são, especialmente ao redor de proeminências ósseas (SMITH, 2003). Independentemente do fato de a isquemia tecidual ser ou não o principal agente causador das úlceras, o fechamento dos capilares depende dos gradientes de pressão local através da parede dos vasos e não apenas da pressão de interface ao nível superficial da pele. Assim, pressões superficiais bem acima das pressões intra-capilares podem ser suportadas pelos tecidos moles antes que o fluxo de sangue seja seriamente comprometido (BOUTEN *et al.*, 2005).

Os tecidos moles que compõem o nosso corpo são heterogêneos, anisotrópicos e não-lineares, além de possuírem módulo de elasticidade bastante baixo e serem praticamente incompressíveis (WANG e LAKES, 2002). Qualquer ponto de um material pode ter sua tensão decomposta em dois parâmetros independentes: a *compressão hidrostática*, associada à variação do volume, e a *tensão de von Mises*, associada à alteração da forma do material. Sabe-se que, por serem incompressíveis, os tecidos vivos resistem bem à compressão hidrostática, como no caso de mergulhadores que trabalham expostos a pressões extremamente elevadas e não desenvolvem úlceras de pressão. Embora ainda seja incerto quais os parâmetros mecânicos são mais relevantes para o dano tecidual, as evidências sugerem que os tecidos vivos são mais vulneráveis à deformação em cisalhamento do que à compressão hidrostática, mesmo quando esta é elevada, e isto vem sendo pesquisado em nível experimental (LIM *et al.*, 2007; LINDER-GANZ *et al.*, 2007; LINDER-GANZ *et al.*, 2008). Aparentemente, uma combinação de compressão, tração e cisalhamento produzida pela distribuição desigual de tensões distende e angula a vasculatura sanguínea e linfática da pele e dos tecidos subcutâneos (SMITH, 2003).

Experimentos mostram que a causa primária do dano mecânico tecidual envolve não apenas a isquemia localizada, mas também uma complexa cadeia de eventos catalisada pela deformação excessiva prolongada dos tecidos (GEFEN *et al.*, 2008b). Estudos histopatológicos sugerem que a origem das úlceras pode ocorrer a nível celular, sugerindo que o dano possa ser causado pela deformação prolongada das próprias células (BOSBOOM *et al.*, 2001). A deformação celular desencadeia uma variedade de efeitos, como mudanças de volume e reorganização do citoesqueleto, as quais podem estar envolvidas no dano tecidual precoce (BOUTEN *et al.*, 2005). Isso sugere que uma possível forma de garantir a mínima deformação

tecidual nos tecidos das regiões de apoio seja buscar uma configuração de tensões semelhante à compressão hidrostática (MAKHSOUS *et al.*, 2007a).

Se os tecidos são confinados de forma a impedir a redistribuição de massa tecidual (vide Figura 11), eles podem suportar pressões relativamente altas sem risco significativo de lesão. Apenas quando a pressão é aplicada de forma não-uniforme os tecidos são distendidos, e assim potencialmente expostos ao dano (BRIENZA *et al.*, 2001). Considera-se que a construção de um assento que reproduza os contornos do corpo e seja constituído de um material flexível e macio contribua consideravelmente para a redução dos riscos de surgimento de úlceras de pressão. Além disso, no caso de usuários de cadeiras de rodas com lesão medular ou doença degenerativa, um assento ou encosto desse tipo também pode aumentar a estabilidade do tronco e favorecer a manutenção da postura (CARLSON; PAYETTE e VERVENA, 1995). O contorno de superfícies, nesse contexto, supõe que se uma almofada de espuma de alta resiliência for pré-contornada de forma que ela se deforme uniformemente ao ter o peso do corpo aplicado, o resultado será uma distribuição uniforme de forças (BRIENZA *et al.*, 2001).

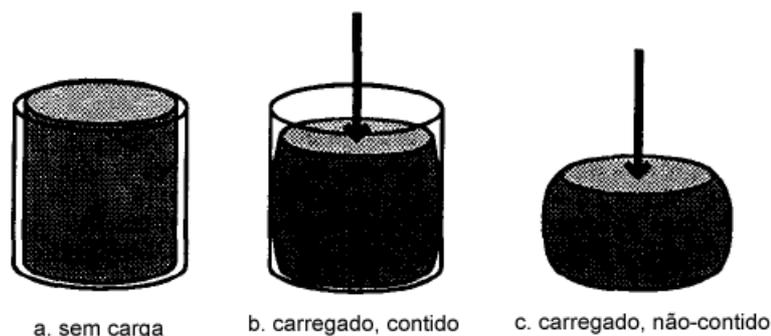


Figura 11. Diagrama demonstrando o princípio de contenção lateral para obter uma distribuição de tensões semelhante à compressão hidrostática.
Fonte: Levine e Kett (1989).

Representações matemáticas da anatomia das nádegas e coxas humanas foram propostas e testadas, e mostraram-se válidas na análise e no poder preditivo do efeito das pressões mecânicas sobre essa região anatômica (REDDY *et al.*, 1982; LIN *et al.*, 2004; HENDRIKS *et al.*, 2006; LIM *et al.*, 2007; LINDER-GANZ *et al.*, 2007; MAKHSOUS *et al.*, 2007a; GRUJICIC *et al.*, 2009). Análises pelo método de elementos finitos com malhas tridimensionais e modelos hiperelásticos indicam que as regiões mais profundas, especialmente ao redor de proeminências ósseas, são as que sofrem maior deformação e tensão, correspondendo aos locais onde muitas

lesões se originam. Também foi mostrado que não há, necessariamente, relação entre os picos de tensão cisalhante nos tecidos profundos e a distribuição da pressão na superfície de suporte, visto que as tensões de compressão ocorrem na parte do músculo glúteo diretamente abaixo da tuberosidade isquiática, sendo heterogêneas e excedendo substancialmente as tensões que ocorrem em camadas mais superficiais (LINDER-GANZ *et al.*, 2007). Isso confirma que uma distribuição mais uniforme de pressão na interface não significa automaticamente que a deformação interna nos tecidos moles será suficientemente reduzida para prevenir a ocorrência de lesão tecidual profunda (OOMENS *et al.*, 2008).

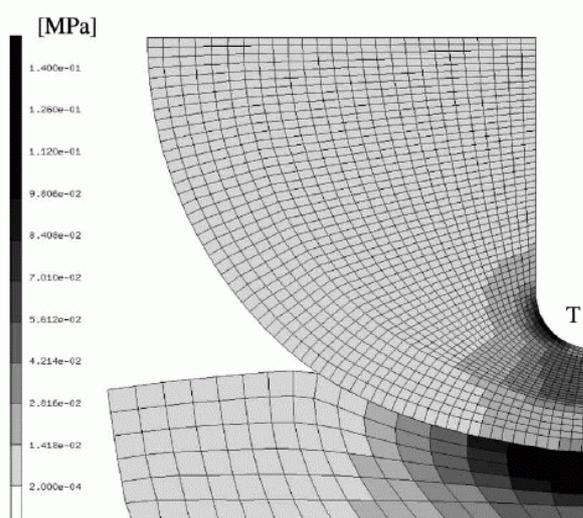


Figura 12. Modelo de elementos finitos da interação mecânica da nádega humana com uma almofada de espuma plana, mostrando a distribuição de tensões de von Mises. Embora na almofada o pico de tensão ocorra próximo à interface, nos tecidos vivos o pico de tensão ocorre profundamente, junto à tuberosidade isquiática (T).
Fonte: Oomens *et al.* (2008).

Um passo importante para a elucidação dos mecanismos de dano tecidual é a caracterização exata das condições mecânicas nos músculos e no tecido adiposo durante as posturas apoiadas. Entretanto, são pouco frequentes na literatura os dados sobre as tensões e deformações nos tecidos moles de seres humanos ao sentar, bem como dados referentes aos valores desejáveis para tais parâmetros (LINDER-GANZ *et al.*, 2008). Com o surgimento de novos dados científicos, os modelos de elementos finitos pode fornecer a pesquisadores e terapeutas uma poderosa técnica para avaliar a efetividade de alterações na distribuição de forças devido a diversas modificações nas posturas e nos equipamentos utilizados para prevenir lesão tecidual (MAKHSOUS *et al.*, 2007a).

2.3 Integridade tecidual e úlceras de pressão

Úlceras de pressão, também chamadas de úlceras por pressão, úlceras de decúbito e escaras de decúbito⁷, são lesões originadas em partes moles – pele, tecido subcutâneo, tecido adiposo e músculo – devido ao efeito prolongado da compressão mecânico externo (DEALEY e LINDHOLM, 2006). Sistemas de classificação para úlceras de pressão têm o objetivo de diferenciar seus estágios evolutivos de modo a orientar e padronizar seu diagnóstico e tratamento. A classificação recomendada pelo *European Pressure Ulcer Advisory Panel* (DEALEY e LINDHOLM, 2006) encontra-se a seguir:

- a) Estágio 1: é uma alteração observável da pele intacta, induzida por pressão, com alteração de uma ou mais das seguintes propriedades, quando comparadas à pele adjacente ou contra-lateral:
 - 1. Temperatura da pele (mais quente ou mais fria);
 - 2. Consistência (endurecida ou amolecida);
 - 3. Sensação (dor e/ou coceira).
 - 4. Alteração persistente da cor, sendo avermelhada na pele clara, e podendo variar entre avermelhada, azulada ou purpúrea em peles escuras.
- i) Estágio 2: consiste na perda parcial da espessura da pele, envolvendo a epiderme e/ou a derme. A úlcera é superficial e se apresenta clinicamente como uma abrasão, bolha ou cratera rasa.
- j) No estágio 3, há perda de toda a espessura da pele com lesão ou necrose do tecido subcutâneo, que se estende até a fáscia, mas não a perfura. A úlcera se apresenta como uma cratera profunda com ou sem comprometimento do tecido adjacente (Figura 13).
- k) No estágio 4, há extensa destruição e necrose tecidual, ou lesão muscular e óssea, com ou sem perda de toda a espessura da pele.

⁷ Em inglês, os termos mais freqüentes são *pressure sores*, *pressure ulcers*, e *decubitus ulcers*.



Figura 13. Úlcera de pressão no estágio 3 na região sacral, apresentando tecido de granulação e deposição de fibrina em seu fundo.
Fonte: Levi e Rees (2007).

Existem três mecanismos básicos para explicar a causa das úlceras de pressão. Um dos mais bem aceitos envolve a isquemia tecidual, provocada pela oclusão dos vasos capilares. Outros fatores mecânicos estudados incluem os gradientes de pressão, a força de cisalhamento, e a deformação tecidual, embora investigações sobre esses fatores sejam bem menos comuns do que aquelas sobre a pressão isoladamente (BRIENZA *et al.*, 2001). O segundo mecanismo considera alterações bioquímicas do interstício, das células e dos vasos linfáticos induzidas pela pressão (SMITH, 2003), além de outros fatores metabólicos como desnutrição, diabetes e hipoalbuminemia (LYDER, 2006). O outro mecanismo associa uma deformação prolongada das células em um tecido sob esforço mecânico ao desencadeamento de dano celular, mesmo quando o ambiente bioquímico da célula continua inalterado (GEFEN *et al.*, 2008a; GEFEN *et al.*, 2008b).

A deformação tecidual, a isquemia devido à oclusão de vasos capilares, perturbação da micro-circulação linfática e acúmulo de metabólitos tóxicos são fatores que comprovadamente contribuem para a necrose tecidual (SMITH, 2003). Surpreendentemente, existe pouco consenso sobre a resposta fisiopatológica à sobrecarga mecânica que desencadeia o dano tecidual, havendo teorias distintas que consideram isquemia local, diminuição do fluxo de fluido intersticial e da drenagem linfática, lesão por reperfusão, e deformação prolongada a nível celular (BOUTEN *et al.*, 2005).

Além dos fatores mecânicos, outros fatores de risco contribuem para o surgimento de lesões, sejam elas superficiais ou profundas. O aumento de temperatura e de umidade na interface entre a pessoa e o assento, assim como a proliferação bac-

teriana e a maceração da pele devido à presença de suor e urina, contribuem para causar descontinuidades da estrutura do epitélio cutâneo, servindo como uma porta de entrada para infecção e aumento da ulceração (LEVI e REES, 2007). O calor faz com que o ritmo metabólico local aumente, acentuando a falta de oxigênio e nutrientes causada pela isquemia. Além disso, fatores nutricionais, idade avançada e outros comprometimentos do estado geral de saúde podem fazer com que os tecidos moles tenham sua resistência diminuída (LYDER, 2006). Há indícios de que a elasticidade da musculatura e do tecido subcutâneo esteja alterada em pessoas com lesão medular que usam cadeiras de rodas, devido à hipotrofia tecidual da região (BRIENZA e KARG, 1998; LINDER-GANZ *et al.*, 2008). Um modelo que envolve os fatores extrínsecos e intrínsecos de diminuição da resistência tecidual, bem como os fatores que levam à exposição prolongada à pressão, encontra-se representado no Quadro 1.

Quadro 1: Representação da cadeia de fatores desencadeantes das úlceras de pressão (da esquerda para a direita).

Fatores extrínsecos	Umidade Calor Atrito excessivo	Baixa tolerância tecidual	ÚLCERA DE PRESSÃO
Fatores intrínsecos	Desnutrição Idade avançada Má circulação		
Instabilidade Inatividade Déficit sensorio		Exposição prolongada à pressão	

Além dos fatores que aumentam a suscetibilidade tecidual às lesões, estas não ocorreriam caso não houvesse o contato prolongado com alguma superfície. A redução da capacidade de mudar de posição também é um fator desencadeante, que pode decorrer de disfunção neuro-motora, restrição física excessiva, comprometimento músculo-esquelético e/ou diminuição do nível de atividade e da motivação para se movimentar. Outro fator é a diminuição do estímulo que indica a necessidade de se mover, que pode derivar da alteração da consciência, déficit sensitivo, ou comprometimento da cognição (SMITH, 2003).

Embora nenhum estudo tenha determinado um valor universal de compressão acima do qual ocorra lesão, diversos estudos experimentais mostram que o aparecimento de dano tecidual depende não só da compressão, mas também do tempo. Esses estudos, realizados com modelos animais, consistem em aplicar um valor controlado de compressão sobre a pele através de um indentador, durante um certo período de tempo, e depois analisar o aparecimento ou não de lesão. Embora os valores encontrados por cada estudo apresentem considerável variação, todos mostraram uma relação inversa entre a intensidade e a duração da compressão suficiente para causar dano tecidual, conforme pode ser visto na Figura 14.

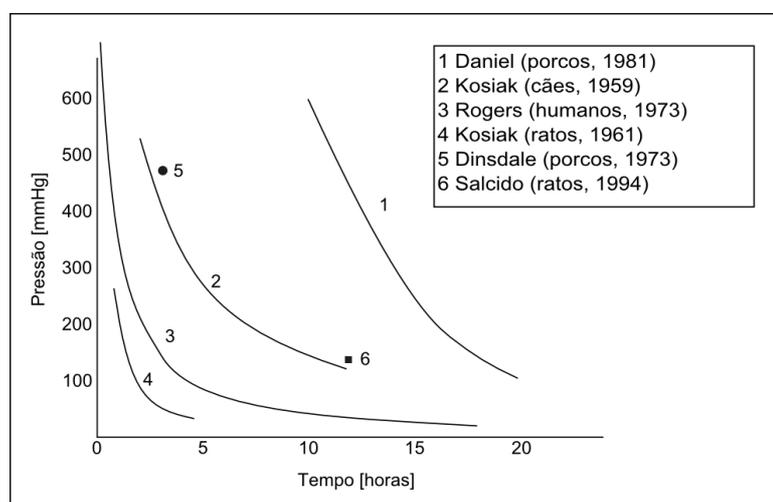


Figura 14. Combinações de intensidade e duração das pressões-limite para o desencadeamento de lesão tecidual, de acordo com estudos experimentais. Fonte: Stekelenburg, Oomens e Bader (2005).

De acordo com a Figura 14, quanto maior for a pressão, menor será o tempo necessário para que se desenvolva lesão. Além disso, mesmo valores baixos de pressão sobre a pele podem ser nocivos, se aplicados por um tempo suficientemente longo para que provoquem dano tecidual. Modelos mais atuais consideram limites mínimos de pressão abaixo dos quais não haverá lesão, independentemente do intervalo de aplicação, e também limites de compressão acima dos quais sempre haverá lesão, conforme pode ser visto na Figura 15, embora também não haja consenso quanto à existência ou não de valores universais para esses limites.

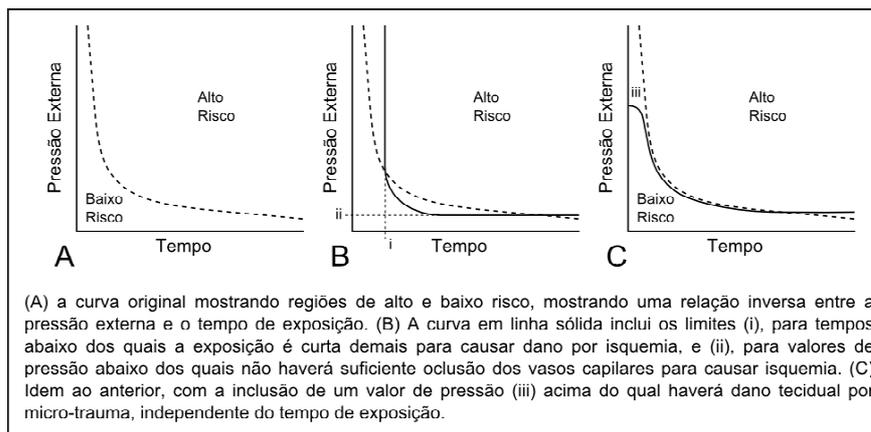


Figura 15. Modificações qualitativas do gráfico para a relação inversa entre intensidade e duração da compressão da pele.
Fonte: Stekelenburg *et al.* (2008).

Tem sido ressaltado que o local de origem das formas mais graves de úlceras por pressão não se situa na superfície da pele, mas em planos mais profundos, geralmente no tecido muscular ao redor de proeminências ósseas (BOUTEN *et al.*, 2003). No caso da posição sentada, correspondem às tuberosidades isquiáticas, aos trocânteres femorais e ao sacro. Pesquisas utilizando ultra-sonografia e ressonância magnética sugerem que é nesses locais que ocorre a maior deformação tecidual em cisalhamento (LIN *et al.*, 2004; LINDER-GANZ *et al.*, 2007). Como o desenvolvimento das duas é diferente, embora haja potencial de uma úlcera superficial se transformar em uma profunda, é mais provável que os fatores de risco envolvidos sejam diferentes para cada uma e que alguns fatores de risco contribuam para ambos os tipos (SMITH, 2003).

O uso de superfícies de suporte para a prevenção de úlceras de decúbito atualmente se baseia em três estratégias básicas: distribuição, transferência e alternância (NORTON e SWAINE, 2006). A distribuição de pressão consiste em aumentar a área de contato do indivíduo com o assento, de modo que seu peso se distribua por uma superfície maior, diminuindo a pressão. Esse é o princípio utilizado pelos sistemas de assento que usam contorno e acolchoamento (CARLSON; PAYETTE e VERVENA, 1995; SY e TAM, 2000; TANIMOTO; TAKECHI e YAMAMOTO, 2000; APATSIDIS; SOLOMONIDIS e MICHAEL, 2002). Conforme visto em seção anterior, a redução dos níveis de pressão na interface entre a pessoa e o assento não é suficiente para garantir a ausência de condições mecânicas adversas na musculatura profunda, como tensões de von Mises e de cisalhamento elevadas.

Outro meio de diminuir a agressão mecânica aos tecidos é transferir a pressão de áreas mais sensíveis, como as tuberosidades isquiáticas e o sacro, para áreas mais resistentes à compressão, como a porção posterior das coxas (ROSENTHAL *et al.*, 1996; ENGSTRÖM, 2002; READ, 2005). Um exemplo desse tipo de assento, com materiais diferentes posicionados em pontos específicos, é mostrado na Figura 16.

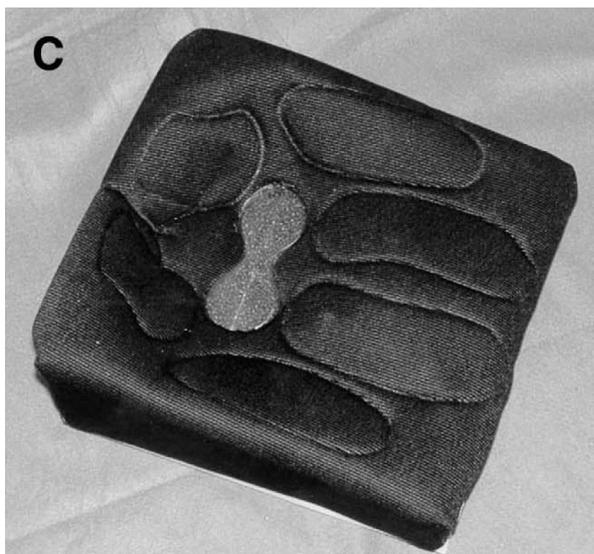


Figura 16. Assento com inserções de materiais diferentes em pontos específicos para remover os picos de pressão de áreas sensíveis.
Fonte: Rosenthal *et al.* (2003).

O princípio de alternância consiste em usar uma superfície de suporte que seja subdividida em várias regiões, cuja compressão é temporariamente removida em cada setor individual, de forma alternada. A maioria desses sistemas utiliza um arranjo de câmaras de ar infláveis, conectadas a um compressor que realiza a alternância de pressões automaticamente (FLETCHER, 2006; VANDERWEE; GRYPDONCK e DEFLOOR, 2008). Esse princípio na verdade é um caso particular do princípio de reposicionamento, que faz com que as áreas que ficam comprimidas contra a superfície de suporte sejam aliviadas, permitindo que a circulação sanguínea retorne ao normal. O intervalo entre os reposicionamentos é variável e depende de cada caso, embora seja sugerido que sinais de comprometimento da irrigação sanguínea comecem a se manifestar para intervalos de movimentação superiores a uma hora e meia (KNOX; ANDERSON e ANDERSON, 1994).

No caso de usuários de cadeiras de rodas, um procedimento rotineiro consiste na realização de manobras de elevação do assento (*push-ups*), para permitir que

a circulação do sangue se restabeleça nas regiões comprimidas. Entretanto, em pesquisa feita em uma clínica de reabilitação, os resultados sugeriram que intervalos tradicionais de alívio de pressão, durando de 15 a 30 segundos, não seriam totalmente efetivos para evitar as alterações circulatórias, pois os níveis de oxigenação tecidual só retornaram aos valores normais após cerca de dois minutos (COGGRAVE e ROSE, 2003).

Um entendimento mais completo da relação entre esforço mecânico e dano tecidual ainda deve ser estabelecido, possibilitando a elaboração de critérios de projeto para estratégias ótimas de alívio de compressão, além de sugerir intervenções que possam melhorar as condições de resistência e recuperação teciduais (BRIENZA *et al.*, 2001; OOMENS *et al.*, 2008). Sugere-se que, para investigar a resposta diferencial de várias unidades funcionais dos tecidos à sobrecarga mecânica, e suas relativas contribuições para o desenvolvimento de úlceras de pressão, deva ser adotada uma abordagem hierárquica, considerando as escalas bioquímica, celular, histológica e anatômica (BOUTEN *et al.*, 2005).

2.4 Adequação postural

O objetivo fundamental de qualquer assistência à pessoa com deficiência consiste em promover aumento da funcionalidade e da participação. Os produtos de tecnologia assistiva o fazem através da substituição, complementação ou aumento da capacidade e funcionalidade remanescente, e nesse sentido os dispositivos de adequação postural devem favorecer a obtenção e manutenção de uma postura em que a pessoa consiga desenvolver suas atividades motoras e cognitivas de maneira ótima, e possa fazer isso continuamente ao longo de sua vida. Essa continuidade deve ser baseada na prevenção de prejuízos secundários à saúde – como deformidades articulares, lesões teciduais, e interferência nas funções fisiológicas de respiração, deglutição, circulação e excreção (COGGRAVE e ROSE, 2003).

Muitos usuários de cadeiras de rodas apresentam risco significativo para o desenvolvimento de deformidades ósseas e articulares, que comprometem a saúde, a funcionalidade e o bem-estar (COOPER *et al.*, 2006). Diversas doenças que tornam necessário o uso de cadeiras de rodas afetam o funcionamento global dos sistemas neurológico e musculoesquelético, provocando desequilíbrios do tônus mus-

cular, das contrações voluntárias e involuntárias, e da manutenção postural. Dessa forma, a progressão de deformidades e desalinhamentos da coluna e das cinturas escapular e pélvica faz parte da história natural das condições apresentadas por esses pacientes (AMSTERDAM, 1999). Além disso, a própria permanência na posição sentada durante longos períodos é um fator de risco adicional para o desencadeamento ou para a progressão dessas deformidades, devido à ação do peso do paciente contra a superfície de suporte (ENGSTRÖM, 2002)

Na prática clínica da adequação postural existe uma rotina regular para as atividades de intervenção terapêutica, que fazem parte de uma sistemática mais geral relativa à prática da tecnologia assistiva, envolvendo a participação constante de um profissional de saúde: avaliação, estabelecimento de objetivos, prescrição do equipamento, ajuste ao usuário, e seguimento (EUSTAT, 1998). A posição e a funcionalidade ao sentar são determinadas de forma qualitativa e quantitativa pela observação, usando diferentes métodos avaliativos em cada local de atendimento. Isso envolve a medição de ângulos de amplitude e mobilidade dos segmentos do corpo, reflexos, nível do tônus, força muscular e estado psíquico, entre outros. Em seguida, diversos fatores devem ser considerados para a definição dos objetivos previstos da intervenção, como questões físicas do assento, tolerância do paciente, capacidades funcionais presentes, acessibilidade, necessidade de transferências, disponibilidade financeira, opinião da família, previsão de cirurgias ou evolução da condição clínica, uso de medicações, condições climáticas do local de residência, atividades de lazer, entre muitos outros (BUCK, 2006). Após a determinação do posicionamento inicial e da configuração dos componentes do assento, uma atividade fundamental é o seguimento do paciente, a fim de determinar se o resultado previsto está sendo positivo, se há modificações que precisem ser feitas, e se o método de prescrição está adequado para o atendimento de pacientes semelhantes no futuro.

Em uma avaliação para a prescrição de um assento para cadeira de rodas, os achados a respeito da postura do paciente terão implicações para a configuração de ao menos uma das seguintes características dos elementos do sistema (BUCK, 2006; HETZEL, 2006):

- a) Ângulos relativos entre as superfícies de assento, encosto e apoios de pés e cabeça – qualquer limitação na flexibilidade postural terá um impacto nas relações angulares das superfícies do assento;

- b) Forma e contorno das superfícies – embora muitas pessoas possam ter a capacidade de sentar com relações angulares aproximadamente iguais, cada pessoa tem uma forma única, e essa forma terá influência nos contornos da superfície escolhida;
- c) Orientação do assento com relação à gravidade – uma vez que os ângulos tenham sido determinados, a orientação do sistema de assento deve ser determinada considerando as características pessoais de mobilidade, a estabilidade postural, e os ambientes ocupados pelo usuário;
- d) Escolha de materiais, considerando integridade tecidual, controle postural, e manutenção – parâmetros como elasticidade, dureza, espessura, permeabilidade, atrito e condutividade térmica podem ser usados como recursos para melhorar a função do assento.

Alguns assentos permitem que seja variado o ângulo entre o encosto e a base do assento (função *recline*) e a orientação espacial de todo o sistema – incluindo os suportes de pés e de cabeça (função *tilt-in-space* ou simplesmente *tilt*). Essas variações são úteis por permitirem uma alternância temporária de posturas, e são usadas para redistribuição do peso do usuário, objetivando maior conforto e alívio de pontos de pressão, além de acomodar variações de tônus muscular e facilitar atividades funcionais dos membros superiores e cabeça (MCCLLENAGHAN; THOMBS e MILNER, 1992; KREUTZ, 1997; HETZEL, 2006; DING *et al.*, 2008). A validade desses dispositivos como recursos terapêuticos tem sido objeto de pesquisa (DICIANNO *et al.*, 2008), com o objetivo de fundamentar a prescrição de cadeiras de rodas mais adequadas, visto que a maioria dos sistemas de concessão necessita que o candidato seja avaliado e sua incapacidade seja classificada de acordo com alguma tabela, para que haja comprovação do direito a receber determinado tipo de recurso (SCHMELER e BUNING, 1999).

Uma das principais funções de sistemas especiais de assento em cadeiras de rodas é a prevenção e a correção de deformidades da coluna (READ, 2005). As deformidades podem ser não-estruturadas, quando apresentam flexibilidade sendo possível o retorno à posição simétrica, ou estruturadas, quando o grau de rigidez articular não permite sua correção mesmo com aplicação de forças (HOLMES *et al.*, 2003). O princípio básico da correção de deformidades não-estruturadas é mostrado na Figura 17.

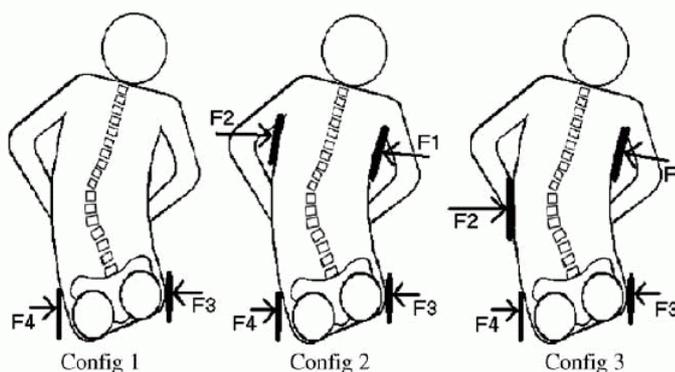


Figura 17. Nas configurações 1 e 2, apenas a contenção lateral não é suficiente para impedir o aumento da deformidade vertebral, enquanto na configuração 3 a aplicação assimétrica de forças promove a diminuição da curvatura e/ou impede sua progressão.

Fonte: Holmes *et al.* (2003).

Embora muitas vezes seja necessário realizar a correção postural como forma de tratamento, a aplicação constante de forças sobre o tronco pode ser restritiva e causar desconforto, além de comprometimento da pele e da função respiratória (ENGSTRÖM, 2002).

O papel da pelve no estabelecimento de uma postura adequada é um elemento cuja importância vem sendo reconhecida na prática da adequação postural, já que a pelve constitui o ponto principal de apoio com a superfície de suporte, sendo a base de referência sobre a qual a posição e o movimento dos outros segmentos do corpo são situados (KANGAS, 2002; 2005). Quando a pelve não apresenta uma posição estável e funcional, há dificuldade para manter o tronco em uma posição ereta exceto por curtos períodos de tempo (ENGSTRÖM, 2002). O posicionamento pélvico deve criar curvaturas vertebrais semelhantes às aquelas presentes na posição em pé, que são essenciais para a obtenção de uma postura funcional. Essas curvas vertebrais afetam a função dos membros superiores, o alinhamento visual e atividades fisiológicas como respiração, digestão e circulação.

O correto posicionamento da cabeça também tem um papel fundamental na promoção da funcionalidade através da postura. O surgimento precoce da estabilização postural da cabeça faz supor que a função primária do controle da postura seja o de mediador da interface com o mundo físico, e que a organização do restante do corpo para resistir à gravidade apenas emerge secundariamente (MASSION, 1998). A cabeça, onde se localizam os olhos e os órgãos do equilíbrio, é a primeira parte do corpo a desenvolver orientação postural, servindo como um quadro de refe-

rência para a organização postural do resto do corpo (KANGAS, 2002). Isso explica a dominância precoce da visão na postura, e o fato de que as crianças permanecem por um longo tempo dependentes do componente visual para a orientação postural (MASSION, 1998). Assim sendo, o firme posicionamento da pelve e a boa sustentação de tronco devem sempre considerar a necessidade e a viabilidade do correto posicionamento da cabeça, bem como a variação dessa posição (KANGAS, 2005).

Existe debate sobre a importância relativa entre uma posição considerada saudável e uma posição naturalmente preferida pelo paciente – mesmo com prejuízo da simetria – não havendo consenso entre especialistas sobre qual é a mais desejável em termos de prescrição (TREFFLER e SCHMELER, 2001). A manutenção contínua de uma postura simétrica – por vezes à custa de contenções mecânicas como cintos e faixas – introduz um componente de imobilidade que traz prejuízo às funções neuromotoras e pode criar esforços causam sobrecarga sobre o indivíduo (BROWN, 2001). Além disso, não há consenso quanto a um método padronizado de avaliação e seguimento dos pacientes durante o uso do sistema de assento, o que faz com que seja difícil registrar consistentemente pequenas mudanças do quadro clínico ao longo do tempo e dificulta a consolidação da prática baseada em evidência (TREFFLER e SCHMELER, 2001).

2.5 Conforto e desconforto

O conforto na posição sentada é um fator que contribui significativamente para a qualidade de vida de pessoas que permanecem muito tempo nessa posição, como é o caso de trabalhadores de escritório ou indústrias, além de ser um fator que contribui positivamente para a produtividade e diminui o risco para o desenvolvimento de doenças (GRANDJEAN e KROEMER, 1998). A manutenção de posturas confortáveis é obtida através de discretas mudanças periódicas de posição, que são realizadas de forma voluntária, porém inconsciente (LUEDER, 2002). Pessoas capazes de mudarem continuamente de posição evitam riscos de danos induzidos pela postura sentada. Já pessoas com disfunções físicas podem não ser capazes de evitar as influências nocivas de sistemas de assento inadequados, ou mesmo de ocupar assentos adequados de forma que não tenham prejuízos (ENGSTRÖM, 2002).

Se por um lado os sistemas de assento para prevenção de úlceras de pressão vêm apresentando avanços nos aspectos de integridade tecidual e de adequação postural infantil, relativamente pouco trabalho é feito considerando as necessidades de conforto de pessoas com sensibilidade preservada e boa mobilidade de tronco, mas que necessitam passar muitas horas por dia sobre a cadeira de rodas – e que portanto têm no desconforto um problema importante (HOBSON e CRANE, 2001).

Sensações de desconforto entre usuários de cadeiras de rodas podem ter sérias conseqüências, incluindo abandono do equipamento, insatisfação, e comprometimento funcional para as atividades diárias (DING *et al.*, 2008). Entretanto, uma vez que o desconforto não é considerado um problema de saúde, há dificuldades para justificar para os órgãos financiadores a necessidade de prescrever um assento mais caro para que o usuário possa ficar mais confortável. Além da indisponibilidade de financiamento para produtos relativos ao conforto, não há evidência científica a respeito da efetividade dos produtos que melhoram conforto, disponíveis no mercado. O método de tentativa e erro até achar equipamentos adequados, ou modificar equipamentos existentes, é conseqüentemente muito pouco apoiado pelas estruturas de financiamento e concessão (HOBSON e CRANE, 2001).

Na indústria de bens de consumo, fabricantes de assentos para escritório e para automóveis têm feito pesquisas especificamente para o desenvolvimento de métodos que aumentem o conforto e a produtividade da posição sentada. Entretanto, muito desse trabalho é voltado ao desenvolvimento de produtos comerciais, e os resultados dessas pesquisas se encontram indisponíveis para orientar o projeto de assentos para cadeiras de rodas. Além disso, muitos dos conceitos desenvolvidos não foram adequadamente estudados nas populações de pessoas com deficiência (HOBSON e CRANE, 2001).

Não há consenso entre os pesquisadores quanto à definição de *conforto*, sendo em geral considerado “um estado de prazer, bem-estar, tranqüilidade e contentamento”, que pode ser de ordem física ou mental (LUEDER, 1983). Uma definição bastante difundida para conforto é “a ausência de desconforto”, e essa definição tem sido adotada porque é mais viável quantificar o desconforto do que o conforto (LUEDER, 2002; KOLICH, 2008). Nesse sentido, o conforto também pode ser definido como uma contínua minimização do desconforto (SHEN e VERTIZ, 1997). Embo-

ra alguns estudos de quantificação do conforto ou do desconforto considerem ambos como extremos de um contínuo, pesquisadores na área do conforto de assentos – incluindo os que pesquisam usuários de cadeiras de rodas – consideram ambos os termos como conceitos independentes (ZHANG, 1996; KOLICH, 2008; TAN *et al.*, 2008). Para Zhang (1996), conforto e desconforto ao sentar têm caráter independente, com diferentes fatores determinantes: o desconforto está primariamente associado com fatores físicos como dor, má circulação do sangue, sensação de aperto, fadiga, compressão, sensação de dureza, falta de suporte, entre outros. Já o conforto está relacionado ao relaxamento e bem estar, com descritores como calma, contentamento e prazer. Sendo assim, por exemplo, um assento mais largo e mais envolvente pode prover um maior conforto do que um assento mais estreito, mesmo que o assento mais estreito não produza maior desconforto (KOLICH, 2008). Isso significa que a boa biomecânica não necessariamente aumenta o nível de conforto, mas a má biomecânica pode fazer com que surja desconforto com o tempo (TAN *et al.*, 2008). Além disso, quando fatores de desconforto estão presentes, os fatores de conforto se tornam secundários na percepção do nível de conforto ou desconforto (ZHANG, 1996). Uma vez que cada definição publicada reflete os preceitos das disciplinas dos pesquisadores que a formularam, não há uma definição operacional de conforto universalmente aceita (KOLICH, 2008).

Com o objetivo de identificar e quantificar fatores envolvidos com o conforto de sistemas de assento, tanto para pessoas sem deficiência quanto para aquelas com deficiência, alguns instrumentos na forma de questionário vêm sendo construídos. Nesses instrumentos, são usados *descritores* elaborados a partir das respostas espontâneas fornecidas pelos entrevistados quando perguntados sobre o conforto e/ou o desconforto de determinado assento (MONETTE; WEISS-LAMBROU e DAN-SEREAU, 1999). Duas listas desses descritores podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1. Lista de descritores subjetivos para conforto e desconforto
 Fonte: Monette, Weiss-Lambrou e Dansereau (1999).

DESCRITORES PARA CADEIRAS DE ESCRITÓRIO (HELANDER; ZHANG, 1997)	
CONFORTO	DESCONFORTO
"me sinto relaxado"	"meus músculos doem"
"me sinto renovado"	"minhas pernas estão pesadas"
"me sinto confortável"	"me sinto enrijecido"
"a cadeira é macia"	"sinto pressão desigual"
"a cadeira é espaçosa"	"me sinto inquieto"
"a cadeira é bonita"	"me sinto cansado"
"eu gosto da cadeira"	"me sinto desconfortável"

DESCRITORES PARA CADEIRAS DE RODAS (MONETTE; WEISS-LAMBROU; DANSEREAU, 1999)	
CONFORTO	DESCONFORTO
"me sinto bem"	"sinto dor"
"me sinto apoiado nos lugares certos"	"preciso me mover"
"sinto pouca pressão nas nádegas"	"a superfície da cadeira é muito dura"
"a cadeira e eu somos como um só"	"a cadeira limita minhas atividades"
"posso fazer minhas atividades"	"me sinto instável"
"me sinto estável"	"preciso de um assento ou encosto melhores"
"o tamanho da cadeira é adequado"	"estou preocupado com minha posição sentado"
"posso mudar de posição facilmente na cadeira"	"a cadeira bloqueia meus movimentos"
"tenho um bom nível de resistência em minha cadeira"	"me sinto fisicamente cansado"
"posso me movimentar sem esforço"	"tenho de fazer um esforço adicional para manter minha posição"
"posso ajustar facilmente os componentes da cadeira"	"preciso mudar radicalmente de posição"
"me sinto satisfeito"	"sinto uma sensação de queimação"
"posso manobrar a cadeira quando estou na posição certa"	"perco o equilíbrio"
"me sinto relaxado"	"me sinto rígido"
	"eu escorrego na cadeira"

Além de depender de fatores físicos relacionados ao sistema de assento, a relação entre conforto e desconforto é fundamentalmente afetada pela duração do intervalo de tempo em que a pessoa permanece sentada. Um assento considerado confortável inicialmente, em termos de maciez e conformação anatômica, depois de algum tempo começará a causar incômodo, e mesmo o mais confortável dos assentos não será capaz de evitar o desconforto após um período suficientemente longo (ENGSTRÖM, 2002). Posturas confortáveis a curto prazo podem ser nocivas a longo prazo. Foi observado que esse efeito negativo sobre o conforto é devido ao esforço muscular necessário para manter a lordose, já que o conforto é fortemente associado com a exigência muscular mais do que com outros aspectos tais como pressão intra-discal ou a imitação da curvatura "natural" da coluna (VERGARA e PAGE, 2002). Um estudo mostrou que, em um teste de várias almofadas de assento disponíveis, usuários de cadeiras de rodas consideraram todos os modelos confortáveis nos primeiros momentos sentados, mas essa percepção foi se alterando com o passar do tempo (STOCKTON e RITHALIA, 2009). Houve usuários que tiveram de suspender o teste devido ao desconforto, mas mesmo esses eventos só ocorreram após muitas horas de uso. Este estudo mostrou que o conforto não esteve necessariamente ligado às menores pressões na interface, enquanto temperaturas mais elevadas estiveram necessariamente ligadas ao desconforto. De modo geral, os usuários

de cadeiras de rodas mostraram variabilidade na preferência, mas avaliaram melhor os colchões mais firmes com respeito ao conforto (STOCKTON e RITHALIA, 2009). Além disso, em outros estudos houve pouco sucesso em vincular sentimentos de desconforto com indicadores quantitativos tais como pressão de interface de assento, fadiga muscular indicada por eletromiografia, ou postura observada (HOBSON e CRANE, 2001).

A experiência do conforto parece ser determinada pela filtragem seletiva dos impulsos sensoriais de cada indivíduo, sendo, portanto, uma função ponderada dos impulsos sensoriais recebidos. Em um contexto industrial, percebe-se que as avaliações de desconforto geral dependem do número de partes do corpo experimentando desconforto, mais do que da intensidade desses desconfortos (LUEDER, 1983). Os resultados indicam que a maioria dos desconfortos aparece no pescoço e na região lombar, seguido por nádegas, região dorsal e coxas. Entretanto, apenas o aumento do desconforto nas regiões lombar, dorsal e/ou pescoço provocou uma diminuição no conforto geral, ou seja, os desconfortos nas nádegas e nas coxas não são tão importantes para as sensações gerais, apenas as regiões vertebrais são. Além disso, a simples presença de algum desconforto na região lombar provoca por si só uma diminuição no conforto geral, de forma que a dor lombar parece ser a mais importante para a relação entre conforto e desconforto na posição sentada (VERGARA e PAGE, 2002).

2.6 Aspectos de outras disciplinas relevantes ao problema

2.6.1 Ergonomia

Uma das disciplinas científicas que mais se ocupa dos fatores envolvidos na melhoria das condições da posição sentada é a ergonomia. O conhecimento de que a pressão dentro dos discos intervertebrais encontra seu valor máximo na posição sentada fez com que se buscasse definir uma “posição ideal” onde essa pressão intra-discal fosse minimizada e as curvaturas naturais da posição ereta permanecessem mantidas, já que a pressão intra-discal na posição ereta, onde existe a preservação da lordose fisiológica, é 35% menor do que na posição sentada sem apoio lombar (GRANDJEAN e KROEMER, 1998; POPE; GOH e MAGNUSSON, 2002).

A estabilidade da coluna depende do equilíbrio entre os componentes osteo-muscular passivo, osteo-muscular ativo e controle proprioceptivo. Como na posição sentada há uma reconfiguração da disposição angular dos músculos e ligamentos, devido à rotação posterior da pelve e à diminuição da lordose lombar fisiológica, a manutenção da citada “posição ideal” só é possível à custa da ativação do sistema osteo-muscular ativo, o que rapidamente provoca fadiga. Dessa forma, a maioria dos trabalhadores analisados em estudos da postura ocupa boa parte do tempo em uma posição que alivia o esforço da musculatura, mas que sobrecarrega o componente passivo do suporte postural: discos intervertebrais, ligamentos e ossos (GRANDJEAN e KROEMER, 1998).

A posição mais comumente prescrita como sendo ideal para a postura sentada é chamada de “90-90”, onde o ângulo do tronco com as coxas é de 90°, assim como o ângulo de flexão de joelhos, como pode ser visto na Figura 18. Essa é considerada uma posição ergonomicamente correta em locais de trabalho como escritórios e escolas (ENGSTRÖM, 2002). Entretanto, o que se percebe na realidade é que uma posição 90-90 é mais uma posição teoricamente boa do que uma posição prática e funcional. De fato, a maioria das pessoas senta nessa posição apenas por alguns curtos momentos, o que faz supor que há uma discrepância entre as recomendações ergonômicas e o que é visto em situações de vida real (ENGSTRÖM, 2002).



Figura 18. Posição "90-90" geralmente prescrita pelos manuais de ergonomia, mostrando tronco ereto, segmentos em ângulo de 90° entre si, e tronco apoiado. Fonte: Engström (2002).

A adequação postural apresenta alguns objetivos comuns com a ergonomia, como o favorecimento da produtividade e do conforto e a diminuição da fadiga e da sobrecarga sobre o organismo. A recomendação ergonômica de manutenção de uma postura ideal se manifesta na maioria das prescrições de cadeiras de rodas, onde uma postura simétrica e bem definida é considerada um dos objetivos a ser alcançado com uso do sistema de assento (KANGAS, 2005). Entretanto, ambas as especialidades tratam de populações bastante distintas: a ergonomia, em geral, considera populações com distribuição normal de parâmetros fisiológicos e anatômicos, utilizando a análise estatística desses parâmetros como base de projeto (GRANDJEAN e KROEMER, 1998). Já a adequação postural está envolvida com o atendimento de uma população altamente heterogênea, com uma enorme variação de parâmetros psicológicos, intelectuais, anatômicos, clínicos e sociais, tornando necessária a atenção individual a cada caso (CEDAT, 2003).

2.6.2 Projeto de assentos na indústria de veículos

Um dos principais setores envolvidos na definição dos fatores de conforto ao sentar é o de assentos para veículos. Da mesma forma como ocorre nas cadeiras de rodas, os motoristas de automóveis e caminhões eventualmente permanecem sentados durante horas seguidas, enquanto têm uma relativa restrição física para a troca de posição. Um dos principais desafios enfrentados pela indústria automobilística é o desenvolvimento de metodologias consistentes para projetar assentos confortáveis, visto que o conforto dos assentos é um item de qualidade considerado determinante pelos consumidores ao avaliar a aquisição de carros de passeio (KOLICH, 2003). Além disso, motoristas de caminhão têm necessidades de conforto e de ergonomia relacionadas a aspectos ocupacionais de seu posto de trabalho (MEHTA e TEWARI, 2000). Um dos principais problemas encontrados nessa área é a conciliação entre as posições recomendadas pela ergonomia para a promoção de uma postura saudável, e aquelas posturas preferidas pelos usuários por serem consideradas mais confortáveis. Observou-se que muitas posturas recomendáveis do ponto de vista ergonômico foram consideradas desconfortáveis por entrevistados em avaliações de assentos de automóvel (KOLICH, 2003).

Outro problema consiste em associar o conforto ou seus descritores – que têm uma natureza subjetiva – a parâmetros objetivos relativos ao indivíduo ou ao assento (TAN *et al.*, 2008). Sugere-se que o conforto não representa um conjunto fixo de condições fisiológicas, mas antes disso um conjunto de níveis fisiológicos otimamente variáveis, e essa variabilidade portanto deveria fazer parte dos parâmetros do assento, que assumiria um caráter dinâmico (LUEDER, 1983).

A tendência para a promoção do conforto em assentos veiculares tem incluído a facilitação de pequenas variações posturais, sobre uma superfície razoavelmente flexível, diminuindo a sobrecarga mecânica e a isquemia tecidual (TAN *et al.*, 2008). Controles motorizados para mudança da posição e da forma do assento vêm sendo usados para facilitar a adaptação a diversos usuários. Uma vez que uma configuração “ótima” é obtida, presume-se que o motorista manterá essa configuração por períodos prolongados – usando a própria força muscular para fazer pequenos ajustes na postura sobre a superfície estática, porém deformável (HOBSON e CRANE, 2001).

A variabilidade pode ser importante quando é considerado o padrão de movimentos envolvido em um contexto maior de funcionalidade e atividade do indivíduo. Estudos com operadores de tratores associaram positivamente o tipo de atividade dos operadores de tratores à altura do encosto, que deve ser alta suficiente para proporcionar apoio à região dorsal, mas baixa o suficiente para que ele possa acessar comandos que exijam rotação de tronco e alternância do campo visual (MEHTA e TEWARI, 2000). Entretanto, em outros veículos tais como automóveis de passeio, isso se aplica de forma diferente, já que neste caso o motorista, por um lado, está mais relaxado, e por outro lado apresenta um padrão de restrições posturais que requer “mãos no volante, pés nos pedais e olhos na estrada” (GRANDJEAN e KROEMER, 1998). Dessa forma, o conforto não poderia ser considerado um parâmetro significativo de projeto a menos que fosse feita referência aos requisitos da tarefa envolvida (LUEDER, 1983). Isso sugere que também em assentos de cadeiras de roda, a funcionalidade e as atividades previstas para o usuário sejam fatores determinantes do nível de mobilidade, suporte e restrição postural que deverá proporcionar o maior conforto, variando amplamente de indivíduo para indivíduo (HOBSON e CRANE, 2001).

2.6.3 Conforto térmico

Uma área da pesquisa em conforto que recebe considerável atenção é a do conforto térmico. Assim como no conforto ao sentar, as definições de conforto térmico não estão definitivamente estabelecidas, e apresentam um caráter subjetivo que dificulta sua tradução em parâmetros físicos. A normatização para dimensionamento de sistemas de ar condicionado considera conforto térmico como “o estado mental que denota satisfação com o ambiente térmico” (ISO, 1995; ASHRAE, 1997), e considera para sua caracterização o nível médio de atividade metabólica, o isolamento térmico proporcionado pela roupa, e as variáveis ambientais – como temperatura radiante média, temperatura convectiva, bem como velocidade e umidade relativa e do ar. O objetivo é determinar quais são as condições ideais para esses parâmetros que deverão gerar o conforto térmico do maior número de pessoas possível em um determinado ambiente a uma determinada atividade.

Pode-se afirmar que é impossível a determinação de valores médios para os parâmetros do ambiente térmico que estarão invariavelmente associados ao conforto

térmico para todas as pessoas, pois há estudos que mostram que o conforto está mais diretamente relacionado com a *variação* desses parâmetros, e com o comportamento dessa variação ao longo do tempo, do que propriamente com os *valores* absolutos desses parâmetros em um dado momento (BULCAO *et al.*, 2000; ARENS; ZHANG e HUIZENGA, 2006; IVANOV, 2006).

A relação entre o ambiente e a atividade pode situar o indivíduo em cinco zonas distintas: frio extremo, frio moderado, neutralidade, calor moderado e calor extremo (BULCAO *et al.*, 2000). Nas zonas extremas, o ambiente exerce uma agressão térmica que desencadeia fortes respostas fisiológicas e psíquicas de *proteção*, pois a manutenção prolongada dessa agressão pode levar a prejuízos sérios ou mesmo morte. Nas zonas moderadas, embora não haja risco de comprometimento orgânico, desencadeiam-se respostas termo-regulatórias de *controle* que objetivam manter a temperatura interna em um valor rigidamente determinado pelo sistema nervoso central, à custa de mudanças na produção interna do calor corporal e na sua eliminação. Nessas faixas há um estímulo psíquico para medidas comportamentais como trocar de roupa, ligar o ar condicionado ou buscar um ambiente com temperatura diferente, e esse estímulo está relacionado com o desconforto e a insatisfação (ARENS; ZHANG e HUIZENGA, 2006). Já na zona termicamente neutra, a produção interna de calor e o seu fluxo para o meio externo encontram-se aproximadamente equilibrados, e apenas um controle fisiológico fino age continuamente sobre o *fluxo de calor* através da pele, principalmente das mãos (IVANOV, 1999).

A determinação da importância relativa entre os níveis de ação da termo-regulação – controle fisiológico fino, controle fisiológico grosseiro, ou controle comportamental – depende da determinação do objetivo e o objeto da termo-regulação em si (IVANOV, 1999). Segundo Guyton (2006), o mecanismo termorregulador mais eficaz a longo prazo é o controle comportamental desencadeado pela sensação de desconforto térmico, que faz com que o homem procure passar a maior parte de sua vida em zonas termo-neutras, abrigando-se do frio ou do calor; construindo casas e sistemas de aquecimento; confeccionando e utilizando roupas (GUYTON e HALL, 2006). Entretanto, a busca da satisfação motivada pelo comportamento voluntário está subordinada à segurança e estabilidade do ambiente bioquímico interno, e portanto à própria sobrevivência do indivíduo, já que o objetivo último da homeostase térmica é a manutenção de uma estreita faixa de temperatura onde o metabolismo

se desenvolve de forma ótima. A manutenção dessa temperatura constante, entretanto, requer a atividade de um conjunto sofisticado de sistemas reguladores, que agem nos diversos níveis já mencionados (IVANOV, 2006). Vale ressaltar ainda, que a tendência antecipatória dos mecanismos fisiológicos encontra-se integrada com a grande sensibilidade dos controles comportamentais em resposta ao desconforto térmico (BULCAO *et al.*, 2000). Isso é possível porque, na zona de conforto termoneutra, a medição e a modificação da temperatura corporal não são controladas pelo *estado* atual da condição térmica do corpo – representado pela temperatura instantânea do hipotálamo – mas sim pela *tendência de variação* desse estado (IVANOV, 1999). Devido a isso, por exemplo, a geração de calor induzida por exercício aciona a sudorese mesmo antes do aumento de temperatura corporal (HAMADA *et al.*, 2006).

Um fator que também afeta a percepção do conforto térmico é o local do corpo onde ele se origina. Da mesma forma como o desconforto ao sentar é afetado de forma diferente pela região do corpo que o origina (VERGARA e PAGE, 2002), assim também o conforto térmico é dependente das relações ponderadas entre as condições de conforto ou desconforto de várias partes do corpo (HUIZENGA *et al.*, 2004). Em ambientes quentes, a cabeça e o rosto são percebidos como as regiões mais desconfortáveis, e em ambientes frios essas regiões são percebidas como estando a uma temperatura maior que o resto do corpo. Já as mãos e os pés são percebidos como mais frios quando a temperatura ambiente é baixa (HUIZENGA *et al.*, 2004).

2.7 Referencial Metodológico

A busca por soluções às necessidades humanas através dos dispositivos tecnológicos envolve a solução de problemas. Se forem considerados os problemas como a existência de um estado inicial indesejável ou de uma situação insatisfatória, a obtenção de uma solução – a chegada a um estado alternativo desejável – requer a identificação dos obstáculos que impedem a transformação de um em outro estado, bem como a identificação dos passos que devem ser tomados para que isso ocorra (SAVRANSKY, 2000; PAHL e BEITZ, 2007). Nesse processo, a solução final é *sintetizada* através do uso da criatividade, situando o produto em desenvolvimento

em um *espaço de soluções*, cujas fronteiras são determinadas pelos requisitos e restrições de projeto.

O desenvolvimento e aplicação de metodologias de projeto é a principal forma de otimizar o aproveitamento da criatividade e do conhecimento para a solução de problemas tecnológicos. A utilização de metodologias proporciona alguns benefícios como: redução do tempo de projeto, auxílio na formalização do processo de projeto e na produção de soluções bem definidas e precisas, facilidade de implementação computacional, e organização de atividades (ALVARENGA *et al.*, 2006).

Dentre as diversas metodologias existentes e documentadas, a Metodologia de Projeto Sistemático (PAHL e BEITZ, 2007), a Metodologia de Projeto Axiomático (SUH, 1990) e a Teoria da Solução dos Problemas Inventivos, ou TRIZ (ALTSHULLER, 1984), apresentam características apropriadas para a abordagem dos problemas de projeto de assentos para cadeiras de rodas. Essas características são as seguintes:

- a) São metodologias que aplicam princípios universais da solução de problemas ao projeto de sistemas técnicos, voltadas tanto ao desenvolvimento de novos produtos quanto ao aprimoramento de produtos existentes;
- b) Consideram a função do sistema como o objetivo maior de sua existência, sendo sua concretização física apenas um passo para a obtenção da funcionalidade, à qual essa concretização deve estar subordinada. Essa visão é positiva por aumentar o número de soluções possíveis, além de dirigir o esforço de projeto diretamente para a satisfação das necessidades do cliente;
- c) Visualizam os sistemas técnicos como uma estrutura hierárquica de componentes, que podem ser subdivididos em componentes menores, ao mesmo tempo em que podem ser subcomponentes de um sistema maior.
- d) Utilizam a abstração como forma de transformar um problema específico em um problema genérico, resolvê-lo de forma abstrata, e depois concretizar a solução;
- e) Contam com conjuntos bem definidos e estruturados de etapas que devem ser desenvolvidas de forma consecutiva e iterativa;
- f) Apresentam diversos preceitos e abordagens comuns, mas foram desenvolvidas em contextos distintos, dessa forma ampliando o espaço de aná-

lise e aumentando a consistência das possibilidades de encontrar uma solução;

- g) São especialmente indicadas para o projeto de problemas complexos, cuja solução não tem uma forma prévia definida, e cujos requisitos e restrições estão formulados de forma não-estruturada.
- h) Enfatizam a importância da fase inicial do projeto, da qual depende o sucesso das etapas posteriores. Enfatiza-se que o custo da correção de erros de projeto aumenta significativamente quanto mais tardia é sua detecção, o que freqüentemente ocorre por negligência nas etapas iniciais.

A seguir, segue uma descrição geral de cada uma dessas metodologias.

2.7.1 Projeto Sistemático⁸

A Metodologia de Projeto Sistemático (MPS) consiste na integração cumulativa de uma série de metodologias anteriores formuladas na Europa desde o século XIX, servindo também como referencial de algumas metodologias de projeto norte-americanas (ULRICH e EPPINGER, 1995) e brasileiras (ROZENFELD *et al.*, 2006). É uma das mais robustas metodologias de projeto documentadas, consistindo na aplicação de técnicas universais de resolução de problemas à atividade de projetar, com o apoio de métodos e conhecimentos específicos para o projeto de sistemas técnicos (MALMQVIST; AXELSSON e JOHANSSON, 1996).

A MPS considera os artefatos de fabricação humana como *sistemas técnicos*, que possuem as seguintes propriedades:

- a) São conectados ao ambiente por uma fronteira, que define o que faz parte do sistema e o que é externo a ele; através da fronteira, transitam fluxos de entrada e saída de matéria, energia e sinais (informação);
- b) O sistema pode ser mais ou menos complexo, dependendo da natureza das relações entre as entradas e saídas de cada componente e da natureza do relacionamento entre esses componentes. Complexidade, neste caso, significa uma fraca transparência dos relacionamentos entre entradas e saídas, e a existência de processos físicos relativamente intrincados.

⁸ As informações desta seção foram resumidas do livro *Engineering Design: A Systematic Approach* (PAHL e BEITZ, 2007) exceto outras fontes quando indicado.

- c) Podem ser divididos em subsistemas, com suas respectivas fronteiras, contidos dentro da fronteira do sistema maior; por outro lado, também podem ser considerados parte de um sistema maior, hierarquicamente superior.
- d) Um sistema pode ser representado por sua estrutura, que descreve as relações existentes entre seus elementos constitutivos ou funcionais. A composição da estrutura dependerá de seu propósito de representação;
- e) Cada subsistema ou elemento cumpre uma função, que consiste na relação que se deseja que exista entre as entradas e saídas do subsistema ou elemento. Isso se dá pela transformação das propriedades ou do estado da matéria, da energia ou dos sinais de entrada;
- f) As funções de um sistema apresentam uma inter-relação funcional, que pode ser definida em um nível mais abstrato (descrição genericamente válida) ou mais concreto (definição tarefa-específica);
- g) Funções específicas da tarefa podem ser definidas com um verbo e um substantivo, por exemplo: "manter temperatura", "diminuir pressão", "conter região pélvica". A descrição dessas funções deriva da terminologia empregada pela área técnica em que a tarefa é considerada, e podem conter indicações quantitativas;
- h) As funções genericamente válidas, definidas em um nível mais abstrato, se referem de forma mais ampla ao relacionamento entre entradas e saídas, e prescindem da nomenclatura domínio-específica, referindo-se diretamente às grandezas matéria, energia e sinal, utilizando uma base funcional comum, ou "banco de funções" (STONE; WOOD e CRAWFORD, 2000).

Segundo a MPS, a síntese de sistemas técnicos com o objetivo de resolver um problema e satisfazer necessidades humanas segue uma seqüência determinada de etapas, enumeradas a seguir:

- a) Identificação da necessidade e formulação do problema;
- b) Determinação da tarefa principal e da função principal do sistema, em linguagem independente da solução a ser adequada, originando uma lista de requisitos;

- c) Decomposição da função principal em subfunções, devendo atingir um nível de detalhe que seja representável por uma estrutura de funções elementares, as quais podem ser descritas através de uma base funcional;
- d) Atribuição de princípios de solução às subfunções encontradas, permitindo estabelecer os princípios físicos selecionados, bem como a forma geométrica e os materiais utilizados nos componentes ou sub-montagens;
- e) Elaboração de uma estrutura operacional, determinando o modo como serão montados os componentes para que possam realizar as funções determinadas pela estrutura funcional. Esta fase e a anterior são chamadas *Projeto Preliminar*.
- f) Dimensionamento, elaboração do Projeto Detalhado e encaminhamento à produção.

A determinação da função principal de forma abstrata é uma das atividades mais importantes entre as citadas acima, pois através da abstração é possível encontrar um nível mais elevado de inter-relacionamento, que seja genérico e abrangente. Tal procedimento reduz a complexidade e enfatiza os aspectos principais do problema, dando oportunidade para procurar e encontrar outras soluções que contemplem esses aspectos, ignorando o que é particular ou incidental e enfatizando o que é genérico e essencial. Uma análise que progrida de uma formulação mais concreta para uma mais abstrata apresenta os seguintes ganhos:

- a) Eliminação de preferências pessoais;
- b) Omissão de requisitos que não têm efeito direto na função e nas restrições essenciais;
- c) Transformação de informações quantitativas para qualitativas e redução dessas informações aos seus enunciados fundamentais;
- d) Formulação do problema em termos solução-independentes;
- e) Descarte de restrições fictícias que uma formulação contaminada pode criar.

Ao final da identificação da tarefa e da função principais, deve-se elaborar uma *lista de requisitos*. A tradução das necessidades do cliente em requisitos de projeto segue três passos: o enunciado da necessidade do cliente, na sua própria linguagem; o desdobramento dessa necessidade em requisitos do cliente, expressos

em linguagem técnica; e o refinamento de cada requisito do cliente em seus respectivos requisitos de projeto, que então devem ser adicionados à lista de requisitos. A identificação de deficiências ou falhas em sistemas existentes também pode dar origem a requisitos, que precisam então ser formulados de maneira solução-independente e incluídos na lista.

A lista de requisitos é um documento que representa a especificação contra a qual o sucesso do esforço de projeto pode ser julgado. Ela estabelece os objetivos que se espera que a solução pretendida satisfaça, as propriedades que a solução deve ter, e as propriedades que ela *não* deve ter.

O próximo passo é a elaboração da *estrutura funcional*, que consiste na representação gráfica do modelo funcional do sistema, onde sua função principal é decomposta hierarquicamente em subfunções conectadas pelos fluxos em que estas atuam. Esse procedimento facilita a descoberta de soluções porque simplifica a busca genérica por elas, e também porque soluções para sub-funções podem então ser elaboradas separadamente. A estruturação funcional utiliza uma abordagem *top-down* para representar sistemas, no sentido de que a função geral é definida primeiro, sendo o comportamento de cada componente posteriormente detalhado no contexto de sua função (CHANDRASEKARAN; GOEL e IWASAKI, 1993). Deve-se ter em mente que sistemas técnicos não possuem funções mais importantes ou menos importantes: todas as funções são importantes porque são necessárias. Qualquer função que seja supérflua deve ser eliminada, e todas as funções que não o sejam devem ser plenamente satisfeitas.

Nota-se que não há uma maneira única de elaborar a estrutura funcional de um sistema, sendo essa elaboração dependente do projetista, das intenções de projeto, do nível de detalhe escolhido e dos objetivos de representar essa estrutura (CHANDRASEKARAN; GOEL e IWASAKI, 1993). Um exemplo de estrutura funcional encontra-se na Figura 19. Nessa figura, deve-se notar que os fluxos percorrem diversas funções, e ao fazê-lo são processados e modificados por elas de maneira determinada, e todo o fluxo de entrada deve estar presente na saída de uma função, após modificado. Os fluxos de sinal normalmente são embutidos em fluxos de matéria ou de energia (STONE e WOOD, 2000).

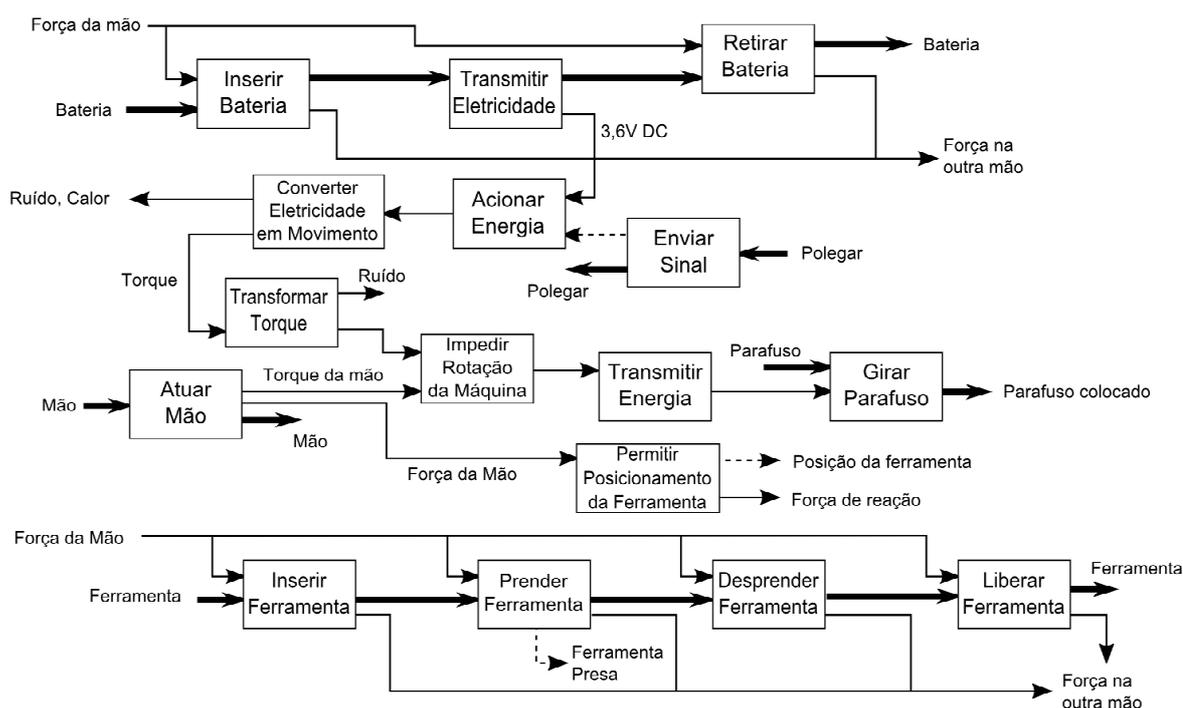


Figura 19. Estrutura funcional de uma parafusadeira manual a bateria. As linhas representam os fluxos de matéria (linhas grossas), de energia (linhas finas) e de sinal (linhas pontilhadas).

Fonte: adaptado de Dahmus, Gonzalez-Zugasti e Otto (2001).

No caso de projetos por inovação, onde as sub-funções e seus relacionamentos não são em geral conhecidos, a determinação de uma estrutura funcional ótima constitui um dos mais importantes passos do projeto conceitual. Neste caso, ela decorre da lista de requisitos e da formulação abstrata do problema. Já no caso de projetos adaptativos, em geral a estrutura e suas montagens e componentes já são melhor conhecidos, e assim a estrutura funcional pode ser obtida pela análise de produtos similares. Esse método é particularmente adequado para desenvolvimentos nos quais ao menos uma solução com a estrutura funcional apropriada é conhecida, e o principal problema é a descoberta de soluções melhores.

Por fim, a seleção de princípios de solução, baseados em determinados efeitos físicos ou químicos, além da escolha das dimensões e do material dos componentes, e o mapeamento entre os componentes e as funções, dará origem à estrutura operacional. A correta escolha das relações causais determinadas por teorias (leis físicas) e das características físicas dos componentes assegurará que, sob as condições normais de operação, a função de um componente ou subsistema será adequadamente executada (BONNET, 1992). Assim, é na estruturação operacional que a informação sobre a *intenção* do projeto, caracterizada pela estrutura de funções,

será vinculada à informação sobre os *processos causais* que deverão tornar o sistema funcional, informação esta caracterizada pelos princípios físicos ou *regras de domínio*⁹ que os componentes são capazes de efetuar, e que é embutida nestes pelo projetista (CHANDRASEKARAN; GOEL e IWASAKI, 1993).

2.7.2 Projeto Axiomático¹⁰

A Metodologia de Projeto Axiomático (MPA) foi desenvolvida pelo Dr. Nam P. Suh, no Departamento de Engenharia Mecânica do Massachusetts Institute of Technology, com o objetivo de orientar o projeto de sistemas, através do mapeamento sucessivo das necessidades do cliente para os requisitos funcionais, parâmetros de projeto e variáveis de processo, através de uma abordagem *top-down*. Um dos princípios dessa metodologia é o de que o comportamento dos sistemas técnicos pode ser descrito por axiomas e, portanto, pode ser generalizado e sistematizado. Por *axiomas* entende-se “princípios gerais de verdades auto-evidentes que não podem ser derivados ou provados mas para os quais não há exceção ou contra-prova” (SUH, 1990). Segundo Suh (1998):

O projeto de sistemas eficientes é o objetivo principal de diversas áreas, incluindo engenharia, administração de empresas e governos. Ainda assim, o projeto de sistemas carece de um referencial teórico e, dessa forma, tem sido executado de forma empírica ou heurística (...). Tais abordagens para o projeto de sistemas envolvem riscos técnicos e administrativos devido às incertezas associadas com o desempenho e com a qualidade de um sistema que é criado por meio de decisões empíricas (SUH, 1998).

A MPA se baseia em dois axiomas fundamentais: o *Axioma da Independência* e o *Axioma da Informação*. O primeiro diz que a lista de requisitos funcionais deve conter todos e somente aqueles requisitos associados à satisfação das necessidades, e que esses requisitos devem permanecer *independentes* entre si, ou seja, a satisfação de um requisito deve ser independente da satisfação de outros. O segun-

⁹ As regras de domínio são aquelas que regem as relações causais dos fenômenos físicos empregados na estrutura operacional, e dependem do ramo tecnológico em que o sistema está sendo desenvolvido. Assim, a motorização de três aeromodelos – um a gasolina, um a bateria e outro a ar comprimido, por exemplo – poderá ter a mesma estrutura funcional, mas devido à diferença entre as regras de domínio, terão estruturas operacionais diferentes.

¹⁰ As informações desta seção foram adaptadas de um resumo da MPA encontrada no artigo *Axiomatic Design Theory for Systems* (SUH, 1998), bem como conteúdo original do artigo (tradução nossa) exceto outras fontes quando indicado.

do axioma diz que, entre as soluções que satisfazem os requisitos funcionais e o Axioma da Independência, a melhor solução é aquela com menor conteúdo de informação, por ser também, portanto, aquela que apresenta a maior probabilidade de satisfazer as necessidades do cliente. Além disso, sistemas com muitos requisitos funcionais podem se tornar complexos, e a probabilidade de satisfazer muitos requisitos funcionais diminui com o aumento do número de requisitos e de parâmetros de projeto.

O projeto do sistema, segundo a Metodologia de Projeto Axiomático, deve ser documentado de forma a capturar toda sua informação relevante. O documento deve mostrar a completa estrutura do sistema e as relações entre os requisitos funcionais, parâmetros de projeto e variáveis de projeto decompostos. A informação relevante inclui os requisitos específicos para os quais o sistema está sendo projetado, o raciocínio envolvido na escolha dos parâmetros de projeto específicos, e as relações de causalidade entre os requisitos funcionais, parâmetros de projeto e variáveis de projeto. A estruturação hierárquica entre os elementos do projeto, chamada *arquitetura do sistema* é representada de três formas: como *mapeamento entre domínios*, *diagrama de junção de módulos*, e *diagrama de fluxo*.

Segundo a MPA, a atividade de projeto atua sobre quatro *domínios*: o domínio do cliente, o domínio funcional, o domínio físico e o domínio dos processos. Uma representação gráfica das relações entre os domínios pode ser vista na Figura 20.

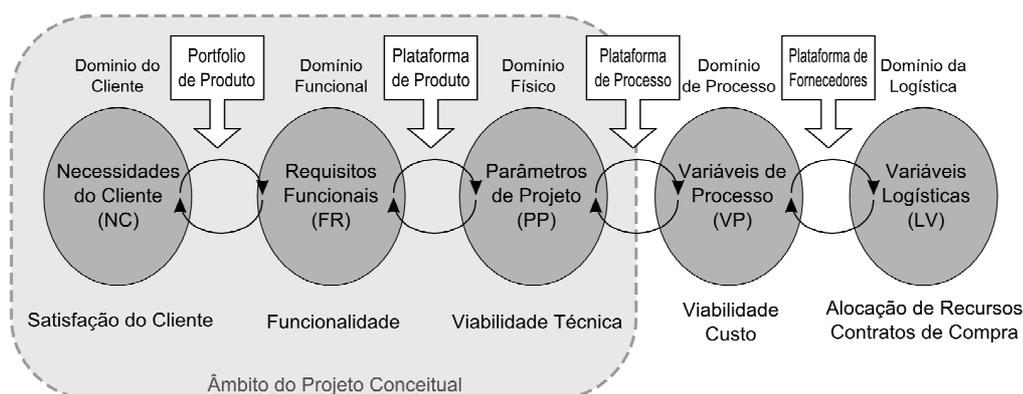


Figura 20. Relacionamento entre os domínios de projeto, segundo a MPA.
Fonte: adaptado de Jiao, Simpson e Siddique (2007).

O domínio do cliente é caracterizado pelas necessidades do cliente final ou pelos atributos que esse cliente procura em um produto ou sistema. No domínio funcional, as necessidades dos clientes são especificadas em termos de requisitos funcionais e restrições. Para satisfazer os requisitos funcionais, são concebidos parâ-

metros de projeto no domínio físico. A grande maioria dos projetos se enquadra nesses três domínios. Dessa forma, todas as atividades de projeto, sejam elas de produto, sistema, processo ou serviço, podem ser generalizadas em termos dos mesmos princípios, que podem então ser usados em todas as aplicações e todas as questões que surgem nesses quatro domínios de forma sistemática e, se necessário, simultaneamente.

As etapas do projeto de sistemas pela MPA seguem a seqüência indicada a seguir:

- a) Determinação das necessidades do cliente, ou atributos no domínio do cliente que devem ser satisfeitos pelo sistema, sendo os requisitos funcionais e as restrições do sistema no domínio funcional determinados para satisfazer as necessidades do cliente. Os requisitos funcionais devem ser enumerados com uma formulação independente de solução, para estimular idéias criativas. É importante lembrar que a lista de requisitos é *definida* como o menor conjunto de requisitos funcionais independentes que o projeto deve satisfazer¹¹;
- b) Mapeamento entre os requisitos no domínio funcional e os parâmetros no domínio físico, concebendo os princípios de solução. Os parâmetros de projeto devem ser escolhidos de modo que não haja conflito com as restrições. No caso de produtos, esses parâmetros podem ser propriedades físicas, ou os próprios componentes;
- c) Mapeamento entre parâmetros de projeto no domínio físico e variáveis no domínio dos processos. As variáveis de processo podem ser tecnologias existentes ou que devam ser criadas, máquinas que a empresa possui e serviços de terceiros. Essas variáveis podem funcionar também como restrições;
- d) Decomposição dos requisitos, parâmetros e variáveis, até que o projeto possa ser implementado sem a necessidade de decomposição adicional

¹¹ A MPA utiliza matrizes de correlação entre RF e PP, para assegurar a validade do Axioma da Independência através da análise do mapeamento entre ambos. O sistema pode ser classificado como *não-acoplado* (quando a matriz é diagonal e, para cada RF, existe apenas um PP e vice-versa), *desacoplado* (quando a matriz é triangular e a independência é mantida somente se os parâmetros forem modificados em uma determinada ordem) e *acoplado* (quando a matriz não é diagonal nem triangular, existindo dependência entre parâmetros no mesmo domínio). Se houver mais requisitos

para criar suas hierarquias. Um preceito fundamental da MPA é que a decomposição não pode ser feita em um único domínio, mas apenas através da alternância iterativa entre os domínios. A decomposição deve ser feita até que a tarefa de projeto se complete.

2.7.3 TRIZ – A Teoria da Solução dos Problemas Inventivos¹²

A Metodologia TRIZ¹³ começou a ser desenvolvida na Rússia por Genrikh Saulovich Altshuller, inventor russo que trabalhou em um departamento de registro de patentes. Altshuller revisou sistematicamente cerca de 40.000 resumos de patentes, desenvolvendo a partir dessa análise fundamentos de sua metodologia, como os *40 princípios inventivos*, as *Leis de Evolução dos Sistemas Técnicos*, os conceitos de *Contradição Técnica* e *Contradição Física* e o conceito de *Idealidade* de um sistema. Os fundamentos teóricos da TRIZ são os seguintes:

- a) A metodologia se destina à resolução de problemas cuja solução depende da atividade inventiva, envolvendo sistemas técnicos de média e alta complexidade na área de engenharia, com a utilização de heurísticas¹⁴ derivadas da análise exaustiva de patentes.
- b) Um sistema técnico consiste em um conjunto de subsistemas que interagem ordenadamente, criado com a intenção de executar funções, possuindo comportamentos e propriedades que não podem ser reduzidos aos comportamentos e propriedades dos subsistemas individuais;
- c) O projeto de todos os sistemas técnicos, com o passar do tempo, evolui irreversivelmente para o aumento da idealidade, definida como a condição em que as funções do sistema são plenamente executadas, e seus pontos negativos são inexistentes. Essa evolução ocorre de acordo com certas

funcionais do que parâmetros de projeto, o projeto é *insuficiente*, e se houver mais parâmetros de projeto do que requisitos funcionais, ele é *redundante*.

¹² As informações desta seção foram retiradas do livro *Engineering of creativity: Introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving* (SAVRANSKY, 2000) exceto outras fontes quando indicado.

¹³ TRIZ é uma ocidentalização da denominação russa Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch (Теория решения изобретательских задач), que é traduzida como Teoria da Solução dos Problemas Inventivos, ou Teoria da Solução dos Problemas do Inventor (TRIZ, 2009).

¹⁴ Heurísticas são regras derivadas de hipóteses de trabalho que, a despeito de serem verdadeiras ou falsas, são adotadas a título provisório como idéias diretrizes na investigação dos fatos.

leis objetivas que predizem a forma como um sistema poderá evoluir, e o domínio dessas leis permite que essa evolução seja intencionalmente acelerada;

- d) Os componentes de um sistema técnico possuem parâmetros como, por exemplo, peso, velocidade, precisão e complexidade. A TRIZ utiliza uma lista de 39 parâmetros elementares, que se encontra no Anexo C (em inglês);
- e) A evolução em direção à idealidade ocorre em velocidades diferentes entre os subsistemas, originando contradições, que surgem quando o valor de um parâmetro deve ser ao mesmo tempo aumentado e diminuído (contradição física), ou quando a melhoria de um parâmetro envolve a piora de outro parâmetro (contradição técnica). Por exemplo: o aumento da potência de um motor aumenta também seu peso (contradição técnica); a espessura de um tubo deveria ser grande para aumentar a resistência, mas também fina para diminuir o custo (contradição física);
- f) Os principais processos distintos para remover contradições técnicas se repetem em vários problemas, e esses princípios foram catalogados por Altshuller em uma lista contendo 40 princípios elementares de solução para contradições técnicas. A lista desses princípios encontra-se no Anexo B (em inglês);
- g) As *contradições técnicas* envolvem o conflito entre dois dos 39 parâmetros de um sistema. Foi então desenvolvida a Matriz de Contradições, que associa alguns dos 40 princípios de solução para cada uma das combinações possíveis. Essa matriz foi elaborada com base em padrões percebidos durante a análise exaustiva das patentes;
- h) As *contradições físicas* ocorrem quando requisitos conflitantes são atribuídos ao mesmo componente, e são resolvidas usando principalmente quatro heurísticas de separação: no espaço, no tempo, condicional e separação em níveis hierárquicos. Além dessas, existem heurísticas adicionais, como as 14 heurísticas de Glazunov, que se encontram no Anexo C (em inglês);
- i) A resolução de contradições deve buscar o aproveitamento de recursos do sistema ou da vizinhança do sistema que ainda não foram utilizados. Es-

ses podem ser, por exemplo, recursos ambientais, tempo, espaço, informação, componentes já existentes, ou relações que podem ser criadas entre componentes. Esses recursos geralmente existem em um sistema, mas acabam sendo negligenciados quando a atenção é focada somente no foco da contradição. A TRIZ fornece algumas heurísticas para o aproveitamento dos recursos;

- j) O conjunto de funções de um sistema técnico deverá ser executado através da aplicação de princípios físicos, químicos ou geométricos, encontráveis em bibliotecas ou listas de classificação, as quais sugerem diversos princípios operacionais para cada função elementar presente no sistema;

Ao contrário da MPS, que busca ampliar ao máximo o espaço de solução, a TRIZ busca encurtar o caminho entre a situação atual e a situação desejada, diminuindo dessa forma o esforço de projeto, e isso é feito através da formulação de um Resultado Final Ideal (RFI). A caracterização extrema do RFI é a situação em que a função do sistema existe, mas quaisquer aspectos negativos estão totalmente ausentes. Nesse sentido, a própria existência do sistema – que envolve custo, espaço ocupado e energia consumida – é considerada um aspecto negativo, de forma que pode-se afirmar que *o sistema ideal é aquele que não existe, mas cuja função é realizada*. Isso pode ser obtido pela incorporação da função do sistema a algum outro sistema já existente, mas em geral apenas a *aproximação* do RFI é almejável, sem que o mesmo possa de fato ser atingido. Entretanto, a definição de um RFI cria um esboço da situação depois que o problema foi resolvido, em uma formulação que é independente da solução a ser desenvolvida, e isso aumenta as chances de resolução por orientar o projeto à causa primordial do problema ou da necessidade do cliente.

2.7.4 Representação Funcional

Todas as metodologias selecionadas enfatizam a importância da determinação precisa do conjunto de funções de um sistema através da estruturação funcional. A documentação da funcionalidade de um sistema deve ter a finalidade de transmitir às equipes encarregadas do projeto e da fabricação as informações sobre o propósito desse sistema, bem como as relações projetadas entre os componentes,

as quais deverão garantir a realização das funções projetadas. De acordo com o que foi exposto nas seções anteriores, a representação funcional dos componentes de um sistema técnico envolve o uso de bibliotecas ou bases funcionais, onde funções genéricas elementares podem ser encontradas e atribuídas aos elementos do domínio físico do sistema (SAVRANSKY, 2000; PAHL e BEITZ, 2007).

As bibliotecas de funções, também chamadas repositórios de projeto, são constituídas por um conjunto de fluxos e um conjunto de funções elementares, os quais devem ser combinados em uma estrutura verbo-objeto (função-fluxo) para representar, de forma abstrata e independente de solução, a função de cada componente ou montagem do sistema. Uma biblioteca que apresente os elementos descritivos para representar a função de qualquer componente, sendo esses elementos mutuamente exclusivos, pode ser chamada de *base funcional*, em uma analogia ao conceito matemático de base vetorial, cuja independência linear garante que qualquer ponto de um determinado espaço possa ser determinado por uma combinação única dos vetores que compõem a base (HIRTZ *et al.*, 2002).

Algumas das vantagens de utilizar uma base funcional encontram-se listadas a seguir (STONE e WOOD, 2000):

- a) Auxiliar o desenvolvimento da arquitetura do produto, ao permitir uma visualização precoce de possíveis módulos formados por grupos de subfunções;
- b) Auxiliar a sistematização do processo de modelagem funcional, aumentando a padronização de modelos criados por diferentes projetistas, e diminuindo a ambigüidade de cada modelo funcional;
- c) Viabilizar o registro, o armazenamento, a busca e o reuso de estruturas funcionais, permitindo comparar estruturas e procurar princípios de solução em produtos de função similar;
- d) Indicar um momento em que a decomposição funcional pode se considerada completa, fornecendo um nível consistente de detalhamento.

Tentativas vêm sendo feitas para classificar e representar o espectro de funções existentes por meio de uma base funcional. A MPS considera teoricamente possível classificar funções de forma que o nível mais baixo da estrutura funcional – os “ramos” ou subfunções elementares – consista exclusivamente de funções que não possam mais ser subdivididas, encontrando-se dessa forma no nível mais alto

de abstração. Assim, são enumerados três fluxos (matéria, energia e sinal) e cinco descrições funcionais genericamente válidas: canalizar, conectar, variar, mudar e armazenar (PAHL e BEITZ, 2007). Entretanto, argumenta-se que o termo *função genericamente válida*, utilizado pela MPS, carece de uma definição precisa, e poderia comprometer a eficácia prescritiva da metodologia (STONE e WOOD, 2000).

Em outra tentativa de elaboração de uma base funcional, a teoria da Representação Funcional, que se ocupa da representação computacional da funcionalidade dos sistemas técnicos através do desenvolvimento de uma sintaxe de programação, considera quatro tipos de funções elementares irreduzíveis (KEUNEKE, 1991):

- a) **Fazer:** a função do componente é fazer com que o sistema ou parte dele assuma determinado estado, ou que algum parâmetro do sistema atinja determinado valor, em algum determinado *momento*;
- b) **Manter:** a função do componente é manter ativamente o sistema ou parte dele em um determinado estado, ou algum parâmetro em determinado valor durante um determinado *período* de tempo. Isso implica três características importantes: a função envolve o *monitoramento* contínuo da condição a ser mantida; possui uma determinada *faixa operacional* de valores para essa condição; e apresenta a *capacidade potencial* para realizar os ajustes necessários;
- c) **Prevenir:** a função do componente é impedir que um determinado estado do sistema ou valor de parâmetro seja atingido. Embora seja aparentemente semelhante à função “Manter”, a função “Prevenir” deve prover ações de curto prazo para contornar situações indesejáveis, e sua atuação não deve ser continuamente necessária durante a operação normal do sistema, podendo inclusive interromper temporariamente a operação desse sistema ou subsistema. Uma característica importante da função “Prevenir” é a *“vigilância”* do estado a ser evitado, de modo que a função é posta em ação quando um determinado estado ou valor desencadeante é atingido.
- d) **Controlar:** a função do componente ou subsistema é manter uma determinada relação entre diferentes parâmetros ou estados do sistema. Características importantes dessa função são a presença de uma *relação* ou *fórmula*, embutida no subsistema, que determina como o parâmetro de

controle vai afetar o parâmetro controlado, além de possuir o *monitoramento* e a *capacidade potencial* para manter a relação válida.

Uma biblioteca funcional está parcialmente representada no Quadro 2. O conteúdo completo dessa base pode ser analisado no Anexo A.

Quadro 2. Subconjunto da base funcional proposta por Hirtz, Stone, McAdams, Szykman e Wood (2002).

FLUXOS		FUNÇÕES		
Material	Humano	Ramificar	Separar	Dividir
	Sólido		Distribuir	
	Líquido	Canalizar	Transferir	
	Gás		Guiar	Permitir mobilidade
Energia	Humana	Conectar	Acoplar	Unir
	Bioquímica			Vincular
	Elétrica	Controlar Magnitude	Atuar	
	Hidráulica		Regular	
	Mecânica		Modificar	Ampliar
	Pneumática			Reduzir
	Térmica		Parar	Conformar
Sinal	Estado tátil	Converter		Prevenir
	Estado visual		Inibir	
	Controle analógico	Prover	Armazenar	Conter
	Controle discreto		Sinalizar	Coletar
		Fornecer		
		Indicar	Perceber	Detectar
			Monitorar	
		Suportar	Mostrar	
			Processar	
		Estabilizar		
		Fixar		
		Posicionar		

Fonte: Adaptado de Hirtz *et al.* (2002)

3 METODOLOGIA

Neste trabalho foi desenvolvido, em caráter exploratório, um projeto genérico de assento de cadeiras de rodas, seguindo um roteiro que integra as três metodologias citadas, consistindo em identificação das necessidades, formulação do problema de projeto, elaboração da lista de requisitos, estruturação funcional e etapas iniciais da estruturação operacional.

3.1 Identificação das necessidades

Foram identificadas na literatura as necessidades percebidas por usuários de profissionais de saúde, a partir dos problemas decorrentes da própria deficiência, dos problemas decorrentes do uso de assentos, dos descritores de conforto e desconforto, das limitações encontradas em sistemas disponíveis, e de textos relativos à prática clínica da adequação postural.

3.2 Formulação do problema de projeto

Com base nas recomendações das metodologias selecionadas, foram utilizadas ferramentas de aprimoramento da formulação do problema, incluindo:

- a) Determinar o objetivo da solução;
- b) Eliminar falsas restrições
- c) Diferenciar, através da abstração, o que é geral e essencial – em oposição ao que é particular e incidental
- d) Identificar contradições técnicas e físicas, conforme definidas pela TRIZ;
- e) Considerar se o problema é composto de sub-problemas ou é um componente de problemas maiores, melhorando o âmbito em que a solução deve ser buscada.

Essas etapas visam direcionar o esforço de projeto a estratégias e técnicas com maior probabilidade de obtenção de soluções adequadas.

3.3 Elaboração da lista de requisitos

A lista de requisitos resulta do mapeamento entre as necessidades do cliente e os requisitos funcionais do sistema de assento, estabelecendo as restrições e as características que o sistema deve e não deve possuir, considerando inclusive necessidades implícitas. Como o projeto deste estudo tem caráter exploratório, foi dada importância fundamental aos requisitos técnicos referentes ao usuário, não sendo consideradas a princípio as necessidades estéticas e de mercado, embora elas existam e devam ser consideradas em um projeto finalizado.

O roteiro seguido para a conversão de necessidades do usuário em requisitos de projeto, proposto pela Metodologia de Projeto Sistemático, consistiu nas seguintes etapas:

- a) Declaração da necessidade na linguagem do próprio usuário ou dos profissionais assistentes;
- b) Desenvolvimento dessa necessidade nos elementos que a compõem, ainda na linguagem do usuário ou assistente;
- c) Refinamento das necessidades elementares, traduzindo-as em linguagem técnica e adicionando-as à lista de requisitos.

3.4 Estruturação funcional

Esta etapa consiste na definição da função principal do sistema, e subdivisão da função principal em subfunções, utilizando funções genéricas e buscando enquadrar as subfunções elementares em bibliotecas de funções ou bases funcionais disponíveis, identificando em cada uma os fluxos de entrada e saída e as maneiras como esses fluxos devem ser processados pelas unidades funcionais.

De acordo com a Metodologia de Projeto Sistemático, a estruturação funcional considerou os seguintes passos:

- a) Abstração e ampliação da formulação do problema, possibilitando identificar os problemas essenciais e as restrições a partir da lista de requisitos.
- b) Identificação da tarefa e da função principais em termos das relações entre os fluxos de entrada e saída, além de delimitação da fronteira do sistema;

- c) Usando a formulação abstrata do problema e a lista de requisitos, identificação dos fluxos e funções principais;
- d) Decomposição das funções principais em uma estrutura de subfunções elementares, diminuindo a complexidade da função principal e aumentando a transparência das relações entre entradas e saídas, em um nível de detalhe adequado ao objetivo de encaminhar a obtenção de soluções;
- e) Organização das funções em um arranjo que reproduza o comportamento desejado para o sistema.

3.5 Estruturação operacional

Esta etapa consistiu no mapeamento entre os requisitos funcionais e os parâmetros de projeto, constituídos pelos componentes e materiais – os quais dependem da relação operacional entre efeito físico, material e geometria dos componentes – para cada uma das sub-funções principais identificadas na estruturação funcional.

Foram feitas considerações sobre possíveis princípios de solução baseados nos princípios existentes nos sistemas de assento atuais, nos princípios propostos pela pesquisa científica na área, e nos princípios de solução para problemas análogos encontrados em outras áreas, abordadas na Seção 2.6. Também foram consideradas algumas contradições decorrentes de requisitos conflitantes de componentes e materiais utilizados, com vistas à aplicação das heurísticas de separação da TRIZ.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Identificação das necessidades

As necessidades percebidas e enfrentadas pelas pessoas que têm deficiência, bem como seus familiares e cuidadores, decorrem tanto da própria natureza dessa deficiência, quanto da natureza dos dispositivos de Tecnologia Assistiva que venham a ser utilizados. Os dispositivos de TA devem sempre ter como objetivo satisfazer as necessidades de autonomia e participação, compensando ou remediando as capacidades perdidas, e facilitando o desempenho das capacidades remanescentes.

No caso específico das cadeiras de rodas, estas se fazem necessárias devido a perdas e limitações funcionais que afetam diversos níveis do indivíduo, das quais se podem citar, de acordo com a Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (OMS, 2003):

- a) Nível anatômico: comprometimento das estruturas ou funções dos sistemas nervoso e músculo-esquelético, como perda de parte dos membros inferiores, lesão medular, degeneração do sistema nervoso periférico, degeneração da musculatura, paralisia cerebral ou perda permanente do equilíbrio;
- b) Nível funcional: dificuldade ou impossibilidade de escolher, obter e modificar a posição do corpo; dificuldade de andar, deslocar-se ou mudar de superfície; dificuldade ou impossibilidade de executar ou coordenar os movimentos das mãos e dos membros superiores e/ou inferiores;
- c) Nível participativo: dificuldade ou impossibilidade de envolver-se em atividades de aprendizagem, trabalho e lazer, bem como em outras atividades de vida diária e de participação social necessárias à manutenção da qualidade de vida.

Segundo Coggrave e Rose (2003, p. 692):

“É essencial que o sistema de assento – cadeira, acolchoamentos e acessórios – contribua ativamente para a qualidade de vida, maximizando a função física presente e melhorando o bem-estar psíquico e social. Isso se dá pela

promoção da viabilidade tecidual, de uma postura estável, bem como mobilidade e função ótimas”.

Além dessas necessidades, associadas aos fatores que levam ao uso de cadeiras de rodas, da qual o assento faz parte, há também aquelas que surgem devido ao próprio uso da cadeira de rodas, estando as principais indicadas abaixo:

- a) Melhorar a posição dos membros superiores, que apresentam risco de lesão por sobrecarga devido aos esforços de propulsão manual e de troca entre superfícies (VAN DER WOUDE; DE GROOT e JANSSEN, 2006);
- f) Diminuir o impacto negativo do contato prolongado do assento contra a pele, evitando problemas decorrentes de fatores físico-químicos locais, como umidade, incontinência, atrito e infecção (COLLIER e MOORE, 2006);
- g) Manter a integridade tecidual nas áreas do corpo que suportam peso, as quais apresentam níveis variáveis de risco para o desenvolvimento de isquemia e necrose (DEALEY e LINDHOLM, 2006; BASS e PHILLIPS, 2007);
- h) Preservar o alinhamento da coluna vertebral, evitando degeneração e deformidade progressiva, com prejuízo da funcionalidade e comprometimento da fisiologia da orientação visual, fala, respiração, deglutição e circulação sanguínea (TREFFLER e SCHMELER, 2001);
- i) Promover o conforto e estabilidade, facilitando a concentração e proporcionando segurança, e minimização do desconforto e da dor, os quais acarretam diminuição da função pessoal e da participação social (HOBSON e CRANE, 2001; ENGSTRÖM, 2002).

Com base nos descritores de conforto e desconforto listados na Tabela 1, é possível identificar ainda as seguintes necessidades relativas ao conforto:

- a) Promover a manutenção da sensação de bem-estar, que pode ser considerada decorrente das sensações de segurança, liberdade de movimentos, e baixa exigência física – tanto para permanecer em determinada posição quanto para modificá-la;

- b) Minimizar sensações negativas, como dor, rigidez indesejável do corpo ou da superfície do assento, limitação dos movimentos, falta de apoio, instabilidade e alta exigência física;
- c) Diminuir ao máximo a exigência psíquica durante a atuação sobre a cadeira no exercício das atividades cotidianas, fazendo com que a concentração na atividade não seja desviada por estímulos sensoriais prejudiciais gerados pela má interação entre o usuário e o sistema de mobilidade e adequação postural.

4.2 Formulação do problema de projeto

De acordo com a MPS, as seguintes condições estão associadas à complexidade de problemas de projeto, estando também presentes no projeto de sistemas de assento (PAHL e BEITZ, 2007):

- a) Os meios para transpor os obstáculos que separam a situação problemática de uma situação desejável são desconhecidos, e precisam ser encontrados. No caso do projeto de assentos para cadeiras de rodas, espera-se que o uso de um assento atenda as necessidades do usuário, as quais precisam estar corretamente identificadas;
- b) Os referidos meios são conhecidos, mas são tão numerosos ou envolvem tantas combinações que uma investigação sistemática é excessivamente complexa. Pode-se argumentar que a grande variedade de modelos de assentos disponíveis atualmente, bem como a relativa limitação nos resultados do seu uso que está documentada na literatura, serve como indicativo dessa condição;
- c) Os objetivos são apenas vagamente conhecidos ou não estão claramente formulados, e encontrar uma solução envolve uma deliberação contínua e a remoção de conflitos até que uma situação satisfatória seja alcançada. A revisão da literatura mostra que a prática da disciplina de adequação postural atua usando métodos que têm essa característica, de acordo com o que foi exposto na Seção 2.4, página 41;
- d) Muitos componentes estão envolvidos e esses componentes, através de vínculos de intensidade variável, influenciam uns aos outros. Devido às ca-

racterísticas únicas e complexas do ser humano, em especial no caso de pessoas com deficiência, faz com que sua interação com sistemas de assento seja difícil de prever ou planejar;

- e) O nível de incerteza é elevado: nem todos os requisitos são conhecidos; nem todos os critérios estão estabelecidos; o efeito de uma solução parcial na solução global ou em outras soluções parciais não está completamente compreendido, ou emerge apenas gradualmente; as características da área de conhecimento à qual pertence mudam ao longo do tempo. Essas condições caracterizam o estado atual da atenção à saúde da pessoa com deficiência, e em especial do desenvolvimento e aplicação de sistemas de assento para cadeiras de rodas.

Segundo a TRIZ, um elemento importante para a solução de um problema é a experiência e a criatividade das pessoas encarregadas de resolvê-lo. No caso da deficiência e da aplicação da tecnologia assistiva, essas pessoas são os profissionais de saúde, cujo método de trabalho e a formação teórica estão baseados na prática clínica e normalmente não incluem metodologias de projeto. A própria evolução do projeto de sistemas de assento, de acordo com Watson e Woods (2005) envolve a confluência de duas correntes de pesquisadores: uma de terapeutas americanos, que se empenharam no aprimoramento não-sistemático de sistemas de assento construídos a partir de pressupostos clínicos e empíricos; e outra de engenheiros britânicos, os quais se interessaram por aplicar os conhecimentos técnicos da engenharia aos problemas clínicos. O caráter não-sistemático e não-estruturado dessa evolução faz supor que possa haver, entre as informações que orientam a construção de assentos especiais, diversas interpretações limitadas pelas fronteiras disciplinares, gerando requisitos e restrições de caráter particular ou incidental. Assim, pode-se supor que os preceitos das disciplinas profissionais envolvidas no projeto e uso de assentos especiais, como medicina, fisioterapia, enfermagem, design, bioengenharia e engenharia mecânica, quando não integrados a uma abordagem interdisciplinar, tendem a fazer com que a busca por soluções fique limitada ao conhecimento pessoal e profissional de quem a realiza. Dessa forma a evolução técnica desses assentos ocorra baseada em pequenas melhorias, diminuindo a probabilidade de desenvolvimento de uma solução inovadora.

Melhorar a formulação do problema consiste em fornecer mais informações importantes para sua solução, passar de uma vaga situação de projeto para uma contradição evidente, explicitamente formulada. Um dos primeiros passos que orientam a visualização de uma situação final satisfatória é a determinação dos *objetivos* da solução do problema. Conforme já exposto, os sistemas de assento para cadeiras de rodas são uma instância da Tecnologia Assistiva que promovem adequação postural e mobilidade para pessoas com deficiência, com o objetivo de melhorar sua funcionalidade, seu envolvimento em atividades de vida diária, e proporcionar o máximo de autonomia, independência e participação. Dentro desse contexto, algumas formulações para os objetivos do uso de sistemas de assento encontram-se a seguir:

- a) “Trazer o usuário ao melhor nível de atividade e participação”;
- j) “Garantir integridade funcional e estrutural do usuário”;
- k) “Ajudar a restaurar funções humanas que estão ausentes ou foram perdidas”;
- l) “Promover compensação funcional para capacidades perdidas ou ausentes”;
- m) “Compensar determinadas funções que foram perdidas e não podem ser remediadas”;
- n) “Contribuir para minimizar o impacto de uma condição limitante ou incapacitante”.

Essas formulações de objetivos não são únicas ou excludentes, e de certa forma indicam a natureza do tipo de solução que se espera encontrar. “Trazer o usuário ao melhor nível” sugere uma transição entre um estado presente, com limitações de atividade decorrentes da deficiência, para um estado alternativo melhor, onde tenha mais atividade e participação, através do uso do assento. “Garantir integridade do usuário” indica a necessidade crítica de não causar agravos adicionais à saúde e/ou à funcionalidade já comprometidas, e sugere uma função permanente do assento em criar um equilíbrio estável que conduza a essa integridade. “Ajudar” e “contribuir” denotam que o assento não tem o poder de anular a deficiência ou a incapacidade, e portanto esse não é um objetivo válido ou um estado alternativo que deva ser considerado. O termo “determinadas funções” sugere que o assento deva promover a recuperação apenas de algumas funções – aquelas relacionadas ao uso

de cadeiras de rodas, como mobilidade, motricidade e controle postural – o que não impede que possa vir a ter efeitos positivos sobre outros componentes da funcionalidade individual.

A remoção de fatores indesejáveis, identificados nas falhas ou limitações de sistemas existentes, pode auxiliar na definição da natureza da situação problemática. Alguns estudos indicam que uma das principais contradições existentes no uso de assentos se refere a um adequado equilíbrio entre distribuição de pressão, firmeza do suporte postural, e conforto. Posturas que favorecem a integridade tecidual prejudicam a funcionalidade (KANGAS, 2005; READ, 2005; DING *et al.*, 2008); superfícies que redistribuem continuamente as forças entre o usuário e o assento melhoram a distribuição de pressão mas diminuem a estabilidade e prejudicam o equilíbrio (BRIENZA *et al.*, 2001; PADGITT e HETZEL, 2005); alguma restrição ao movimento é necessária para promover firmeza e estabilidade, mas quando em excesso pode causar limitação funcional (BROWN, 2001); o desconforto pode ser proveniente tanto de uma situação de firmeza excessiva – que pode estar associada a concentração de pressão e dificuldade de mudar de posição no assento – quanto de uma situação de mobilidade excessiva, com esforço adicional contínuo para manter o equilíbrio e conseqüente fadiga da musculatura (ENGSTRÖM, 2002). Muitas vezes é necessário que o profissional assistente tenha de comprometer algum parâmetro para que possa beneficiar outro, não havendo um consenso sobre como isso deva ser feito. Entretanto, a necessidade de estabelecer uma relação de compromisso entre dois parâmetros caracteriza a existência de uma contradição técnica, cuja remoção poderia fazer com que ambos os requisitos fossem cumpridos.

Recomenda-se que a amplitude da formulação do problema seja determinada de forma que a busca por soluções mantenha um âmbito compatível com a real extensão do problema que se deseja solucionar. Nesse sentido, pode-se considerar a existência de uma seqüência de problemas encadeados por uma ordem hierárquica de abrangência, da mais ampla à mais restrita, estando enumerada a seguir:

- a) O problema inicial, que se origina na pessoa com deficiência, e que gera a necessidade do sistema de assento. Em princípio, a remoção dos fatores causadores desse problema – doença, deficiência, saúde comprometida – não será buscada através do projeto ou do uso de assentos;

- b) Os problemas que decorrem da má interação entre os assentos e seus usuários, cuja solução consistiria em determinar as modificações que essa interação deveria sofrer, ou os elementos, fatores e efeitos indesejados que teriam de ser removidos, para que o usuário obtivesse vantagens e não sofresse desvantagens com o uso do assento;
- c) O problema da atividade de projeto: como criar um produto ou sistema técnico que satisfaça as necessidades dos usuários através da realização de determinadas tarefas e do desempenho de uma determinada estrutura hierárquica de funções, com os necessários componentes materiais e efeitos físicos.

Embora o problema abordado pelas metodologias de projeto seja “o problema de projetar”, para que isso seja possível é fundamental conhecer a estrutura dos problemas que decorrem da má interação entre os assentos e os seres humanos, até porque essa estrutura conceitual encontra-se em constante aprimoramento devido aos novos conhecimentos trazidos pela pesquisa científica.

Uma técnica geralmente utilizada para refinar a identificação da origem da situação problemática consiste em realizar as perguntas “*o que, como, quem, onde, quando e por que* o problema ocorre?” (SAVRANSKY, 2000). A proposição dessas questões no caso específico do projeto de assentos de cadeiras de rodas permite formular o seguinte:

- o) **O que:** qual a essência do problema, quais parâmetros da situação encontram-se alterados. No caso, as lesões teciduais, as deformidades e o desconforto caracterizam a alteração na estrutura física e biológica dos sistemas cutâneo e ósteo-articular, bem como no comportamento da função proprioceptiva e da percepção psíquica de bem-estar referente ao posicionamento e ao padrão de distribuição de apoios, forças e pressões sobre o corpo;
- p) **Como:** em que condições o problema se manifesta. A situação problemática se configura devido à interação do corpo, sob efeito da força da gravidade, com uma superfície de assento, devido à ação de condições físicas e químicas: força, pressão, temperatura, umidade, pH;
- q) **Quem:** qual o grau de participação humana direta na criação da situação problemática. Neste caso, em que o ser humano é a própria instância em

que o problema se manifesta, o grau de participação é total. Entretanto, é importante distinguir o problema da deficiência – que se manifesta na pessoa independentemente da existência de qualquer dispositivo – dos problemas que decorrem da *interação* entre a pessoa e o dispositivo, já que a essência desses problemas e de seus fatores desencadeantes é distinta;

- r) **Onde:** qual o local onde a situação problemática se manifesta. Embora uma parte do problema ocorra na própria interface física entre a pessoa e o assento, a chamada *superfície de suporte*, os efeitos das grandezas físicas e químicas que agem nessa interface têm o potencial de causar problemas secundários em outras partes do corpo da pessoa, como deformidades ósseas, desequilíbrio, dificuldade para respirar ou para orientar-se visualmente, entre outras. Assim, pode-se considerar que a situação problemática *se origina* na superfície de suporte, e *se irradia* de forma variável ao longo do corpo da pessoa;
- s) **Quando:** em que momento o problema se manifesta. Está bem estabelecido que o potencial nocivo da interação entre as pessoas com deficiência e as superfícies de suporte é diretamente dependente do tempo, que pode exercer seu efeito em uma escala cronológica variável. Assim sendo, diferentes situações problemáticas podem se manifestar devido à exposição prolongada à pressão durante algumas horas contínuas de uso (úlceras), ou devido à necessidade de uso do assento durante muitas horas por dia (desconforto incapacitante), ou ainda devido ao caráter crônico do uso de assentos ou de um determinado assento (deformidades e limitações de movimentação);
- t) **Por quê:** qual é a causa do surgimento da situação problemática. Essa pergunta é a mais difícil de responder, ou mesmo impossível, já que a dificuldade na identificação precisa das causas dos problemas dos assentos é o principal motivo pelos quais essa situação problemática ainda não foi satisfatoriamente solucionada. Diversas considerações detalhadas serão feitas adiante a respeito da natureza das causas desses problemas.

4.2.1 A interação entre o sistema técnico e o organismo humano

É possível afirmar que o assento, sendo um sistema técnico projetado intencionalmente com o propósito de cumprir um objetivo, apresenta uma *funcionalidade*, e que problemas que surjam durante seu uso decorram de inadequações dessa funcionalidade. Essas limitações podem decorrer de um projeto inconsistente, da interposição de fatores indesejáveis não-previstos – defeitos e falhas – ou da impossibilidade do cumprimento de sua função por fatores externos ao sistema técnico: o estado de saúde do usuário é muito grave, a utilização é conduzida de forma incorreta, ou há envolvimento de outros fatores humanos de difícil controle. Da mesma forma, o caráter da interação entre o usuário e seu assento implica que a funcionalidade desse assento envolve também a funcionalidade de seu usuário, já que este faz parte de um sistema maior, que poderia ser denominado *sistema assento-usuário*. Assim, compreender a funcionalidade ou a não-funcionalidade desse sistema requer não apenas conhecer a funcionalidade de seu sub-sistema *assento*, mas também do sub-sistema *usuário*.

Em sistemas técnicos que interagem com seres humanos – ou, de forma mais geral, com seres vivos – é necessário considerar um grau de complexidade muito maior de seus elementos e da interação entre eles, em termos de funcionalidade. Quando uma pessoa é excitada por algum estímulo – por exemplo, o estímulo mecânico de uma superfície de assento – a resposta dessa pessoa depende não só da natureza do estímulo, mas também de fatores fisiológicos, genéticos, comportamentais e ambientais (MORALES, 1998). Indivíduos diferentes expostos a estímulos semelhantes podem reagir de formas diferentes; o mesmo indivíduo, quando exposto ao mesmo estímulo em momentos diferentes, pode reagir de formas diferentes. Além disso, se um organismo interpretar algum estímulo como um obstáculo, pode contornar esse obstáculo e continuar a ação na direção inicial (MORALES, 1998).

O conjunto complexo de funções que torna os seres vivos capazes de responder de forma autônoma a estímulos externos e internos é coordenado por uma rede de *feedbacks* negativos organizados hierarquicamente, envolvendo os níveis bioquímico, celular, fisiológico e comportamental. Até certo ponto, esses *feedbacks* são mutuamente dependentes, e estão subordinados a um *feedback positivo* que consiste na *continuidade da existência* desse organismo (KORZENIEWSKI, 2001). Essa propriedade, que faz com que um organismo vivo mantenha a estabilidade e

continuidade de sua composição interna, apesar das variações ambientais, é chamada de *homeostase*, e é um conceito central de uma das definições possíveis para a própria vida, que afirma que “os seres vivos são sistemas que tendem a responder a mudanças no seu ambiente, e dentro de si próprios, de tal forma a favorecer a promoção de sua própria continuidade” (MORALES, 1998).

Considera-se que a origem evolucionária adaptativa dos sistemas de controle dos organismos vivos lhes confere um caráter fortemente funcional, ou seja, a forma e o comportamento em seus vários níveis – celular, orgânico, individual, comportamental e social – estão subordinadas à *função com um propósito*, ou ao menos com o propósito aparente de manutenção da própria continuidade. Esse caráter tem implicações diretas para o projeto de sistemas de assento, em especial considerando que esses assentos deverão interagir positivamente com pessoas que tiveram sua funcionalidade natural alterada. A próxima seção analisa a natureza do controle postural no contexto de sua motivação funcional sob essas perspectivas homeostáticas e adaptativas.

4.2.2 A natureza homeostática do controle postural

O controle postural é uma função neuro-motora complexa que está envolvida com a execução de praticamente qualquer tarefa humana. Esse controle exerce duas funções elementares: a primeira é a função antigravitacional, que consiste em fornecer às articulações a rigidez suficiente para resistir ao peso do corpo e gerar uma força de reação sobre a superfície de apoio, além de manter o equilíbrio garantindo que o centro de gravidade do corpo permaneça situado dentro da superfície de apoio no solo ou assento. A segunda função – e talvez a mais importante – é servir de interface com o mundo externo, constituindo uma base física e sensorial para a percepção e a ação (MASSION, 1998).

No ser humano, a integração entre a percepção sensorial do mundo – em especial a percepção visual – e a ação sobre ele, mediada pelo intelecto e operada principalmente pelas mãos, faz com que a mobilidade e o controle postural sejam dois componentes de um sistema que permite ao indivíduo interagir com o seu ambiente e modificá-lo de forma a suprir suas necessidades. Assim, torna-se necessária a alternância entre a estabilização e a mobilização de segmentos do corpo, es-

tando os segmentos proximais – em geral constituídos pela parte inferior do tronco e pelos membros inferiores – encarregados de manter a referência espacial com o mundo, e os segmentos distais – cabeça e membros superiores – encarregados de executar e controlar as ações motoras. A manutenção da postura envolve a orientação ativa de um ou mais segmentos do corpo contra efeitos desestabilizantes exercidos por forças exercidas pelo mundo externo ou por outros segmentos, enquanto o movimento corresponde a mudanças de postura pelas quais um ou mais desses segmentos do corpo seguem uma trajetória para atingir uma nova posição (MASSION, 1998).

Além dos componentes da postura relacionados com a orientação gravitacional e espacial dos segmentos do corpo, os ajustes posturais e variações de posição decorrentes de estímulos mecânicos externos sobre o organismo exercem um papel importante para a preservação da homeostase, já que a exposição prolongada à deformação tecidual e à sobrecarga mecânica localizada pode provocar isquemia e necrose nos tecidos afetados. O pequeno e crescente desconforto originado pela manutenção de uma determinada postura faz com que as pessoas realizem inconscientemente mudanças periódicas de posição, que redistribuem o peso do corpo sobre a superfície do assento ou leito, aliviando a tensão postural de alguns músculos, e restituindo o fluxo sanguíneo em áreas onde houve compressão. Em geral, é difícil para a maioria das pessoas tolerar a posição sentada estática e sem apoio por mais do que um curto intervalo, e quando há a possibilidade de movimentação livre elas normalmente estão em constante movimento (LUEDER, 2002). A manutenção de posturas estáticas por um longo período de tempo resulta em fadiga, agitação, desconforto e dor (BROWN, 2001; ENGSTRÖM, 2002). Nesse sentido, o *desconforto* ao sentar pode ser entendido como uma sensação genérica e subjetiva, que surge quando a homeostase fisiológica, o bem-estar psicológico, ou ambos, são negativamente afetados (SHEN e PARSONS, 1997).

4.2.3 O controle postural na pessoa com deficiência

A postura sentada tem sido considerada como a permanência contínua em uma determinada posição supostamente ideal. Entretanto, sentar para realizar atividades não significa ocupar uma única posição, mas sim ter um repertório ativo de posturas possíveis que o corpo requer para seu funcionamento adequado

(KANGAS, 2005). Na verdade, todas as regularidades de um organismo parecem ser flutuações em torno de valores médios, e isso inclui a postura. Além disso, os próprios valores médios gradualmente mudam ao longo do tempo, enquanto o organismo cresce e envelhece. Para descrever a ordem regular de um organismo, então, seria necessário conhecer a forma como cada propriedade varia: o valor médio, o intervalo, taxa de variação, causa da variação, entre outros (MORALES, 1998). No campo clínico, diversas metodologias baseiam-se na busca de uma única posição “ideal” através da avaliação criteriosa por parte de terapeutas, visando a construção de um assento personalizado com o formato desejado, de forma a manter o paciente em uma posição determinada, com uma distribuição de pressão considerada ótima (CARLSON; PAYETTE e VERVENA, 1995; BRIENZA; KARG e BRUBAKER, 1996; SY e TAM, 2000). Em alguns casos, até mesmo contenções bastante restritivas com materiais reforçados são utilizadas com o objetivo de impor a manutenção de uma posição considerada ótima (MCCLLENAGHAN; THOMBS e MILNER, 1992). Entretanto, como já foi citado, diversos estudos apontam a inadequação dessa perspectiva de “postura ideal”, recomendando que a variação postural seja incorporada no projeto de assentos em escritórios, veículos, locais de lazer, e especialmente em assentos especializados para uso por pessoas com deficiência. Dessa forma, a postura *estável* passa a significar não uma postura *estática* e imóvel, mas uma postura onde a estabilização ou mobilização dos segmentos corporais ocorre de acordo com o que os mecanismos individuais de controle da atividade voluntária estabelecem como adequado, ao invés de haver bloqueio de movimentos funcionais ou criação de instabilidade e desequilíbrio por falta de apoio.

Em um contexto de deficiência, onde há funções e estruturas comprometidas ou ausentes, o objetivo da funcionalidade do assento deve ser a interação cooperativa com aquela que se pretende substituir ou remediar no usuário. Além disso, é importante não interferir com os demais mecanismos orgânicos de controle, que sempre estarão presentes – algumas vezes com funcionamento alterado – e poderão ser inadvertidamente ativados ou desviados pelos estímulos gerados pelo assento. O reconhecimento do caráter variável da postura, que reflete a variabilidade inerente à própria natureza dos organismos vivos, bem como o caráter auto-determinante das ações geradas pelo organismo nas relações entre estímulo e resposta, devem fazer com que a funcionalidade de um sistema de assento seja *subordinada* aos mecanismos naturais de controle em atividade no seu usuário.

4.2.4 Formulação final do problema de projeto

Um último passo a ser dado na análise do problema é a elaboração do Resultado Final Ideal, com as condições necessárias e suficientes para que o problema seja considerado resolvido, e sua declaração formal definitiva. Para isso, expresse-se de forma explícita algumas conclusões baseadas nas considerações feitas nesta seção:

- a) A natureza da ação voluntária consiste na alternância consecutiva e coordenada de padrões de movimento e estabilização de segmentos corporais;
- b) A determinação da distribuição temporal de posturas deve estar subordinada a comandos provenientes dos mecanismos homeostáticos próprios do usuário;
- c) A percepção de conforto em geral se dá quando a *variação* de algum parâmetro orgânico ocorre na direção de retorno ao equilíbrio homeostático;
- d) Dado o caráter dinâmico dos seres humanos, a *imobilidade* pode ser identificada como a causa elementar da qual derivam todas as situações problemáticas secundárias (lesão tecidual por isquemia, deformidade articular, desconforto, limitação da funcionalidade) e portanto pode-se supor que sua eliminação, *de uma forma adequada*, possa ser considerada uma condição que, se preenchida, elimina o problema;
- e) Devido às considerações acima, a forma adequada de minimizar o componente de imobilidade postural deve consistir na reprodução dos padrões de movimento desejáveis para a manutenção da homeostase, o que envolve a determinação de *qual* movimento é adequado e *em que momento* esse movimento é adequado, ou seja, algum mecanismo de controle encarregado da tomada de decisão sobre o padrão de movimentação corporal.

Em um ser humano sem deficiência, o referido mecanismo de controle, que decide quando o usuário se movimenta, é a própria rede de *feedbacks* negativos formada pela propriocepção e pela motricidade do indivíduo. Nesse sentido, um resultado final ideal poderia consistir na devolução à pessoa com deficiência das estruturas e funções perdidas. Entretanto, como essa devolução não faz parte do âmbito das soluções buscadas pelos sistemas de assento, podemos esperar obter no má-

ximo uma *aproximação* a esse resultado final ideal, e isso poderia ser obtido se a funcionalidade do *sistema assento-usuário* fosse muito próxima à funcionalidade da pessoa sem deficiência. Para isso, o sistema de assento deveria *compensar* funções que estão perdidas ou ausentes no usuário, exatamente de acordo com os princípios que orientam a prática da Tecnologia Assistiva. Enquanto de modo geral a fronteira do sistema técnico costuma envolver exclusivamente os seus componentes técnicos, servindo o componente humano apenas como fonte de entradas e saídas que devem ser processadas pelo sistema, percebeu-se neste trabalho que uma abordagem mais adequada para os assentos de cadeiras de rodas é considerar o *usuário* como o sistema principal cuja funcionalidade deve ser assegurada. Nesse contexto, o sistema técnico seria um dispositivo acessório cuja função corresponderia à função perdida ou ausente no usuário, que passa a ser o sistema principal, conforme a Figura 21.

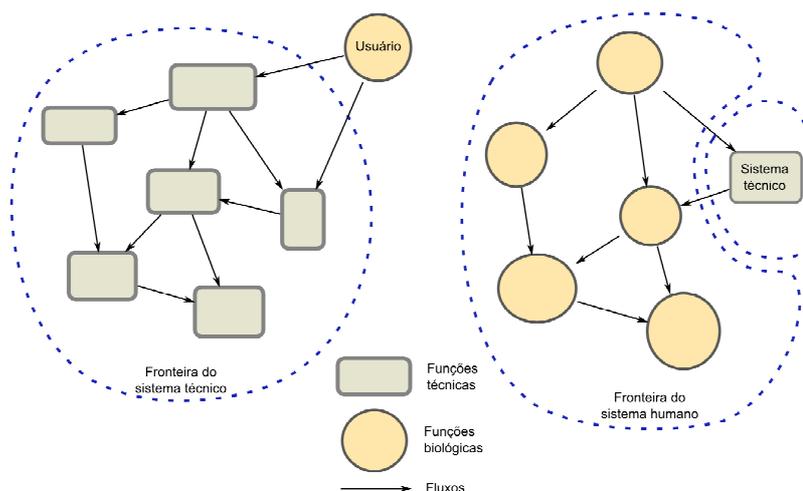


Figura 21. Comparação entre um sistema técnico genérico, no qual o usuário insere entradas que cruzam a fronteira do sistema, e um dispositivo de tecnologia assistiva, cujo sistema principal consiste no próprio usuário.

Pode-se considerar que uma formulação adequada do problema de projeto, que forneça sua natureza essencial e permita a orientação adequada para o caminho de uma solução, seja a seguinte: *o problema de projeto consiste em criar um dispositivo que mantenha uma pessoa com algum grau de deficiência e incapacidade na posição sentada ou reclinada*¹⁵, pelo tempo necessário, de modo que essa

¹⁵ Considera-se que a posição reclinada seja qualitativamente diferente da sentada, pois nesta a maior parte do peso repousa sobre a pelve, e a posição do tronco é em parte mantida pelo tônus da musculatura postural da espinha. Já na posição reclinada, as regiões lombar e dorsal ficam apoiadas e recebem grande parte do peso do tronco, permitindo relaxamento da musculatura espinhal.

pessoa tenha continuamente assegurada a sua integridade anatômica e fisiológica, e possa desempenhar de forma ótima sua funcionalidade, com níveis de esforço físico e mental abaixo de limites que provoquem desconforto ou fadiga.

4.3 Elaboração da lista de requisitos

A partir das necessidades identificadas na seção 4.1, complementadas pelo refinamento da formulação do problema feito na seção 4.2, foi elaborada uma lista de requisitos. Consideraram-se *requisitos exigidos* aqueles que são necessários a uma solução satisfatória - e que se não forem cumpridos tornam a solução inaceitável – e *requisitos desejáveis*, que não são essenciais, mas devem ser levados em consideração sempre que possível. Dentre as propostas de solução que cumprem os requisitos exigidos, aquela que cumpre melhor os requisitos desejáveis deve ser preferida. Há ainda os *requisitos básicos*, de caráter implícito mas igualmente importante, que se referem a tamanho e peso adequados, custo acessível, viabilidade de fabricação, disponibilidade de materiais e baixa manutenção. Esses requisitos foram omitidos devido ao caráter exploratório do estudo.

Registrou-se a origem de cada requisito, pois através desse registro, é possível avaliar a possibilidade de modificação dos requisitos caso o desenvolvimento subsequente mostrar essa necessidade, ou caso se questione a validade de alguma restrição. Além disso, esse registro permite estabelecer se a lista cumpre a condição, imposta pela MPA, de que a lista consista no menor número de requisitos independentes que caracterize completamente os objetivos do projeto.

A lista de requisitos de projeto gerada por este estudo encontra-se no Quadro 3, apresentando-se em uma estrutura hierárquica que representa o refinamento sucessivo das necessidades do usuário, com o requisito final grafado em negrito. É importante ressaltar que esta lista provavelmente não está completa, devendo ser refinada à medida que o conhecimento interdisciplinar sobre o manejo da postura sentada evolua.

Quadro 3: Lista de requisitos hierarquizada. Os requisitos em sua forma final encontram-se em negrito.

Promover integridade tecidual	Promover integridade superficial da pele	Facilitar difusão da umidade
		Facilitar trocas térmicas
		Impedir proliferação de germes
	Melhorar distribuição de pressão	Diminuir magnitude dos picos de pressão
		Evitar gradientes de pressão excessivos
		Deslocar pressão de áreas sensíveis para áreas resistentes
	Minimizar cisalhamento	
Evitar fricção da pele sobre o assento		
Posicionar usuário	Acomodar pelve	Acomodar tuberosidades isquiáticas
		Prover suporte lombar
		Melhorar obliquidade da pelve
		Impedir escorregamento da pelve
	Posicionar tronco	Acomodar deformidades estruturadas
		Reduzir deformidades não-estruturadas
		Apoiar tronco para atividade
	Posicionar pés	
	Facilitar posicionamento da cabeça	
Permitir/promover movimentação	Permitir movimentos quando necessários	
	Permitir movimentação dos segmentos corporais necessários	
	Diminuir movimentos indesejados	
	Permitir obtenção da posição pretendida	
	Permitir manutenção da posição obtida	
	Facilitar transferências	
Tempo	Aumentar o tempo tolerável em cada posição	
	Facilitar a modificação de postura ao longo do tempo	
Conforto	Diminuir esforço físico	
	Diminuir esforço mental	
	Facilitar ação de mecanismos homeostáticos	

Dentre os requisitos elaborados, aqueles relacionados à manutenção da integridade tecidual – na maioria das vezes considerada sinônimo de prevenção de lesão tecidual – e aqueles relacionados ao posicionamento estão em consenso com o

que a literatura e a prática profissional das disciplinas de saúde têm recomendado nas últimas décadas. Já a inclusão, como *requisitos exigidos*, de referências à necessidade de contínua mudança de posição, da consideração de fatores temporais – que conferem um caráter *dinâmico* à manutenção da postura sentada – e da exigência do conforto mesmo quando não haja risco considerável de danos à saúde, está de acordo com diversas recomendações explícitas e implícitas presentes em pesquisas recentes sobre os fatores que influenciam e são influenciados pela postura sentada.

A movimentação no assento e a mudança freqüente de posição, feita de forma passiva no caso de pessoas com comprometimento motor severo, ou de forma ativa em usuários com menor comprometimento motor, é um fator que vem sendo bastante pesquisado, o que já possibilitou a detecção de diversas necessidades, havendo motivos para crer que o reposicionamento isoladamente tem maior chance de impedir problemas do que a busca pela posição ideal onde haja melhor redistribuição de pressão (VAN GEFFEN *et al.*, 2008b). Para pessoas que são fisicamente incapazes de alterar a sua pressão sobre o assento, mudar de posição é um dos métodos mais eficazes para modificar a distribuição de pressão e prevenir úlceras (KREUTZ, 1997). Sistemas dinâmicos que modificam a superfície de apoio – tais como sistemas com células de ar que enchem e esvaziam automaticamente – são úteis para redistribuir a pressão e manter a perfusão tecidual. Entretanto, não apenas a redistribuição de pressão, mas também a modificação postural é necessária para a manutenção da saúde (VAN GEFFEN *et al.*, 2008a). Além de facilitar uma adequada distribuição de pressão, recursos de reposicionamento como *tilt-in-space* e *recline* podem também aumentar o conforto (DING *et al.*, 2008).

Ajustes podem ser necessários entre longos períodos de tempo, ou mesmo diariamente à medida que as necessidades do usuário variem. A maioria dos sistemas deveria ser ajustável de forma simples e prática, com controles fáceis de operar, mas ao mesmo tempo capazes de manter sua regulação contra os esforços da atividade muscular voluntária e involuntária (TREFFLER e SCHMELER, 2001). Quando uma pessoa tem dificuldades para mudar de posição, uma sensação de segurança é de fundamental importância. Isso inclui uma pressão confortável, estabilidade razoável com possibilidade de se movimentar, e tão importante quanto, a capacidade de decidir quando e como se mover, permitindo um equilíbrio natural entre

estabilidade funcional e atividade saudável (ENGSTRÖM, 2002). Quando a possibilidade de livre movimentação existe, a posição pode ser confortavelmente modificada e a dinâmica é melhorada, diminuindo o componente estático da posição sentada. A conclusão é de que para manter uma postura sentada por longos períodos é necessário alternar continuamente um conjunto de posições naturais e saudáveis. Isso requer uma cadeira que permita ao usuário adotar essa faixa de posturas dinamicamente (LUEDER, 2002).

Tem havido interesse na forma como as cadeiras podem promover movimento sem a intervenção do usuário, de modo a melhorar a sua sensação de bem-estar. Uma das formas é a utilização de encostos articulados que mantenham uma pressão constante sobre as costas, de forma que o usuário possa se movimentar enquanto disponha de suporte lombar constante (LUEDER, 2002). Além disso, sistemas de assento com ajuste ativo usados com outros apoios posturais podem melhorar dramaticamente o equilíbrio ao sentar, aumentando o conforto e a tolerância para manter determinada posição, o que pode não ser possível sem um sistema de assento com controles motorizados (KREUTZ, 1997), geralmente indicados para usuários que têm sensibilidade comprometida e apresentam incapacidade de ajustar sua postura de forma independente (DING *et al.*, 2008). Esse conceito de ajustes motorizados semi-permanentes já vem sendo usado nos assentos modernos para automóveis, que são projetados para suportar o ocupante com segurança e promover o conforto através da facilitação de pequenas variações posturais, sobre uma superfície razoavelmente flexível. Modificações de posição e ajustes de forma motorizados são usados para facilitar a obtenção da postura desejada. Uma vez que uma configuração “ótima” é obtida, usando controles manuais ou motorizados, presume-se que o motorista manterá essa configuração por períodos prolongados – usando a própria força muscular para fazer pequenos ajustes posturais sobre a superfície estática, porém deformável, de modo a manter o conforto durante a direção do veículo (HOBSON e CRANE, 2001).

4.4 Estruturação funcional

A formulação do problema e a elaboração da lista de requisitos foram realizadas nas duas seções anteriores. Ambas devem ser usadas como subsídio para a determinação das tarefas principais e, para cada uma delas, dos fluxos de entrada e

saída, bem como das relações desejadas entre eles. A partir da formulação apresentada na página 87, podemos considerar a função principal do assento como sendo *proporcionar saúde, funcionalidade e bem-estar ao sentar*. A partir disso, pode-se extrair as seguintes funções principais:

- a) Manter posição sentada ou reclinada;
- b) Manter integridade anatômica e fisiológica;
- c) Permitir atividade funcional;
- d) Diminuir esforço físico e mental;

4.4.1 Função manter posição sentada ou reclinada

Para a manutenção da posição sentada ou reclinada, podemos identificar no mínimo dois fluxos de matéria¹⁶ correspondentes à pessoa e à cadeira, cuja relação física se mantém ao longo de algum tempo, com poucas variações. Já a consideração de que a postura requer um repertório de posições saudáveis que varia ao longo do tempo torna necessário considerar um ciclo de ações ou momentos que ocorrem durante o uso da cadeira, cada um dos quais repercute na existência de funções específicas para cada ação. Esses momentos, e as funções correspondentes, ocorrem quando o usuário:

- a) Senta na cadeira (importar ou receber usuário);
- b) Obtém a posição inicial na cadeira (posicionar usuário);
- c) Mantém uma posição escolhida (estabilizar usuário);
- d) Troca de posição na cadeira (permitir mover usuário, permitir graus de liberdade ao usuário);
- e) Sai da cadeira (exportar ou liberar usuário).

Os fluxos de energia transitam de forma variável ao longo dessa cadeia de subfunções, e sua forma final consiste basicamente no trabalho mecânico necessário à movimentação do usuário entre os momentos citados, que pode ser proveniente

¹⁶ Na representação funcional, *fluxo de matéria* não denota necessariamente fluxo no sentido físico, referindo-se especificamente às transformações – movimentação, aplicação de forças, deformação, fragmentação - a que o material ou objeto é submetido durante seu sucessivo processamento pelas funções que atuam sobre ele.

te da força muscular do próprio usuário, de um assistente, ou de algum sistema de motorização presente na cadeira de rodas.

Os fluxos de informação ou sinal deverão atuar especialmente nas subfunções “obter posição inicial” e “trocar de posição”, agindo sobre o usuário (fluxo de matéria) e transformando-o entre os estados “posição prévia” e “posição nova”. A origem dessa informação pode se situar na ação voluntária do usuário, na ação de um assistente, ou em algum movimento programado no assento caso este tenha regulagens ativas. As relações desejadas entre os fluxos de entrada e saída da função principal “manter postura sentada” são, em princípio, que a pessoa (fluxo de matéria) se mantenha inalterada – no sentido de manter a posição escolhida de forma estável e segura – e que o assento, da mesma forma, mantenha a posição em que foi colocado, o que envolve resistir às forças exercidas sobre ele pelo usuário durante a atividade voluntária ou involuntária. O fluxo de energia, seja ela proveniente da pessoa (muscular) ou do assento (regulagem ativa) deverá manipular a sucessiva mudança de posição do usuário e, dependendo do sistema, também do assento. A força peso deverá ser adequadamente distribuída, as forças geradas pela atividade do usuário deverão ser devidamente neutralizadas – no caso de episódios de exacerbação do tônus – ou apoiadas, no caso da necessidade de forças de reação postural ao executar atividade voluntária. Por sua vez, os fluxos de informação ou sinal deverão ser processados de forma a atuar sobre os fluxos de energia, exercendo a função de *controle* e mantendo uma relação adequada entre a informação de entrada (percepção do usuário, avaliação de um assistente, sensores existentes no sistema de assento) e a informação de saída (ações orgânicas e mecânicas estabilizadoras ou modificadoras da postura, posição desejada dos segmentos do corpo).

4.4.2 Função manter integridade anatômica e fisiológica

As funções do tipo *manter*, conforme exposto anteriormente, devem ter as propriedades de monitoramento, de comparação com um intervalo de valores válidos, e de desencadeamento de ações corretivas. As funções de manutenção da integridade tecidual e prevenção da sobrecarga articular estão diretamente relacionadas aos mecanismos de controle homeostático envolvendo receptores de dor, tato e propriocepção, desejo de mudança de posição desencadeado pela percepção do desconforto, e respostas motoras conscientes e inconscientes de variação postural,

e esse circuito corresponde ao fluxo de informação ou sinal dessa função. Considere-se que essa função deve ser desempenhada continuamente, embora saiba-se que as alterações locais devidas à compressão tecidual apresentam potencial de dano proporcional ao tempo em determinada posição. Dessa forma, se a propriedade de monitoramento não estiver presente – como no caso de usuários com sensibilidade ausente, ou alteração no estado de consciência – pode ser desejável implementar a função de modificar posição a cada certo intervalo, como é geralmente feito por sistemas que modificam periodicamente a forma do assento inflando e desinflando câmaras de ar. Da mesma forma como na função anterior, o fluxo de informação atua sobre os fluxos de energia, e estes por sua vez atuam sobre o fluxo de matéria, que consiste na alternância entre determinadas posições. As relações entre os fluxos de entrada e saída consistem, a princípio, em que a pessoa (fluxo de material) mantenha sua integridade fisiológica e anatômica inalterada, e que o assento (fluxo de material) também mantenha sua integridade, o que implica usar material que não seja consumido, descartado ou danificado durante o uso. O fluxo de energia deverá movimentar a pessoa e/ou o assento entre posições sucessivas. Por sua vez, os fluxos de informação ou *signal* consistem nas informações de entrada (órgãos sensoriais do usuário, avaliação de um assistente, comportamento cinemático ou dos materiais do assento, sensores existentes no sistema de assento) e nas informações de saída já processadas (ações que corrijam desvios como deformação tecidual, aumento de temperatura ou isquemia).

No caso da pessoa com deficiência, o processamento dessas informações de controle, dentro do sistema pessoa-assento, pode envolver a transferência para o sistema *assento* de funções complexas que estão ausentes no subsistema *pessoa*. Além disso, diversos parâmetros influem nesses controles, e a relação ideal entre eles é incompletamente conhecida, além de não ser constante ao longo do tempo, o que deverá influenciar os efeitos físicos e os princípios de solução escolhidos.

4.4.3 Função permitir atividade funcional

Na função *permitir atividade funcional* ocorre a máxima subordinação hierárquica entre os fluxos de matéria, energia e sinal, sendo este último associado à *intenção* ou *propósito* consciente da ação da pessoa sobre o ambiente que a cerca. Como já foi comentado, a ação motora voluntária envolve a estabilização proximal

de pontos de apoio, que servem como interface e referência estáticas com o ambiente, e mobilização de segmentos distais que efetuam a ação, em geral mãos, mas podendo corresponder a outros órgãos efetadores, dependendo do tipo e intensidade da deficiência. Na posição sentada, a *pelve* é o segmento fundamental que deve ser estabilizado, servindo como referência espacial para os demais mecanismos de integração sensorial, como visão, propriocepção e equilíbrio. Assim, o fluxo *pelve* deve manter uma relação geométrica aproximadamente constante com o fluxo *assento*, enquanto o fluxo *mãos* (ou outro órgão efetador) deve, ao longo do tempo, apresentar com o ambiente de execução da tarefa relações espaciais que dependem da *intenção* ou propósito do movimento, introduzidos sobre o fluxo *mãos* através do fluxo de sinal proveniente do cérebro.

Entre usuários de cadeiras de rodas são muito prevalentes as deficiências graves que comprometem o estado mental e de consciência, limitando ou anulando a capacidade do usuário para realizar ações voluntárias. Neste caso, a função *permitir ação voluntária* deve ser movida para fora da fronteira do sistema, e transferida para um assistente cuidador, que deverá realizar as ações que julgar necessárias ou convenientes. Nesse caso, faz-se necessário que haja algum fluxo de sinal entre o sistema usuário-assento e o subsistema *assistente*, indicando a eventual necessidade do usuário que deve ser satisfeita pelo assistente.

Outros tipos de deficiência causam alterações no sistema nervoso, as quais provocam uma *desregulação* na relação entre a intenção do movimento e a ação motora que é desencadeada, o que se traduz como oscilação aleatória na força, velocidade e direção do movimento, alteração da tonicidade, e presença de atividade desestabilizante, podendo ser necessário que o sistema de alguma forma separe a ação voluntária da ação involuntária. Isso tem sido pesquisado especialmente na área do comando de cadeiras de rodas motorizadas, através do processamento computadorizado de sinais digitais (COOPER *et al.*, 2006). Além disso, a decomposição das superfícies de suporte do assento em segmentos com mobilidade diferenciada, no sentido de estabilizar, bloquear, amortecer ou permitir determinados padrões de movimento, poderá auxiliar a manter a estabilidade e facilitar a atividade, embora seja ainda necessário um estudo mais rigoroso sobre as vantagens de impedir ou de permitir os movimentos durante os espasmos antes que se possa chegar a conclusões definitivas (COOPER *et al.*, 2001).

4.4.4 Função diminuir esforço físico e mental

A função *diminuir esforço físico e mental* apresenta certa complexidade intrínseca, pois o desconforto associado ao esforço constante tem uma característica variável, multifatorial e dependente de diversas condições individuais. Entretanto, pode-se inferir que, devido à natureza intencional de diversos mecanismos homeostáticos humanos – que orientam a atividade voluntária no sentido de ações cujo resultado cumulativo é a promoção da continuidade do indivíduo – a minimização contínua do desconforto através de ações motoras voluntárias é o mais alto nível de resposta homeostática à deformação tecidual, visto que tem o potencial de minimizar ou eliminar uma ampla gama de estímulos mecânicos potencialmente nocivos. Entretanto, devido a esse mesmo propósito homeostático subjacente, os estímulos de desconforto provocam uma sensação subjetiva de urgência ou prioridade que, se não satisfeita, dificulta muito a concentração e focalização consciente em outras atividades, comprometendo o potencial de participação do indivíduo. Assim sendo, a relação desejada para as entradas e saídas nesta função referem-se principalmente à minimização de sinais físicos (impulsos sensoriais aferentes) e mentais (percepção de dor, de instabilidade e de restrição física) indicativos de desconforto. Os fluxos de matéria deverão ser manipulados e distribuídos de forma que ocupem continuamente configurações espaciais associadas à baixa geração dos referidos sinais de desconforto. Os fluxos de energia, da mesma forma que ocorre em todas as funções anteriores, serve como um viabilizador e facilitador da transformação dos fluxos de matéria pelos fluxos de sinal.

4.4.5 Subdivisão das funções principais em funções elementares

Até o momento, o desenvolvimento deste projeto gerou duas listas: a lista de requisitos e a lista de tarefas principais, esta última com os fluxos de entrada e saída de cada função. De acordo com a Metodologia de Projeto Axiomático, um produto com arquitetura consistente deverá apresentar um mapeamento entre os elementos da lista de requisitos e os elementos da lista de funções, de modo que, preferencialmente, corresponda uma única função para cada requisito. O resultado desse processo encontra-se no Quadro 4. Convém notar que foram omitidos os vínculos explícitos entre requisitos e funções, por motivos de clareza visual.

Quadro 4. Mapeamento entre os requisitos gerados pela decomposição das necessidades dos usuários (à esquerda) e as funções identificadas pela análise do problema (à direita), correspondendo ao mapeamento entre o domínio do cliente e o domínio funcional (a associação entre os elementos não está indicada explicitamente, pois não consiste em um mapeamento um-a-um entre necessidade do cliente e requisito funcional).

Requisitos provenientes da análise da literatura	Posicionamento	Suportar usuário	Disponibilizar apoios ao sentar	Sentar na cadeira	Funções provenientes da análise do problema: "proporcionar saúde, funcionalidade e bem-estar ao sentar"
		Acomodar tuberosidades isquiáticas	Contrapor tendência à obliquidade	Obter posição	
	Prover suporte lombar	Envolver a região pélvica			
	Melhorar obliquidade pélvica	Acomodar e corrigir escoliose	Manter posição		
	Impedir escorregamento	Posicionar cabeça			
	Acomodar deformidades estruturadas	Posicionar pés	Trocar de posição		
	Corrigir deformidades não-estruturadas	Aplicar pressão em coxas e nádegas			
	Posicionar pés	Limitar deslocamento anterior sobre o assento	Realizar transferência		
	Facilitar posicionamento da cabeça	Aplicar pressão na região lombo-sacra			
	Integridade superficial	Facilitar difusão da umidade	Modificar posições relativas entre usuário e assento	Minimizar passivamente agressão tecidual	
Facilitar difusão térmica		Modificar posições relativas entre segmentos corporais			
Impedir proliferação de germes		Disponibilizar apoio para transferência			
Integridade tecidual	Evitar fricção da pele	Eliminar excesso de umidade na interface	Manter integridade tecidual		
	Diminuir picos de pressão	Eliminar excesso de calor na interface			
Atividade motora	Diminuir gradientes de pressão	Inibir reprodução de germes na interface	Minimizar ativamente agressão tecidual		
	Realocar pressão	Limitar coeficiente de atrito na interface			
	Minimizar cisalhamento	Limitar amplitude de picos de pressão			
	Permitir obtenção de posição	Limitar gradientes de pressão			
	Permitir manutenção da posição	Limitar cisalhamento			
Requisitos compostos	Permitir movimentos necessários	Monitorar condição dos tecidos	Permitir atividade funcional		
	Permitir movimentos quando necessário	Desencadear troca de posição			
	Impedir movimentos indesejados	Permitir movimentos necessários			
	Apoiar tronco para atividade	Limitar movimentos indesejáveis			
Facilitar ações homeostáticas	Aumentar tempo tolerável	Minimizar estímulos dolorosos	Promover conforto		
	Facilitar modificação postural	Minimizar desequilíbrio			

Devem-se fazer algumas considerações sobre o mapeamento entre o desdobramento dos requisitos do cliente e o desdobramento dos requisitos funcionais:

- a) A decomposição não foi feita até um nível de detalhe que permitisse declarar as funções em termos genericamente válidos e descritíveis por funções elementares de uma base funcional. De acordo com a MPA, o desdobramento de requisitos ou parâmetros para níveis hierarquicamente inferiores deve ser feito em todos os domínios simultaneamente. Entretanto, a ausência até este ponto de estruturas operacionais, e dos respectivos parâmetros de projeto, faz com que o detalhamento adequado desta fase não atinja o nível de funções elementares;
- b) O relacionamento entre os elementos do último nível de desdobramento de cada domínio não foi estabelecido numa relação um-para-um, podendo haver elementos não-relacionados, duplicados, ou relacionados com mais de um elemento de outro domínio;
- c) Apesar de a maioria dos elementos de um domínio ser mapeável para o outro, alguns relacionamentos mostraram-se obscuros, o que sugere que as necessidades identificadas pela literatura não descrevem de forma completa o problema da forma em que foi formulado neste estudo.

4.4.6 Estruturação das funções elementares

A partir das funções identificadas na decomposição dos requisitos funcionais, foi elaborada uma proposta para uma estrutura funcional de um sistema de assento, que pode ser vista na Figura 23. A respeito dessa estrutura, podem-se fazer as seguintes inferências:

- a) Percebe-se uma correspondência bastante clara entre a estrutura funcional de sistemas de assento disponíveis atualmente e aquela correspondente à subfunção *ocupar posição sentada*, por onde transitam os fluxos principais de matéria correspondentes ao assento e ao usuário, e subdividida em funções normalmente associadas a sistemas de assento, como sentar, permanecer sentado, mudar de posição, e sair da cadeira;

- b) A subfunção *minimizar passivamente agressão tecidual* pode ser mapeada aos formatos e materiais utilizados para contorno, estofamento e revestimento, como espumas e géis. Nesta função transita principalmente o fluxo de energia correspondente às tensões mecânicas distribuídas na interface e à deformação tecidual;
- c) A subfunção *minimizar ativamente agressão tecidual* tem como fluxo principal o *signal* correspondente aos estímulos táteis, proprioceptivos e dolorosos aferentes. No caso de pessoas cuja deficiência afeta essas funções, sugere-se que haja algum portador de função capaz de desencadear as respostas necessárias à redistribuição periódica das tensões nos tecidos, através da modificação da posição do corpo e/ou do assento;
- d) A subfunção *favorecer atividade funcional*, embora constando na lista de necessidades do usuário e na lista de requisitos funcionais, parece requerer, como auxiliares, funções distribuídas nas outras duas subfunções. Sugere-se que essa função não seja na realidade desempenhada pelo assento, mas sim pelo usuário, quando dispõe de integridade da consciência e da ação voluntária. Assim, nas pessoas com comprometimento total da consciência, essa subfunção poderia não ser necessária.

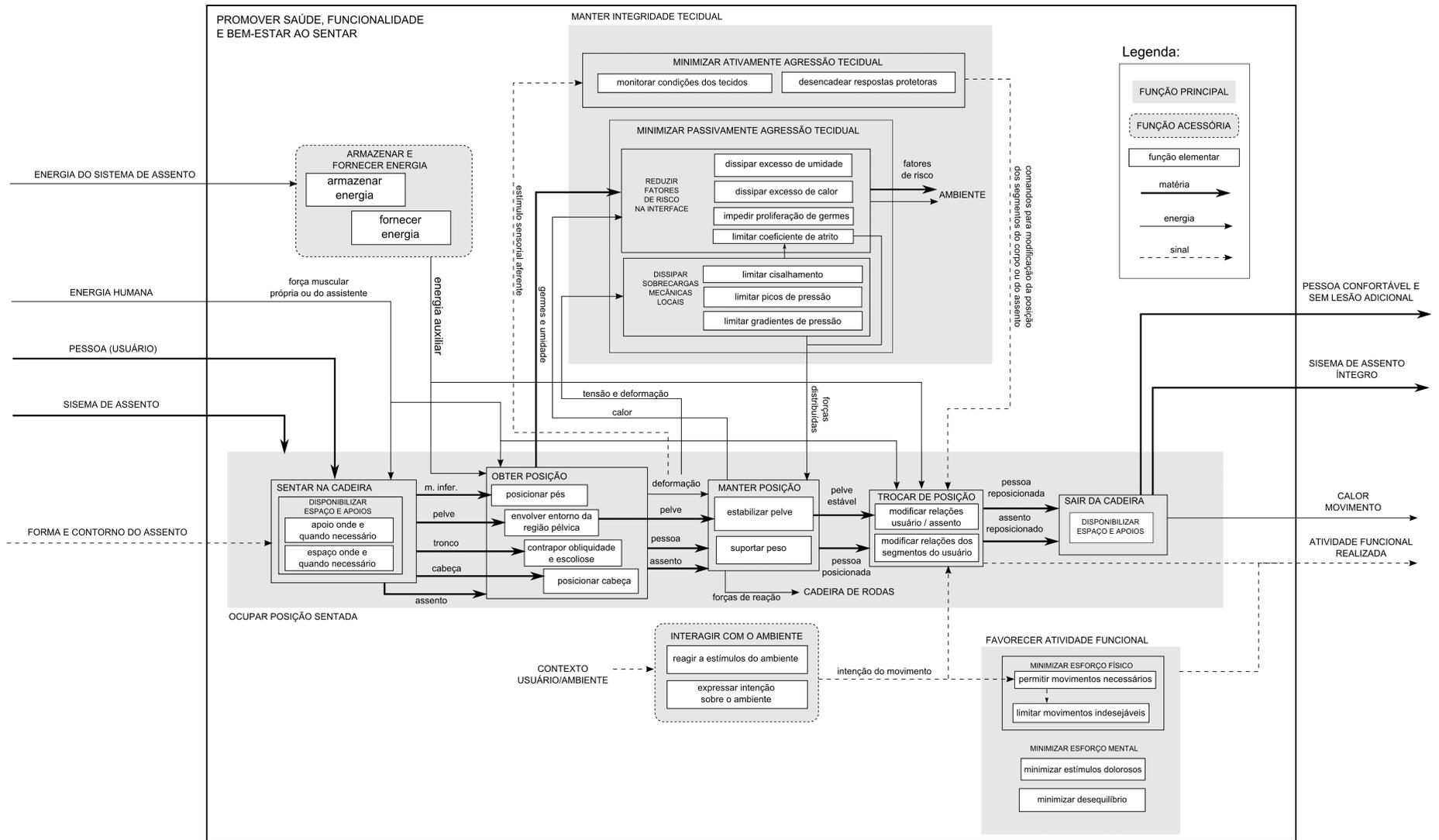


Figura 22. Estrutura funcional proposta, indicando as relações entre os principais fluxos de matéria, energia e informação. Devido ao caráter preliminar, as funções não foram completamente decompostas, e algumas relações estão implícitas ou ausentes.

4.5 Estruturação operacional

A característica principal da estruturação operacional é a atribuição de uma função elementar, ou um conjunto de funções elementares, a diversos *portadores de efeito*, que deverão ser vinculados fisicamente de forma que as funções sejam executadas e o dispositivo funcione do modo planejado. Isso requer o desenvolvimento de *princípios operacionais*, baseados nos três seguintes itens:

- a) Efeito físico: é o uso de propriedades físicas ou químicas conhecidas para realizar alguma transformação ou executar alguma ação. Motores elétricos, por exemplo, utilizam a indução eletromagnética como efeito físico para conversão de energia elétrica em energia mecânica;
- b) Geometria: refere-se à forma necessária para que o efeito físico se manifeste no local apropriado, determinado pelo arranjo espacial das superfícies de trabalho;
- c) Propriedades do material: o efeito físico e o tipo de superfície operacional requerem que o material apresente determinadas características, como estado físico, rigidez, viscosidade, condutividade, coeficiente de atrito, resistência à corrosão, etc.

Diversos princípios operacionais – ou princípios de solução – estão consolidados entre a maioria dos sistemas de assento disponíveis atualmente. Por exemplo, o uso do acolchoamento e do contorno para a redistribuição de pressão, o uso de regulagens de *tilt* e *recline* para modificar a posição do usuário no assento, e o uso de células de ar que alternam a pressão para alívio periódico da compressão local. Entretanto, diversas funções identificadas pela estrutura funcional deste estudo podem ter seu desempenho viabilizado ou melhorado por uma análise mais profunda dos princípios operacionais existentes. Em especial, a função *trocar de posição* tem sua importância reconhecida, ao menos nos casos de deficiência mais severa, e diversos princípios de solução vêm sendo propostos, como uso de componentes de assento dinâmicos, de controles motorizados para mudança de posição, e de componentes modulares.

Esta seção examinará alguns princípios de solução que podem ser utilizados para algumas das subfunções indicadas na estruturação funcional. Para isso, serão

utilizadas, quando possíveis, soluções existentes na área da adequação postural ou em outras áreas, e alguns conceitos e heurísticas da TRIZ. Além disso, como a estruturação operacional corresponde à etapa de mapeamento entre os requisitos do domínio funcional e os parâmetros do domínio físico, deverão ser indicadas as propriedades ou os componentes que correspondem a esses parâmetros de projeto.

Dentre as heurísticas da TRIZ, há um conjunto de quatro regras que podem ser especificamente aplicadas no caso de surgimento de contradições físicas durante a estruturação operacional. São elas:

- a) Separação no espaço: um requisito existe em um lugar mas não existe em outro e vice-versa, e as duas propriedades mutuamente exclusivas podem ser reposicionadas somente para onde são necessárias;
- b) Separação no tempo: um requisito é necessário em um momento e o requisito oposto em outro momento. O sistema pode ser configurado de forma que apresente as duas propriedades de forma alternada, somente nos momentos em que forem necessárias;
- c) Separação condicional: a propriedade do componente depende de alguma condição sob a qual é considerada. Por exemplo, uma porta pode ser considerada móvel no sentido horizontal, mas imóvel no sentido vertical;
- d) Separação entre as partes e o todo: um requisito é necessário somente em um nível (sub-sistema), e o outro requisito é necessário em outro nível (sistema ou super-sistema).

4.5.1 *Sub-função* sentar: ocupar e desocupar assento

Durante o seu funcionamento normal, o assento deve proporcionar firmeza, segurança, oferecer apoio para os braços e suporte para o tronco, e impedir que o usuário acidentalmente caia. Entretanto, os recursos utilizados para isso podem criar dificuldades na hora de realizar transferências, ou seja, ao sentar e ao sair da cadeira. Assim sendo, temos uma contradição física, pois o assento ao mesmo tempo deve manter contato com a pessoa e deve liberar a pessoa do contato. Em geral, quando possível, prefere-se fazer as transferências para o lado, ficando a cadeira e a superfície de destino aproximadamente no mesmo nível, e nesse caso em geral

ocorre interferência entre o corpo do usuário e os suportes laterais da pelve, tronco, coxas e braço.

Pela heurística de separação no espaço, pode-se considerar que o requisito *fornecer apoio* é desejável para a base do assento e para os pés, bem como para algum ponto onde o usuário possa apoiar as mãos e erguer o corpo, e o requisito *não fornecer apoio* é desejável para todos os componentes que entram em contato com a parte lateral do corpo, e que podem portanto interferir com o movimento lateral do usuário ao entrar e sair da cadeira. Já pela heurística de separação no tempo, fica evidente que o requisito *não fornecer apoio* é necessário somente no momento em que o usuário realiza a transferência, e o requisito *fornecer apoio* é necessário durante todo o restante do tempo. Por fim, o atrito é outra característica que deve assumir valores contraditórios: o usuário deve ter atrito suficiente para não escorregar para a frente, mas não deve ter atrito demasiado no momento da transferência. De acordo com a heurística da separação condicional, considera-se que o atrito é desejável no sentido ântero-posterior, para impedir que o usuário escorregue, mas indesejável no sentido lateral, para que o usuário possa deslizar da cadeira para a superfície de destino. Um raciocínio semelhante pode ser feito com relação à inclinação da base do assento: uma inclinação no sentido ântero-posterior pode impedir que o usuário escorregue, enquanto uma inclinação lateral transitória pode permitir que ele tenha sua transferência facilitada.

Um princípio de solução presente em diversos elementos de adequação postural é o uso de componentes rebatíveis (*swing-away*), muito usados em bandejas e apoios laterais para os braços. Propõe-se que esse princípio possa ser ampliado e utilizado em toda ou todas as superfícies laterais que interfiram com o movimento do usuário durante a transferência, e que a troca conjunta entre a posição *armada* e a posição *rebatida* fosse acionada por um único comando. O uso de tecidos cuja trama apresente diferentes coeficientes de atrito em diferentes direções pode contribuir especificamente para o deslizamento lateral durante transferências, assim como a variação momentânea da inclinação da base do assento.

4.5.2 Sub-função trocar (periodicamente) de posição

Foi comentado na estruturação funcional que a função *trocar de posição* tem como entrada fluxos de informação relativos à intenção do movimento voluntário e ao propósito de correção de fatores mecânicos nocivos, o qual pode ocorrer em nível voluntário ou involuntário. Além disso, a variação postural em si requer fluxos de energia mecânica, na qualidade de forças e torques, que são responsáveis pelo reposicionamento dos segmentos do usuário e do assento.

Em pessoas sem deficiência, os fluxos de sinal são provenientes do sistema nervoso central e periférico (respectivamente, intenção e atividade reflexa), enquanto a energia é proveniente dos músculos, e dessa forma nenhum sistema especial de assento é necessário. Ainda assim, em alguns contextos, por razões de funcionalidade e conforto têm sido usados vários tipos de *regulagens* e *controles*, como é o caso de modernos assentos de veículos e poltronas de luxo, que apresentam diversas regulagens independentes para os parâmetros do assento (ângulos, contornos e dimensões), podendo inclusive realizar essa regulagem de forma motorizada. Já no caso da deficiência, e dependendo do grau em que esta se manifesta na pessoa, pode ser necessário substituir as funções musculares, nervosas e psíquicas perdidas ou ausentes, transferindo-as para o sistema de assento para que a variação postural seja possível, e essa transferência é muito mais crítica do que no caso de pessoas sem deficiência. Podemos assim, em princípio, caracterizar três principais níveis independentes de comprometimento da funcionalidade individual para a variação da postura: quando a pessoa não apresenta força suficiente para se reposicionar; quando a pessoa não dispõe da sensibilidade e da propriocepção, e portanto não recebe os sinais indicativos da necessidade de mudar de posição; e quando a pessoa tem comprometimento severo das funções mentais, e não é capaz de planejar ou executar ações motoras voluntárias ou mudanças de posição.

Algumas soluções existem atualmente para facilitar a obtenção da posição desejada em sistemas de assento de escritório ou de veículos. Em especial, no caso da regulagem de inclinação do encosto, que pode requerer a compensação do peso do tronco, é comum a existência de molas que empurram o encosto para a frente durante a regulagem. Dessa forma, ao acionar a regulagem a pessoa pode apoiar mais peso sobre o encosto, empurrando-o para trás, ou pode aliviar o peso sobre o encosto, permitindo que a mola empurre a superfície de apoio para a frente. Um

princípio análogo, para a regulação da altura do assento em cadeiras de escritório, é o uso de um cilindro de gás pressurizado, que empurra todo o assento para cima quando a pessoa aciona uma alavanca, permitindo que esta escolha a altura adequada. Nesses dois sistemas, há um controle que é acionado temporariamente para que a posição seja selecionada – geralmente com a presença de amortecimento viscoso para facilitar o controle – e então liberado. Outro princípio para variação da inclinação do assento, comum em veículos de passeio, consiste em controles rotativos contínuos, que permitem um posicionamento mais preciso, embora menos rápido.

Foi destacada a importância da estabilidade da pelve para a manutenção de uma postura saudável, segura e funcional, e para isso é conveniente que ela permaneça suficientemente apoiada. Entretanto, isso pode criar restrição excessiva, dificultando o alívio periódico da compressão sob as tuberosidades isquiáticas. Além disso, a rotação da pelve no plano sagital é um determinante fundamental da curvatura do restante da coluna, dessa forma sendo importante também para a saúde do sistema ósteo-articular. Um sistema proposto por van Geffen *et al.* (2008) consiste em desacoplar a rotação da pelve de outros movimentos, como *tilt* e *recline*, através de um mecanismo de quatro barras que permite que a pelve seja rotacionada ao redor de seu centro de rolagem nas tuberosidades isquiáticas, enquanto a inclinação do encosto permanece inalterada. Dessa forma, fica possível manter a postura funcional desejada do tronco, variar a compressão dos tecidos moles, e alternar a curvatura da coluna lombar, favorecendo a difusão de nutrientes nos discos intervertebrais. Além disso, criam-se maiores oportunidades de ajuste da postura de acordo com a preferência pessoal ou com situações e posições específicas que o usuário possa precisar assumir. Um esboço desse sistema articulado encontra-se na Figura 23.

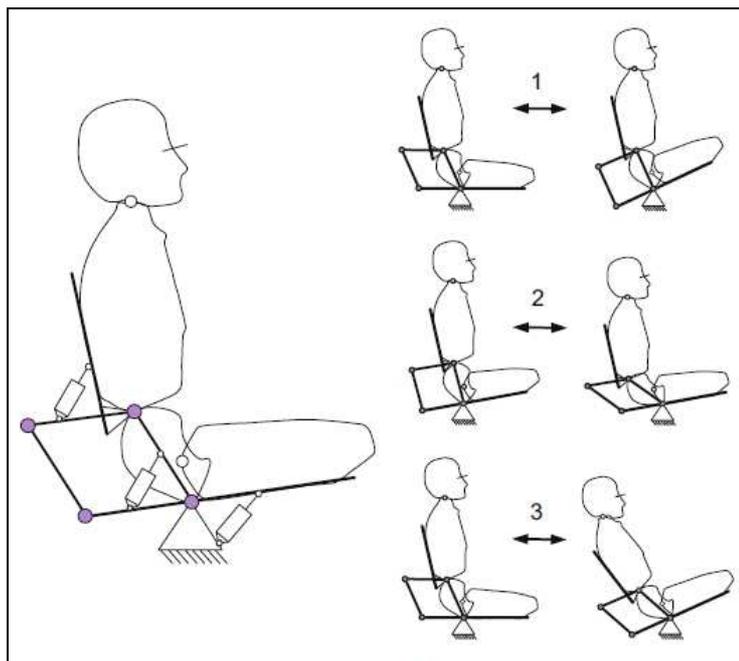


Figura 23. Sistema de assento articulado que permite o ajuste independente do ângulo entre a base e o encosto (1), da rotação da pelve (2) e do *tilt-in-space*.
Fonte: Van Geffen *et al.* (2008a)

Um requisito importante, que algumas vezes tende a permanecer implícito, é de que o assento apresente dimensões antropométricas compatíveis com as de seu usuário. Isso pode ser obtido através da fabricação personalizada de um assento, pela escolha do tamanho adequado para cada parâmetro, dentro de uma gama de tamanhos possíveis, ou da regulagem correta dos parâmetros, em um assento que tenha essa possibilidade.

4.5.3 Sub-função manter passivamente a integridade tecidual

A função *manter passivamente a integridade tecidual* é subdividida em dois tipos de ações que contribuem para a saúde e integridade dos tecidos moles na região do assento: a manutenção da continuidade estrutural da camada superficial da pele, e a prevenção de isquemia e necrose secundárias à deformação dos tecidos profundos. A primeira está relacionada à eliminação de sub-produtos da fisiologia da pele, como umidade, calor e substâncias químicas irritantes provenientes do suor, que podem se acumular devido ao contato prolongado com o assento. Esses elementos tendem a causar maceração cutânea e deterioração da função de barreira da epiderme, podendo ainda ser agravados pelo atrito e pela presença de resíduos de urina ou fezes, como no caso de pessoas com diminuição do controle dos esfínc-

teres. Já a segunda função se refere à redistribuição das forças e pressões que atuam sobre os tecidos, evitando deformações que provoquem isquemia local e aumentando o tempo de tolerância tecidual às sobrecargas mecânicas relacionadas às posições que o usuário do assento ocupa.

A indústria de vestuário, em especial nas áreas esportiva e de têxteis para dormitório, tem desenvolvido tecidos com tecnologias que têm o objetivo de favorecer a manutenção de um micro-clima adequado entre a roupa e a pele, além de favorecer a termo-regulação, evitar a proliferação de microrganismos e promover o conforto tátil (KWON *et al.*, 1998; TETRINNO, 2007). Alguns princípios de solução nessas áreas são potencialmente úteis para o controle dos fatores de risco para maceração da epiderme. A construção de tecidos com micro-fibras de polímeros hidrofílicos facilita a distribuição e evaporação do suor, diminuindo a umidade e estabilizando a temperatura. A proliferação de germes pode ser controlada com a incorporação ao tecido de substâncias bactericidas e bacteriostáticas, como é usual em peças de vestuário esportivo.

O avanço na fabricação de polímeros também tem feito surgir soluções dedicadas a problemas semelhantes aos enfrentados pelos usuários de cadeiras de rodas. Uma dessas soluções é a colméia de poliuretano flexível, cuja estrutura pode ser vista na Figura 24. Além de promover acolchoamento e ventilação, a estrutura prismática dessas colméias faz com que elas tenham baixo módulo de cisalhamento, evitando que este seja transmitido à pele.

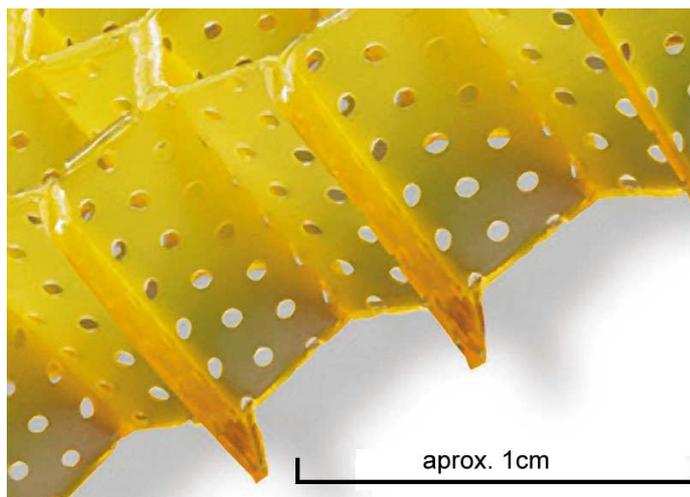


Figura 24. Vista ampliada de uma colméia de poliuretano flexível da marca Supracor Stimulite®, mostrando a rede de orifícios que permite a ventilação¹⁷.

Outro tecido técnico que vem sendo utilizado para a confecção de artigos esportivos que necessitam de secagem rápida, como mochilas e calçados para esportes de aventura, é a malha aerada ou *air mesh*, que se constitui de uma trama de fibras grossas arranjadas de forma tridimensional, permitindo a circulação de ar e fornecendo suporte e acolchoamento. Uma vista ampliada pode ser observada na Figura 25.

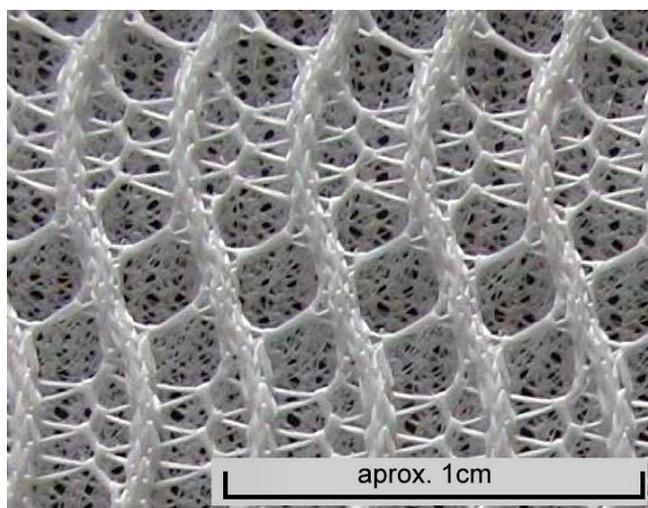


Figura 25. Vista ampliada da estrutura de uma malha aerada genérica tipo *air mesh*, mostrando seu arranjo tridimensional que proporciona elasticidade e ventilação¹⁸.

¹⁷ Fonte: http://www.aretessaddlery.com/tack/images/uploads/yellow_honeycomb.jpg, acesso em 05 jun 2009

¹⁸ Fonte: http://www.germes-online.com/direct/dbimage/50272068/Air_Mesh.jpg, acesso em 05 jun 2009.

Apesar da importância do cuidado com a integridade da epiderme, a integridade dos tecidos profundos é consideravelmente mais crítica, em especial porque sua sensibilidade é menor, são mais suscetíveis à necrose por isquemia, e a identificação precoce das lesões é bastante difícil. Assim sendo, os métodos de solução disponíveis para otimizar a distribuição da pressão e diminuir a deformação tecidual têm se tornado progressivamente mais sofisticados, incluindo espumas viscoelásticas, gel de silicone, sistemas com fluido, células pressurizadas com ar, entre outras. Além disso, atualmente a conformação dos contornos do assento ao usuário está sendo mais valorizada, havendo inclusive diversas indicações para que, em determinados casos, o assento seja contornado sob medida.

O princípio de funcionamento das medidas que buscam diminuir a deformação tecidual é evitar a isquemia induzida pela deformação dos vasos sanguíneos, assim como evitar a própria deformação celular associada a alterações bioquímicas potencialmente danosas. Os tecidos humanos são relativamente resistentes à compressão hidrostática, enquanto que as tensões de von Mises são as responsáveis pelas deformações em cisalhamento, associadas ao dano tecidual. O cisalhamento ocorre em dois tipos de situação ao sentar:

- a) A pessoa senta sobre uma superfície plana e dura, criando um pico de pressão concentrado nas tuberosidades isquiáticas, sem que haja suporte nas áreas adjacentes. Isso cria um gradiente de pressão que provoca o cisalhamento dos tecidos no plano vertical;
- b) A pessoa senta sobre uma superfície inclinada, com tendência ao escorregamento, ou ocupa uma posição em que uma parte do corpo é forçada tangencialmente à superfície de apoio. O atrito existente entre a pessoa e o assento faz com que as camadas da pele se deformem apresentando cisalhamento no plano horizontal;

O acolchoamento é uma solução utilizada para aumentar a área de contato com o assento e diminuir os picos e os gradientes de pressão, mas a escolha de um material com características adequadas também pode influir nas trocas térmicas e gasosas locais e no padrão de apoio postural oferecido pela superfície de suporte. Assim, o uso de gel de silicone, por exemplo, favorece a eliminação de picos de pressão e tensões em cisalhamento, mas sua impermeabilidade pode originar acúmulo de suor. As células infladas com ar permitem boa adaptação ao contorno e ab-

sorção de impacto e vibrações quando a cadeira está em movimento, mas pode dificultar a estabilização postural, além de ser possível que o usuário fique indevidamente apoiado sobre a base rígida no caso de pressão insuficiente nas células de ar. Alguns materiais viscosos, que apresentam lento escoamento, tendem neutralizar as tensões de cisalhamento, sendo a melhor alternativa para usuários com alto risco de desenvolvimento de úlceras, mas podendo comprometer seriamente a estabilidade postural.

A existência de propriedades conflitantes entre os materiais disponíveis levaram à confecção de assentos que utilizam diversas combinações de diferentes materiais, de forma que a distribuição de suas propriedades satisfaça mais adequadamente os requisitos funcionais das superfícies de suporte. A variação da distribuição de materiais pode ocorrer de duas formas complementares, uma delas correspondendo à escolha do material correto dependendo do local do corpo com o qual ele fará contato – material com maior rigidez para regiões de apoio, e mais macio para as regiões que necessitam de maior alívio mecânico – e a outra correspondendo à distribuição do material em camadas com diferentes profundidades. Este último artifício está de acordo com a heurística de separação entre as partes e o todo, da TRIZ: as propriedades necessárias para o alívio das tensões dos tecidos superficiais, como viscosidade, elasticidade e compressibilidade, encontram-se em contato direto com esses tecidos, numa escala local (*parte*); e as propriedades necessárias à oferta de suporte postural de segmentos maiores do corpo, como firmeza, contorno, encontram-se localizadas nas camadas mais profundas e afastadas do usuário (*todo*).

Outro princípio de solução, que utiliza a variação local das propriedades elásticas de um mesmo material, é o das espumas visco-elásticas de poliuretano, também chamadas de espumas com “memória”. Ao serem comprimidas, essas espumas gradualmente se adaptam ao novo formato devido ao componente viscoso, aliviando concentrações e gradientes de pressão. Porém, ao ser liberadas, retornam à posição original devido ao componente elástico. Além disso, alguns produtos apresentam variação da viscosidade da espuma dependendo da temperatura, fazendo com que as regiões próximas ao corpo se aqueçam e se moldem a ele, enquanto o restante do assento mantém as capacidades de suporte próprias da espuma. O

comportamento de uma espuma visco-elástica, mostrando sua capacidade de modificar temporariamente a forma ao ser comprimida, está ilustrado na Figura 26.



Figura 26. Exemplo de espuma visco-elástica termo-sensível.¹⁹

4.5.4 Sub-função manter ativamente integridade tecidual

Diferentemente da sub-função *manter passivamente a integridade tecidual*, a presente sub-função envolve a combinação com fluxos de informação e energia de modo a exercer positivamente ações de manutenção da saúde e integridade tecidual, tanto dos tecidos moles quanto das estruturas articulares vertebrais. Como tal, ela consiste numa típica função *manter*, e como tal deve apresentar, conforme já foi comentado, as três propriedades básicas que são o *monitoramento*, a *comparação* com níveis desejados, e a *ação corretiva* no sentido de retorno ao equilíbrio.

O propósito de aliviar periodicamente os tecidos por meios físicos e mecânicos é promover reperusão adequada ao tecido até então comprimido, num processo de vaso-dilatação, aporte de oxigênio e remoção de metabólitos tóxicos. O acúmulo desses metabólitos, assim como a deformação dos mecano-receptores, gera estímulos de dor e desconforto que desencadeiam respostas semi-conscientes de movimentação e reposicionamento.

Todas as posturas adotadas durante as atividades motoras humanas exercem uma ação mecânica potencialmente agressiva sobre o corpo, e uma das funções protetoras da propriocepção profunda consiste justamente em desencadear, dependendo do contexto da tarefa, o estímulo para a troca de posição. Por exemplo, a posição requerida para trocar uma lâmpada pode ser sustentada por um período relativamente longo, se isso for necessário para que a troca seja feita, entretanto a mes-

¹⁹ Fonte: <http://www.simmons.com/products/brands/comforpedic/images/foamHand.jpg>
acesso em 05 jun 2009.

ma posição pode ser considerada intolerável caso não haja razão ou motivação ou propósito envolvido. Dessa forma, o componente de comparação desta sub-função consiste em comparar a sobrecarga mecânica de uma determinada posição com o propósito de sua manutenção, promovendo um equilíbrio dinâmico entre atividade funcional e redistribuição das sobrecargas mecânicas, sendo consistente com os dados que vinculam os parâmetros de conforto de um assento às tarefas que serão realizadas sobre ele.

Quando alguma deficiência compromete esse circuito de sensibilidade, motricidade e intencionalidade da ação motora, ocorrem uma ou mais das situações descritas na Seção 4.5.2 sobre a sub-função *trocar de posição*. Enquanto aquela função consiste em prover os meios para que a troca de posição seja possível, determinando *como* a troca de posição é realizada, a presente função consiste em determinar, com base no processamento de fluxos de sinal, *quando*, *quanto* e *por que* a troca de posição deve ocorrer, estando embutido, na troca de posição, o *propósito* de aliviar as sobrecargas mecânicas nos tecidos.

O cumprimento satisfatório desta função por sistemas especiais de assento ainda não foi integralmente obtido, dada a complexidade da rede de feedbacks neurais envolvida. Sistemas que variam de forma alternada a pressão do assento, com uso de células de ar que inflam e desinflam, são úteis para pacientes com baixa sensibilidade, limitações motoras ou limitações de consciência, mas costumam ser caros, requerer manutenção, e ser de operação complicada (STOCKTON e RITHALLIA, 2008). Além disso, alguns pacientes consideram desagradável o fato de o assento se movimentar de forma autônoma (VANDERWEE; GRYPDONCK e DEFLOOR, 2008).

É possível que, futuramente, tecnologias de monitoramento das condições físico-químicas da interface, vinculadas a um processamento computadorizado, venham a permitir o reposicionamento automático, ou mesmo emitir sinais que permitam ao usuário saber quando e como deve ser reposicionado. Métodos experimentais de monitoramento da condição tecidual incluem análise da composição do suor (BADER *et al.*, 2005) e da pressão trans-cutânea de oxigênio (COGGRAVE e ROSE, 2003; WANG e VADGAMA, 2005).

4.5.5 Sub-função permitir atividade funcional

Como já foi comentado nas seções anteriores, a distinção entre a estabilização postural e o movimento necessário à ação é feito pela alternância entre o bloqueio seletivo de determinadas articulações pela musculatura, e mobilização de outras. Em geral, durante a execução de atividades, a relação entre a estabilidade e a mobilidade de um determinado segmento é proporcional à ordem que ele ocupa na cadeia cinemática existente entre os segmentos estabilizadores (*estrutura*) que serve de referência com o meio circundante estático, e o órgão efetuator (*ferramenta operante*) que executa a ação propriamente dita. Como exemplo, na tarefa de apagar frutas em uma árvore, a mão é o órgão efetuator e deve apresentar a maior mobilidade. Essa mobilidade vai decrescendo à medida que se consideram os movimentos do pulso, do cotovelo, do ombro e da cintura escapular, e se constitui praticamente em estabilização pura nas articulações da coluna lombar e dos membros inferiores.

Como na sub-função anterior, a sub-função *permitir atividade funcional* envolve a determinação de *qual* movimento deve ocorrer, e *quando* esse movimento deve ocorrer, e isso está vinculado diretamente ao propósito da ação. Assim, a mobilidade dos segmentos do assento deve refletir o padrão de mobilidade dos segmentos do corpo durante a atividade funcional: enquanto a pelve deve permanecer tão firmemente estabilizada quanto possível, espera-se que os apoios promovidos pelo encosto do assento e pelo apoio de cabeça sejam mais móveis, o que pode significar uma maior facilidade para trocar freqüentemente a posição do assento – variando, por exemplo, o ângulo entre o encosto e a base, ou variando o *tilt* – ou também significar que o encosto apresenta ele próprio uma certa mobilidade, acompanhando a posição do tronco do usuário enquanto provê apoio de modo contínuo. Assim, o usuário poderia optar entre manter determinada posição travada, ou manter determinada posição com a possibilidade de uma margem dinâmica de movimento.

Um ramo do projeto de produto que tem criado inúmeras opções de regulação, com tamanho, peso e controlabilidade cada vez maiores, é o de suspensões para bicicletas. Dentre as regulagens existentes atualmente no mercado, podemos citar as seguintes:

- a) Curso: regula a posição inicial da suspensão, e a amplitude do deslocamento disponível para seu funcionamento;
- b) Pré-carga: regula a força necessária para iniciar o movimento da suspensão. Alguns modelos com molas pneumáticas permitem regular também a constante de elasticidade através da modificação da pressão em um cilindro de ar;
- c) Amortecimento: regula a força de resistência ao movimento da suspensão em função da velocidade desse movimento. Pode haver ajustes independentes para o amortecimento durante a compressão e durante o retorno;
- d) Linearidade da mola: regula a força aplicada pela mola com relação à posição da suspensão, podendo diminuir a taxa de variação da força no início do movimento para maior mobilidade, e aumentar essa taxa no final do curso para impedir que haja impacto;
- e) Linearidade do amortecimento: de forma semelhante, faz com que a viscosidade do amortecimento seja menor no início do curso, mas aumente no final. Vale notar que a força devido à mola está relacionada somente com a posição, enquanto a força devido ao amortecimento está relacionada à velocidade com que o deslocamento ocorre;
- f) Plataforma: válvula hidráulica que permite que a suspensão se movimente apenas se a força de compressão exceder um limite determinado pelo usuário, em geral maior do que a pré-carga, evitando perda de eficiência devido ao movimento desnecessário;
- g) Travamento: permite que o usuário bloqueie total ou parcialmente o movimento da suspensão.

Outro aspecto das suspensões de bicicleta é que os controles dessas regulagens vêm se tornando gradativamente mais acessíveis, integrados e de fácil utilização. Um exemplo desses acionadores pode ser visto na Figura 27.



Figura 27. Acionador integrado das regulagens de amortecimento do retorno, amortecimento da compressão e travamento de uma suspensão de bicicleta²⁰.

Essas regulagens poderiam ser aplicadas a sistemas de assento, aumentando muito a funcionalidade de seus usuários, especialmente quando haja limitação de atividade e participação devido à combinação da necessidade de suporte postural com a ausência de regulagens que permitam o reposicionamento freqüente ou contínuo de diferentes segmentos do assento, se possível sob o comando voluntário do usuário. No caso da impossibilidade do controle contínuo dos padrões de movimento, como acontece no exemplo das suspensões, as características do movimento podem ser previamente programadas pelo usuário, de modo a permitir que o comportamento dinâmico do sistema seja favorável à atividade realizada.

4.6 Considerações sobre as leis de evolução dos sistemas técnicos aplicadas aos sistemas de assento²¹

Um dos princípios fundamentais da TRIZ é a proposição de tendências recorrentes para a evolução de sistemas técnicos em praticamente todos os ramos tecnológicos. Dois postulados básicos determinam a maneira como essa evolução ocorre, e deles podem ser derivadas uma série de corolários e tendências de evolução.

²⁰ Fonte: http://reviews.mtbr.com/files/2007/08/img_4203.JPG, acesso em 06 jun 2009.

²¹ Todas as considerações deste sub-capítulo foram baseadas nos postulados e corolários conforme apresentados por Savransky (2000, pp. 95-108).

O primeiro postulado de evolução dos sistemas técnicos afirma que essa evolução ocorre invariavelmente na direção do aumento da idealidade, o que implica uma das seguintes condições com relação ao sistema antes da evolução:

- a) O novo sistema realiza mais funções desejáveis, e/ou as realiza de maneira mais eficiente;
- b) O novo sistema possui menos e menores propriedades indesejáveis;
- c) O novo sistema necessita de um menor número de funções auxiliares.

O segundo postulado afirma que, em um sistema técnico, cada um dos sub-sistemas tem seu próprio tempo representativo de evolução, o que implica que o desequilíbrio entre o estágio de evolução de dois ou mais sub-sistemas dá origem a contradições físicas ou técnicas que devem ser resolvidas para que o sistema possa evoluir.

Foram identificados diversos corolários que derivam dos postulados da direção e do tempo. Aqueles em que o autor conseguiu identificar alguma aplicabilidade para a sugestão de tendências de evolução dos sistemas de assento para cadeiras de rodas estão listados abaixo, com o respectivo exemplo:

- a) Multifuncionalidade: aumento do número de funções de um sistema através do acréscimo de sub-sistemas, como o aumento das funções de suporte e adaptabilidade através da adição de componentes, regulagens e controles adicionais;
- b) Agregação: aumento do número de funções por um mesmo sub-sistema, como por exemplo: ventilação, dissipação de calor, proteção do estofamento e melhora do aspecto estético, todos realizados pelo tecido de revestimento do assento; ou também o alívio temporário da pressão sob as tuberosidades isquiáticas e a possibilidade de urinar sem sair do assento, realizados por um sistema que permita remover temporariamente uma seção do assento sob a região pélvica;
- c) Minimização: diminuição das dimensões suficientes para o funcionamento do sistema, como no caso da redução do tamanho das almofadas de assento pela transformação de um formato retangular com base plana para um formato de base mais contornada, eliminando material de acolchoamento em locais onde ele não é necessário;

- d) Transição todo-parte: substituição de um sub-sistema por um material que possua as mesmas propriedades apresentadas por esse subsistema, como as espumas visco-elásticas, que apresentam as propriedades viscosas das inserções de gel, e também as propriedades de suporte das espumas resilientes; ou substituição de uma articulação ou grupo de articulações por um material flexível que apresente a mesma faixa de movimento;
- e) Modularização, padronização, tipificação: unificação das dimensões e dos padrões de inter-relacionamento entre os sub-sistemas (padronização), de modo a obter maior número de funções utilizando as muitas combinações possíveis de um pequeno número de componentes (modularização), ou de uma faixa ótima porém limitada de tamanhos disponíveis (tipificação), como no caso de diversas fábricas de cadeiras de rodas que comercializam cadeiras com dimensões personalizadas, montadas a partir da combinação de módulos que apresentam uma faixa padronizada de tamanhos definidos;
- f) Controlabilidade: necessidade de que a variabilidade existente no funcionamento normal de um sistema seja acompanhada por uma quantidade correspondente de controles. Assim, quanto mais graus de liberdade um sistema tiver, tanto maior o número necessário de controles, do contrário o funcionamento do sistema ficará indeterminado. Por outro lado, se o número de controles excede o de parâmetros, o sistema será redundante ou terá seu funcionamento comprometido. Como exemplo, se um usuário necessita de controle para o tronco e cabeça, deve haver um suporte para o tronco e outro para a cabeça, do contrário a posição desta ficará indeterminada. Num outro caso, se há a necessidade de movimentação do tronco, e o assento não oferece a possibilidade de controlar a posição do encosto, a função do sistema usuário-assento ficará prejudicada;
- g) Grau de dimensionalidade: tendência de aumento da idealidade devido ao aproveitamento de mais dimensões do sistema. No caso de assentos, o uso de couro dobrável (superfície) foi substituído pelo uso de espumas (volume); também, a distribuição das propriedades mecânicas do assento evoluiu de uma dimensão única (propriedades do material constantes ao longo da superfície de suporte) para bidimensional (propriedades do mate-

rial variam ao longo da superfície do assento, dependendo do local do corpo com o qual o assento fará contato) e então tridimensional (propriedades do material variam também de acordo com a profundidade do acolchoamento, ou são usadas várias camadas com materiais diferentes). Além disso, o uso da parte traseira dos componentes pode aumentar a funcionalidade do sistema, como no uso da parte traseira do assento para carregar objetos ou acomodar baterias elétricas e outros dispositivos;

- h) Adaptabilidade: transição de sub-sistemas fixos e rígidos para sistemas articulados, depois multi-articulados, e então flexíveis, como no caso do encosto dos assentos, inicialmente rígido, depois recebendo regulagens de *tilt* e *recline*, e agora tendendo a apresentar componentes dinâmicos;
- i) Diminuição do envolvimento humano: diminuição da necessidade de intervenção humana para aquelas funções que não exijam decisão, ou onde as decisões são rotineiras e seguem um padrão repetitivo. Um exemplo seria o reposicionamento automático de segmentos do corpo, efetuado pelo sistema de assento, de acordo com determinados padrões de movimentação da cabeça e dos olhos.

Com respeito especificamente à diminuição do envolvimento humano, a substituição da participação humana no funcionamento dos sistemas começou quando o homem deixou de ser a fonte de energia do trabalho e este passou a ser executado por animais e posteriormente máquinas. Assim, o primeiro passo é a criação de um sistema que apenas fornece a energia necessária à realização do trabalho (mecanização), em seguida realiza também tarefas secundárias de controle e suporte (automação), e por fim também se encarrega de funções de decisão e planejamento (computadorização).

Uma proposta preliminar para a estrutura operacional de sistema de assento considerando os corolários expostos encontra-se na Figura 28.

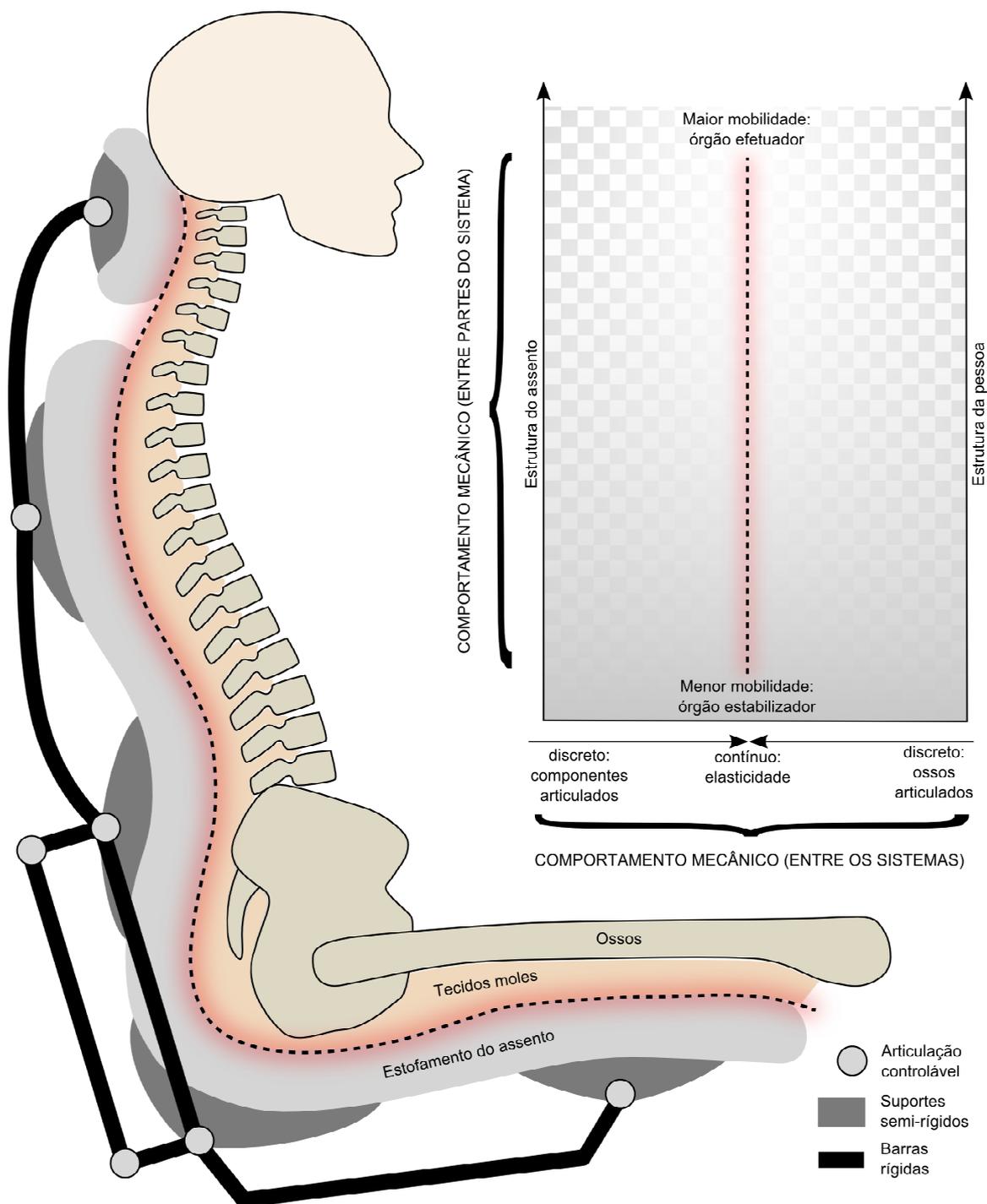


Figura 28. Esquema de estrutura operacional para o sistema de assento, que considera as tendências de minimização de material, aumento da dimensionalidade, aumento da adaptabilidade, e controlabilidade.

Na Figura 27, estão representados, de acordo com a interpretação do autor, alguns corolários da evolução dos sistemas técnicos já mencionados. A figura tem caráter esquemático, representando de forma qualitativa alguns princípios de solu-

ção. Embora esteja representado apenas o plano frontal, os princípios devem ser considerados de forma tridimensional. Apesar do caráter prescritivo do sistema apresentado na figura, essa configuração é apenas uma das configurações possíveis baseadas nas etapas anteriores de projeto, e sua implementação dependeria de uma série de considerações de manufacturabilidade que não foram feitas neste trabalho.

Nesse sistema, o acolchoamento, que exerce efeito mecânico local sobre os tecidos, apresenta continuidade das propriedades geométricas e mecânicas ao longo de toda a extensão da superfície de contato com o usuário. Isso se fundamenta no princípio de que os gradientes de compressão induzem deformação em cisalhamento nos tecidos moles, e que a continuidade das propriedades mecânicas e geométricas tende a minimizar esses gradientes. Já o comportamento mecânico global, referente ao posicionamento e à estabilização dos segmentos corporais, é feito através de uma estrutura articulada, cuja posição em cada momento do tempo é bem determinada pela variação angular de cada junta, ou pelo comprimento das barras.

A ligação entre o material de acolchoamento e a estrutura articulada se dá em alguns pontos, e nesses pontos há a presença de suportes semi-rígidos, cuja espessura é menor à medida que se afastam de sua inserção na estrutura articulada. Essa variação da espessura faz com que a mobilidade seja menor nas bordas, de acordo com o princípio da adaptabilidade, a fim de manter a estabilidade posicional do suporte, mas ao mesmo tempo acomodar variações geométricas do contorno do acolchoamento, decorrentes de variações da posição e dos movimentos do usuário, evitando a formação de picos de pressão sobre a pele.

A controlabilidade do sistema se baseia na presença de articulações controláveis, que podem funcionar de forma independente ou coordenada com outras articulações, de acordo com o acionamento pelo usuário, por um assistente, ou por um sistema elétrico ou eletrônico. No exemplo apresentado, há a possibilidade de movimentar a pelve de maneira independente de outros parâmetros (sistema não-acoplado), e também a possibilidade de determinar a posição da cabeça a partir de sucessivos ajustes na posição da pelve, do tronco e da própria cabeça (sistema desacoplado, onde a regulação é feita de forma seqüencial).

5 CONCLUSÕES

Este trabalho realizou uma análise sistemática dos aspectos conceituais do projeto de sistemas de assento para cadeiras de rodas através da integração do conhecimento científico interdisciplinar, gerando uma lista de requisitos, uma estrutura funcional e algumas propostas de princípios de solução.

Os requisitos identificados pela análise do problema de projeto se situam em quatro categorias principais: manutenção da integridade tecidual, adequação postural e posicionamento, promoção da atividade funcional e promoção do conforto. Essas quatro categorias mostraram-se afetadas negativamente pela *imobilidade*, que tem papel central na origem dos problemas dos usuários de cadeiras de rodas, e que deve ser o principal fator a ser minimizado ou eliminado por um sistema de assento para cadeiras de rodas.

A funcionalidade dos sistemas de assento, bem como de tecnologias assistivas em geral, mostrou-se vinculada à própria funcionalidade do ser humano que o utiliza, o qual apresenta uma hierarquia complexa de mecanismos de controle vinculados à manutenção da homeostase e à atividade motora – seja esta voluntária ou involuntária. Assim sendo, o sistema técnico só poderá cumprir sua função adequadamente caso sua funcionalidade esteja vinculada de forma cooperativa à funcionalidade da pessoa com deficiência, de forma a permitir que as funções ausentes ou perdidas sejam restabelecidas ou compensadas. Essa condição deve considerar o propósito aparente dos mecanismos de controle do ser humano, que é a manutenção da homeostase, à qual estão vinculados os conceitos de conforto, de atividade motora e de integridade tecidual, de acordo com o diagrama da Figura 29.

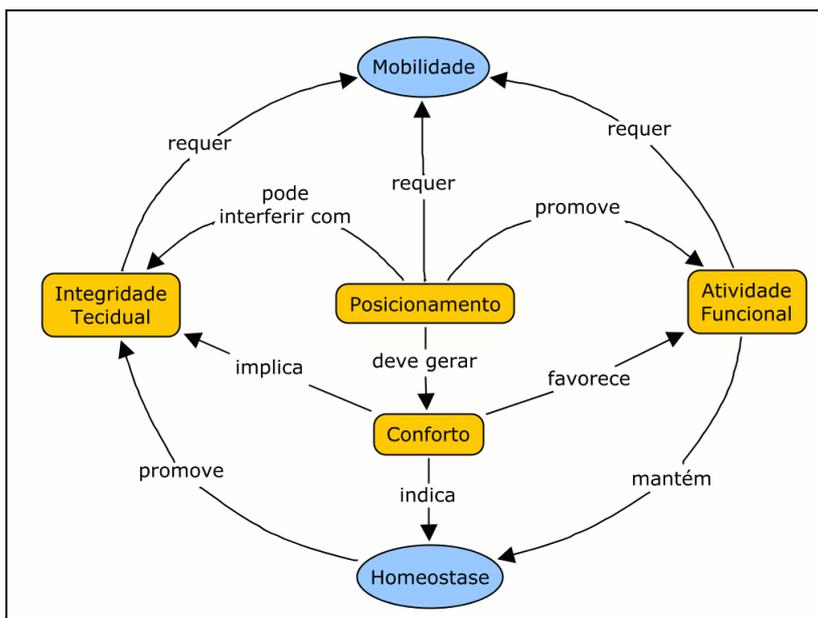


Figura 29. Mapa conceitual mostrando os relacionamentos entre os principais requisitos identificados (em laranja) e os conceitos de mobilidade e homeostase (em azul).

Um aspecto relevante da elaboração da lista de requisitos e da estrutura funcional foi a indicação formal da variação postural periódica, que deve ser permanentemente permitida, facilitada ou promovida pelo assento, já que está diretamente associada com a eliminação dos fatores de risco identificados. Isso contradiz a idéia de que a principal função de assentos para cadeiras de rodas é a manutenção de uma postura ideal, sugerindo que deva haver a alternância contínua e dinâmica entre um repertório de posições adequadas à funcionalidade individual e à variabilidade dos contextos de participação do usuário. Esse requisito implica a necessidade de fornecer ao sistema de assento uma quantidade suficiente de regulagens, que podem tanto ser usadas para pequenas correções da posição primária de estabilização da pele, por exemplo, quanto para fornecer apoio à atividade funcional através da modificação freqüente e contínua de posições e ângulos das articulações do assento.

Com relação à estruturação funcional, constatou-se que os fluxos principais de um sistema de assento são fluxos de informação, relacionados às funções do tipo *manter e/ou controlar*. Essas funções são caracterizadas por possuírem propriedades de monitoramento e estabilização de parâmetros fisiológicos e mecânicos do corpo humano, tais como deformação e fluxo sanguíneo dos tecidos, posicionamento de articulações, e adequação dos movimentos ou posições aos propósitos da ação motora. Em especial, quanto às pessoas que apresentam comprometimento da

sensibilidade ou da capacidade de reagir a estímulos nocivos, há indicação de que os fluxos de informação estejam presentes no sistema de assento, devendo desencadear medidas que promovam a neutralização dos estímulos nocivos – por exemplo, através da modificação da forma ou posição do assento.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

A continuação natural desta pesquisa envolve o desenvolvimento completo da estruturação operacional, com escolha de princípios funcionais para todas as funções, e encaminhamento ao projeto detalhado e à construção de protótipos, com subsequente aplicação e avaliação em situações reais de uso.

A melhora da qualidade do projeto de assento deve incluir também parâmetros relativos à manufacturabilidade e à arquitetura do produto. Uma das principais características da população de usuários com deficiência consiste na imensa variabilidade entre cada indivíduo, tornando complexa a determinação da faixa de tamanhos adequados, da melhor especificação de módulos, da viabilidade de integração funcional – com diminuição do número de componentes e simplificação do produto – e da possibilidade de customização em massa. A fim de responder a essas questões, seria necessário conhecer mais completamente o perfil estatístico da população de pessoas com deficiência, tarefa que por si só envolve um esforço considerável.

Do ponto de vista metodológico, o projeto de equipamentos de tecnologia assistiva seria beneficiado pela inclusão de funções biológicas nas bases funcionais, em especial funções de controle, bem como pela consideração de princípios de solução que envolvessem o funcionamento do corpo do usuário. Dentre as bibliotecas de funções pesquisadas, nenhuma faz menção direta a funções biológicas, mas estas apresentam importância fundamental na estruturação e representação funcional de dispositivos assistivos, bem como de outros equipamentos cujo funcionamento se baseia na integração direta com o ser humano.

Ainda não há muitos princípios de solução desenvolvidos para as funções de controle necessárias à atividade funcional, referentes à determinação da intenção e do propósito do movimento. No caso especial das pessoas com disfunção do tônus muscular ou incoordenação de movimentos, a separação entre movimento intencional ou movimento indesejável é fundamental para que sistemas de adequação postural possam bloquear seletivamente os movimentos desnecessários ou não intencionais.

Por fim, cabe lembrar novamente que o objetivo último das tecnologias assistivas é promover independência e autonomia aos seus usuários. Uma grande parte das pessoas que necessitam de cadeiras de rodas depende dos cuidados fornecidos por um familiar ou assistente, o qual cumpre as funções que elas próprias não conseguem cumprir. Se por um lado os avanços tecnológicos têm permitido uma crescente gama de funcionalidade aos dispositivos técnicos, por outro lado uma maior aceitação das necessidades de autonomia das pessoas com deficiência pode fazer com que se considere com mais interesse a incorporação ao assento de funções complexas, com uso de dispositivos computadorizados ou robóticos, materiais nanotecnológicos, e processos de fabricação sofisticados. Essa nova postura frente à função esperada para os dispositivos de tecnologia assistiva pode fazer com que os mesmos consigam atingir muito mais eficientemente os seus objetivos.

REFERÊNCIAS

- AISSAOUI, R.; KAUFFMANN, C.; DANSEREAU, J.; DE GUISE, J. A. *Analysis of pressure distribution at the body-seat interface in able-bodied and paraplegic subjects using a deformable active contour algorithm*. Medical Engineering & Physics, v. 23, n. 6, p. 359-367, 2001.
- ALTSHULLER, G. S. *Creativity as an Exact Science: The Theory of the Solution of Inventive Problems*. CRC Press, 319p., 1984.
- ALVARENGA, F.; DEDINI, F.; DIAS, A.; TRABASSO, L.; DE MESQUITA NETO, E.; JUNIOR, M. *Uma abordagem metodológica para o projeto de produtos inclusivos*. (2006). Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica - Departamento de Projeto Mecânico, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- AMSTERDAM, P. *Considerations in pediatric wheelchair assessments*. The Case Manager, v. 10, n. 5, p. 20, 1999.
- APATSIDIS, D. P.; SOLOMONIDIS, S. E.; MICHAEL, S. M. *Pressure distribution at the seating interface of custom-molded wheelchair seats: Effect of various materials*. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, v. 83, n. 8, p. 1151-1156, 2002.
- ARENS, E.; ZHANG, H.; HUIZENGA, C. *Partial- and whole-body thermal sensation and comfort--Part II: Non-uniform environmental conditions*. Journal of Thermal Biology, v. 31, n. 1-2, p. 60-66, 2006.
- ASHRAE. *Thermal Comfort*. Fundamentals Handbook: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 1997. Cap.8.
- BADER, D.; WANG, Y.-N.; KNIGHT, S.; POLLIACK, A.; JAMES, T.; TAYLOR, R. *Biochemical Status of Soft Tissues Subjected to Sustained Pressure*. Pressure Ulcer Research, 2005. p. 109-127.
- BASS, M. J.; PHILLIPS, L. G. *Pressure Sores*. Current Problems in Surgery, v. 44, n. 2, p. 101-143, 2007.
- BONNET, J.-C. *Towards a formal representation of device functionality*. Technical Report, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University, v., n. 92 - 54, p. 10-27, 1992.
- BOSBOOM, E. M. H.; BOUTEN, C. V. C.; OOMENS, C. W. J.; VAN STRAATEN, H. W. M.; BAAIJENS, F. P. T.; KUIPERS, H. *Quantification and localisation of damage in rat muscles after controlled loading; a new approach to study the aetiology of pressure sores*. Medical Engineering & Physics, v. 23, n. 3, p. 195-200, 2001.
- BOUTEN, C.; OOMENS, C.; COLIN, D.; BADER, D. *The Aetiopathology of Pressure Ulcers: A Hierarchical Approach*. In: Springer-Verlag (Ed.). Pressure Ulcer Research. Berlin, 2005. p. 1-9.

BOUTEN, C. V.; OOMENS, C. W.; BAAIJENS, F. P.; BADER, D. L. *The etiology of pressure ulcers: Skin deep or muscle bound?* Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, v. 84, n. 4, p. 616-619, 2003.

BRASIL. IBGE. Censo Demográfico

2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/20122002censo.shtm>> Acesso em: 02 de outubro de 2007.

_____. *Ata III - Reunião do Comitê de Ajudas Técnicas - CAT*. Comitê de Ajudas Técnicas, CORDE/SEDH/PR, 2007. Disponível em:

<<http://www.mj.gov.br/corde/arquivos/doc/Ata%20III%2019%20e%2020%20abril2007.doc>> Acesso em: 03 jun 2009.

BRIENZA, D. M.; CHEN-TSE, L.; KARG, P. E. *A method for custom-contoured cushion design using interface pressure measurements*. Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on, v. 7, n. 1, p. 99-108, 1999.

BRIENZA, D. M.; CHUNG, K. C.; BRUBAKER, C. E.; WANG, J.; KANG, T. E.; LIN, C. T. *A system for the analysis of seat support surfaces using surface shape control and simultaneous measurement of applied pressures*. Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on, v. 4, n. 2, p. 103-113, 1996.

BRIENZA, D. M.; GEYER, M. J.; KARG, P.; JAN, Y. K. *State of the Science White Paper on Tissue Integrity Management*. Wheelchair Seating, v., 2001.

BRIENZA, D. M.; KARG, P. E. *Seat cushion optimization: A comparison of interface pressure and tissue stiffness characteristics for spinal cord injured and elderly patients*. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, v. 79, n. 4, p. 388-394, 1998.

BRIENZA, D. M.; KARG, P. E.; BRUBAKER, C. E. *Seat cushion design for elderly wheelchair users based on minimization of soft tissue deformation using stiffness and pressure measurements*. Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on, v. 4, n. 4, p. 320-327, 1996.

BROUGHTON, G.; DILABIO, M.; COOPER, D. *Custom Contoured Seating - The Next Step*. In: 17th International Seating Symposium, Orlando, USA. 2001.

BROWN, D. *Current Status in Dynamic Seating Components*. In: 17th International Seating Symposium, Orlando, USA. 2001.

BUCK, S. *Seating Assessment - Establishing Priorities in Long Term Care*. In: 22nd International Seating Symposium, Vancouver, Canada. 2006.

BULCAO, C. F.; FRANK, S. M.; RAJA, S. N.; TRAN, K. M.; GOLDSTEIN, D. S. *Relative contribution of core and skin temperatures to thermal comfort in humans*. Journal of Thermal Biology, v. 25, n. 1-2, p. 147-150, 2000.

CARLSON, J. M.; PAYETTE, M. J.; VERVENA, L. P. *Seating Orthosis Design for Prevention of Decubitus Ulcers*. Journal of Prosthetics & Orthotics, v. 7, n. 2, p. 51-60, 1995.

CEDAT. *DATUS: Diseño de Ayudas Técnicas Bajo Criterios de Usabilidad*. IBV, v., 2003.

CHANDRASEKARAN, B.; GOEL, A. K.; IWASAKI, Y. *Functional representation as design rationale*. Computer, v. 26, n. 1, p. 48-56, 1993.

COGGRAVE, M. J.; ROSE, L. S. *A specialist seating assessment clinic: changing pressure relief practice*. Spinal Cord, v. 41, n. 12, p. 692-695, 2003.

COLLIER, M.; MOORE, Z. *Etiology and Risk Factors*. In: Springer-Verlag (Ed.). Science and Practice of Pressure Ulcer Management. London, 2006. p. 27-36.

COOPER, D.; DILABIO, M.; GROUGHTON, G.; BROWN, D. *Dynamic Seating Components for the Reduction of Spastic Activity and Enhancement of Functioning*. In: 17th International Seating Symposium, Orlando, USA. 2001.

COOPER, R. A.; BONINGER, M. L.; SPAETH, D. M.; DING, D.; GUO, S.; KOONTZ, A. M.; FITZGERALD, S. G.; COOPER, R.; KELLEHER, A.; COLLINS, D. M. *Engineering Better Wheelchairs to Enhance Community Participation*. IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING, v. 14, n. 4, p. 438-438, 2006.

CORBET, B. *Custom Orthotic Seating: A Hot Technology Gets a Cold Shoulder from Medicare*. New Mobility, v. 8, n. 481997, p. 26-31.

DAHMUS, J. B.; GONZALEZ-ZUGASTI, J. P.; OTTO, K. N. *Modular product architecture*. Design Studies, v. 22, n. 5, p. 409-424, 2001.

DEALEY, C.; LINDHOLM, C. *Pressure Ulcer Classification*. Science and Practice of Pressure Ulcer Management, 2006. p. 37-41.

DICIANNO, B.; MARGARIA, E.; ARVA, J.; LIEBERMAN, J.; SCHMELER, M.; SOUZA, A. *RESNA position on the application of tilt, recline, and elevating legrests for wheelchairs*. Department of Rehabilitation Science and Technology - Continuing Education, SHRS • University of Pittsburgh, 2008. Disponível em: <www.rstce.pitt.edu/RSTCE_Resources/Resna_Position_on_Tilt_Recline_Elevat_Legrest.pdf> Acesso em: 13 jun 2009.

DING, D.; LEISTER, E.; COOPER, R. A.; COOPER, R.; KELLEHER, A.; FITZGERALD, S. G.; BONINGER, M. L. *Usage of tilt-in-space, recline, and elevation seating functions in natural environment of wheelchair users*. Journal of rehabilitation research and development, v. 45, n. 7, p. 973-973, 2008.

DONG, H. *Shifting Paradigms in Universal Design*. Universal Access in Human Computer Interaction. Coping with Diversity, 2007. p. 66-74.

EITZEN, I. *Pressure mapping in seating: a frequency analysis approach*. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, v. 85, n. 7, p. 1136-1140, 2004.

ENGSTRÖM, B. *Ergonomic Seating: A True Challenge*. Germany: Posturalis Books, 2002.

ETCHELL, L.; YELDING, D. *Inclusive Design: products for all consumers*. Consumer Policy Review, v. 14, n. 6, p. 186-193, 2004.

EUSTAT. *Critical Factors Involved in End-Users' Education in Relation to Assistive Technology*. European Commission, Deliverable D03.2. DGXIII - Telematics Application Programme, 1998. Disponível em:
<<http://www.siva.it/research/eustat/index.html>> Acesso em: 10 de abril 2008.

FIELDS, B. *Bridging Usability and Aesthetic Design of Wheelchairs*. Usability Interface - STC Usability SIG Newsletter, v. 9, n. 4, 2003. Disponível em:
<<http://www.stcsig.org/usability/newsletter/0304-wheelchairs.html>> Acesso em: 08 jun 2009.

FLETCHER, J. *Equipment Selection*. In: Springer-Verlag (Ed.). Science and Practice of Pressure Ulcer Management. Berlin, 2006. p. 59-65.

GALVÃO, C. *Análise crítica dos produtos de mobilidade sentada - cadeiras de rodas - utilizados por crianças e adolescentes com paralisia cerebral em Natal/RN e outros municípios do Rio Grande do Norte*. (2006). Dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia - Programa de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, 2006. Disponível em:<http://bdtd.bczm.ufrn.br/tesdesimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=482>. Acesso: 09 jun 2009.

GEFEN, A.; CORNELISSEN, L. H.; GAWLITTA, D.; BADER, D. L.; OOMENS, C. W. J. *The free diffusion of macromolecules in tissue-engineered skeletal muscle subjected to large compression strains*. Journal of Biomechanics, v. 41, n. 4, p. 845-853, 2008a.

GEFEN, A.; VAN NIEROP, B.; BADER, D. L.; OOMENS, C. W. *Strain-time cell-death threshold for skeletal muscle in a tissue-engineered model system for deep tissue injury*. Journal of Biomechanics, v. 41, n. 9, p. 2003-2012, 2008b.

GRANDJEAN, E.; KROEMER, K. H. E. *Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem*. Porto Alegre: Bookman, 1998.

GRUJICIC, M.; PANDURANGAN, B.; ARAKERE, G.; BELL, W. C.; HE, T.; XIE, X. *Seat-cushion and soft-tissue material modeling and a finite element investigation of the seating comfort for passenger-vehicle occupants*. Materials & Design, v. doi: 10.1016/j.matdes.2009.04.028, 2009.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. *Textbook of Medical Physiology*. Philadelphia: WB Saunders, 2006.

HAMADA, S.; TORII, M.; SZYGULA, Z.; ADACHI, K. *Effect of partial body cooling on thermophysiological responses during cycling work in a hot environment*. Journal of Thermal Biology, v. 31, n. 1-2, p. 194-207, 2006.

HENDRIKS, F. M.; BROKKEN, D.; OOMENS, C. W. J.; BADER, D. L.; BAAIJENS, F. P. T. *The relative contributions of different skin layers to the mechanical behavior of human skin in vivo using suction experiments*. Medical Engineering & Physics, v. 28, n. 3, p. 259-266, 2006.

HETZEL, T. *Understanding and Caring for the Posterior and Anterior Pelvic Tilt*, Vancouver, Canada. 2006.

HIRTZ, J.; STONE, R.; MCADAMS, D.; SZYKMAN, S.; WOOD, K. *A functional basis for engineering design: Reconciling and evolving previous efforts*. Research in Engineering Design, v. 13, n. 2, p. 65-82, 2002.

HOBSON, D.; CRANE, B. *State of the Science White Paper on Wheelchair Seating for Comfort*. Wheelchair Seating, v., 2001.

HOLMES, K. J.; MICHAEL, S. M.; THORPE, S. L.; SOLOMONIDIS, S. E. *Management of scoliosis with special seating for the non-ambulant spastic cerebral palsy population--a biomechanical study*. Clinical Biomechanics, v. 18, n. 6, p. 480-487, 2003.

HUIZENGA, C.; ZHANG, H.; ARENS, E.; WANG, D. *Skin and core temperature response to partial- and whole-body heating and cooling*. Journal of Thermal Biology, v. 29, n. 7-8, p. 549-558, 2004.

ISO. *Norma 7730 - Moderate Thermal Environments: Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*. International Standards Organization, 1995.

IVANOV, K. P. *Subject of temperature control and the main function of thermoregulation of an organism*. Journal of Thermal Biology, v. 24, n. 5-6, p. 415-421, 1999.

_____. *The development of the concepts of homeothermy and thermoregulation*. Journal of Thermal Biology, v. 31, n. 1-2, p. 24-29, 2006.

JIAO, J.; SIMPSON, T.; SIDDIQUE, Z. *Product family design and platform-based product development: a state-of-the-art review*. Journal of Intelligent Manufacturing, v. 18, n. 1, p. 5-29, 2007.

KANGAS, K. *Seating for Task Performance*. In: 18th International Seating Symposium, Orlando, USA. 2002.

_____. *Sensory Systems and Seating for Function*. In: 21st International Seating Symposium, Orlando, USA. 2005.

KEUNEKE, A. M. *Device representation-the significance of functional knowledge*. IEEE Expert, v. 6, n. 2, p. 22-25, 1991.

KING, T. W. *Assistive Technology: Essential Human Factors*. Allyn & Bacon, 350p., 1999.

KINTSCH, A.; DEPAULA, R. *A framework for the adoption of assistive technology*. SWAAAC 2002: Supporting Learning Through Assistive Technology, v. 3, p. 1-10, 2002.

KNOX, D.; ANDERSON, T.; ANDERSON, P. *Effects of different turn intervals on skin of healthy older adults*. *Advances in Wound Care*, v. 7, n. 1, p. 48, 1994.

KOLICH, M. *Automobile seat comfort: occupant preferences vs. anthropometric accommodation*. *Applied Ergonomics*, v. 34, n. 2, p. 177-184, 2003.

_____. *A conceptual framework proposed to formalize the scientific investigation of automobile seat comfort*. *Applied Ergonomics*, v. 39, n. 1, p. 15-27, 2008.

KORZENIEWSKI, B. *Cybernetic Formulation of the Definition of Life*. *Journal of Theoretical Biology*, v. 209, n. 3, p. 275-286, 2001.

KREUTZ, D. *Power tilt, recline or both*. *Team Rehab Report*, v., p. 29-32, 1997.

KWON, A.; KATO, M.; KAWAMURA, H.; YANAI, Y.; TOKURA, H. *Physiological significance of hydrophilic and hydrophobic textile materials during intermittent exercise in humans under the influence of warm ambient temperature with and without wind*. *European Journal of Applied Physiology*, v. 78, n. 6, p. 487-493, 1998.

LEVI, B.; REES, R. *Diagnosis and Management of Pressure Ulcers*. *Clinics in Plastic Surgery*, v. 34, n. 4, p. 735-748, 2007.

LEVINE, S. P.; KETT, R. L. *Tissue shape and deformation as a characterization of the seating interface*. In: *Engineering in Medicine and Biology Society, 1989. Images of the Twenty-First Century., Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in*. 1989. p.851-852 vol.3-851-852 vol.3.

LIM, D.; LIN, F.; HENDRIX, R.; MORAN, B.; FASANATI, C.; MAKHSOUS, M. *Evaluation of a new sitting concept designed for prevention of pressure ulcer on the buttock using finite element analysis*. *Medical and Biological Engineering and Computing*, v. 45, n. 11, p. 1079-1084, 2007.

LIN, F.; MORAN, B.; BANKARD, J.; HENDRIX, R.; MAKHSOUS, M. *FEM model for evaluating buttock tissue response under sitting load*. In: *Engineering in Medicine and Biology Society, 2004. IEMBS '04. 26th Annual International Conference of the IEEE*. 2004. p.5088-5091 Vol.7-5088-5091 Vol.7.

LINDER-GANZ, E.; SHABSHIN, N.; ITZCHAK, Y.; GEFEN, A. *Assessment of mechanical conditions in sub-dermal tissues during sitting: A combined experimental-MRI and finite element approach*. *Journal of Biomechanics*, v. 40, n. 7, p. 1443-1454, 2007.

- LINDER-GANZ, E.; SHABSHIN, N.; ITZCHAK, Y.; YIZHAR, Z.; SIEV-NER, I.; GEFEN, A. *Strains and stresses in sub-dermal tissues of the buttocks are greater in paraplegics than in healthy during sitting*. Journal of Biomechanics, v. 41, n. 3, p. 567-580, 2008.
- LOTT, D. J.; ZOU, D.; MUELLER, M. J. *Pressure gradient and subsurface shear stress on the neuropathic forefoot*. Clinical Biomechanics, v. 23, n. 3, p. 342-348, 2008.
- LUEDER, R. *Ergonomics of seating: case for & against movement for its own sake*. Humanics Ergonomics - Ergonomics consultants, 2002. Disponível em: <<http://www.humanics-es.com/movement-ergonomics.htm#ergonomicsitting>> Acesso em: 13 jun 2009.
- LUEDER, R. K. *Seat comfort: a review of the construct in the office environment*. Human Factors, v. 25, n. 6, p. 701-711, 1983.
- LYDER, C. H. *Assessing Risk and Preventing Pressure Ulcers in Patients With Cancer*. Seminars in Oncology Nursing, v. 22, n. 3, p. 178-184, 2006.
- MAKHSOUS, M.; DOHYUNG, L.; HENDRIX, R.; BANKARD, J.; RYMER, W. Z.; FANG, L. *Finite Element Analysis for Evaluation of Pressure Ulcer on the Buttock: Development and Validation*. Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on, v. 15, n. 4, p. 517-525, 2007a.
- MAKHSOUS, M.; ROWLES, D. M.; RYMER, W. Z.; BANKARD, J.; NAM, E. K.; CHEN, D.; LIN, F. *Periodically Relieving Ischial Sitting Load to Decrease the Risk of Pressure Ulcers*. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, v. 88, n. 7, p. 862-870, 2007b.
- MALMQVIST, J.; AXELSSON, R.; JOHANSSON, M. *A Comparative Analysis of the Theory of Inventive Problem Solving and the Systematic Approach of Pahl and Beitz*. In: ASME Design Engineering Technical Conferences. 1996.
- MASSION, J. *Postural Control Systems in Developmental Perspective*. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, v. 22, n. 4, p. 465-472, 1998.
- MAY, L. A.; BUTT, C.; KOLBINSON, K.; MINOR, L.; TULLOCH, K. *Wheelchair back-support options: functional outcomes for persons with recent spinal cord injury*. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, v. 85, n. 7, p. 1146-1150, 2004.
- MCCLLENAGHAN, B. A.; THOMBS, L.; MILNER, M. *Effects of seat-surface inclination on postural stability and function of the upper extremities of children with cerebral palsy*. Dev Med Child Neurol, v. 34, n. 1, p. 48, 40-48, 40, 1992.
- MEHTA, C. R.; TEWARI, V. K. *Seating discomfort for tractor operators - a critical review*. International Journal of Industrial Ergonomics, v. 25, n. 6, p. 661-674, 2000.
- MILLER, A. F. *Durable Medical Equipment*. Physical Therapy of Cerebral Palsy, 2007. p. 137-205.

MONETTE, M.; WEISS-LAMBROU, R.; DANSEREAU, J. *In search of a better understanding of wheelchair sitting comfort and discomfort*. In: Proceedings of the RESNA'99 Annual Conference: Spotlight on Technology: June 25-29, 1999, Long Beach Convention & Entertainment Center, Long Beach, California. RESNA Press, 1999.

MORALES, J. *The Definition of Life*. The Psychozoan: a Journal of Culture, 1998. Disponível em: <<http://baharna.com/philos/life.htm>>. Acesso em: 24 jun 2009.

NORTON, L.; SWAINE, J. *Managing Pressure - Three Choices Now*. In: 22nd International Seating Symposium, Vancouver, Canada. 2006. p.218-21.

OLIVER, M. B. A. *The Individual and Social Models of Disability*. In: Joint Workshop of the Living Options Group and the Research Unit of the Royal College of Physicians, 23 de julho de 1990, London. 1990.

OMS. *Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde*. Organização Mundial da Saúde, 2003. Disponível em: <www.cepde.rj.gov.br/cif.doc> Acesso em: 02 jun 2009.

ONU. *Some Facts about Persons with Disabilities*. United Nations, New York, p.14–25, 2006. Disponível em: <<http://www.un.org/disabilities/convention/pdfs/factsheet.pdf>> Acesso em: 1º de junho de 2009.

_____. *Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência*. Organização das Nações Unidas. CORDE/SEDH, 2007. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=424&Itemid=>> Acesso em: 06 jul 2009.

OOMENS, C. W. J.; BRESSERS, O. F. J. T.; BOSBOOM, E. M. H.; BOUTEN, C. V. C.; BADER, D. L. *Can Loaded Interface Characteristics Influence Strain Distributions in Muscle Adjacent to Bony Prominences?* Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, v. 6, n. 3, p. 171 - 180-171 - 180, 2008.

PADGITT, J.; HETZEL, T. *Seating - The Next Generation*. In: 21st International Seating Symposium, Orlando, USA. 2005. p.99-100.

PAHL, G.; BEITZ, W. *Engineering Design: A Systematic Approach*. 3. ed. London: Springer-Verlag, 2007.

PARISH, L. C.; WITKOWSKI, J. A. *Controversies about the decubitus ulcer*. Dermatologic Clinics, v. 22, n. 1, p. 87-91, 2004.

PEISCHL, D.; KOCZUR, L.; STRINE, C. *Seating Systems*. In: Springer New York (Ed.). Physical Therapy of Cerebral Palsy, 2007. p. 361-368.

POPE, M.; GOH, K.; MAGNUSSON, M. *Spine Ergonomics*. Annual review of biomedical engineering, v. 4, n. 1, p. 49-68, 2002.

RAGAN, R.; KERNOZEK, T. W.; BIDAR, M.; MATHESON, J. W. *Seat-interface pressures on various thicknesses of foam wheelchair cushions: A finite modeling approach*. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, v. 83, n. 6, p. 872-875, 2002.

READ, T. *Positioning for the Long Haul*. In: 21st International Seating Symposium, Orlando, USA. 2005. p.99-100.

REDDY, N. P.; PATEL, H.; COCHRAN, G. V. B.; BRUNSKI, J. B. *Model experiments to study the stress distributions in a seated buttock*. Journal of Biomechanics, v. 15, n. 7, p. 493-504, 1982.

ROSENTHAL, M. J.; FELTON, R. M.; HILEMAN, D. L.; LEE, M.; FRIEDMAN, M.; NAVACH, J. H. *A wheelchair cushion designed to redistribute sites of sitting pressure*. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, v. 77, n. 3, p. 278-282, 1996.

ROSENTHAL, M. J.; FELTON, R. M.; NASTASI, A. E.; NALIBOFF, B. D.; HARKER, J.; NAVACH, J. H. *Healing of advanced pressure ulcers by a generic total contact seat: 2 randomized comparisons with low air loss bed treatments*. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, v. 84, n. 12, p. 1733-1742, 2003.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.; AMARAL, D.; DE TOLEDO, J.; DA SILVA, S.; ALLIPRANDINI, D.; SCALICE, R. *Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo*. São Paulo: Saraiva, 542p., 2006.

SAVRANSKY, S. *Engineering of creativity: Introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving*. Boca Raton, Florida: CRC Press, 394p., 2000.

SAWATZKY, B. *Wheeling in the New Millennium: The history of the wheelchair and the driving forces in wheelchair design today*. Department of Rehabilitation Science and Technology, University of Pittsburgh, 2002. Disponível em: <http://www.wheelchairnet.org/WCN_WCU/SlideLectures/Sawatzky/WC_history.html> Acesso em: 08 jun 2009.

SCHMELER, M.; BUNING, M. E. *Strategies for Documenting the Need for Assistive Technology*. Department of Rehabilitation Science and Technology, University of Pittsburgh, 1999. Disponível em: <http://www.wheelchairnet.org/wcn_wcu/SlideLectures/MS/8Documentation.pdf> Acesso em: 08 jun 2009.

SHEN, W.; PARSONS, K. C. *Validity and reliability of rating scales for seated pressure discomfort*. International Journal of Industrial Ergonomics, v. 20, n. 6, p. 441-461, 1997.

SHEN, W.; VERTIZ, A. *Redefining Seat Comfort*. SAE Transactions, Journal of Passenger Cars, v. 6, n. 1, p. 1066-73, 1997.

SILVA, F. P.; BATISTA, V. J.; KINDLEIN JUNIOR, W.; MORAES, H. S.; BERSCH, R. C. R. *Fabricação de assentos personalizados via modelagem em gesso, digitaliza-*

ção 3D e usinagem CNC. In: Anais do V Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação - COBEF2009, Belo Horizonte, MG. 2009.

SMITH, M. *A comprehensive review of risk factors related to the development of pressure ulcers*. Journal of Orthopaedic Nursing, v. 7, n. 2, p. 94-102, 2003.

STEKELBURG, A.; GAWLITTA, D.; BADER, D. L.; OOMENS, C. W. *Deep Tissue Injury: How Deep is Our Understanding?* Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, v. 89, n. 7, p. 1410-1413, 2008.

STEKELBURG, A.; OOMENS, C.; BADER, D. *Compression-Induced Tissue Damage: Animal Models*. Pressure Ulcer Research, 2005. p. 187-204.

STOCKTON, L.; RITHALIA, S. *Is dynamic seating a modality worth considering in the prevention of pressure ulcers?* Journal of Tissue Viability, v. 17, n. 1, p. 15-21, 2008.

_____. *Pressure-reducing cushions: Perceptions of comfort from the wheelchair users' perspective using interface pressure, temperature and humidity measurements*. Journal of Tissue Viability, v. 18, n. 2, p. 28-35, 2009.

STONE, R. B.; WOOD, K. L. *Development of a Functional Basis for Design*. Journal of Mechanical Design, v. 122, n. 4, p. 359-370, 2000.

STONE, R. B.; WOOD, K. L.; CRAWFORD, R. H. *A heuristic method for identifying modules for product architectures*. Design Studies, v. 21, n. 1, p. 5-31, 2000.

SUH, N. P. *The Principles of Design*. New York, USA: Oxford University Press, 1990.

_____. *Axiomatic Design Theory for Systems*. Research in Engineering Design, v. 10, n. 4, p. 189-209, 1998.

SWAIN, I. *The Measurement of Interface Pressure*. In: Springer-Verlag (Ed.). Pressure Ulcer Research. Berlin, 2005. p. 51-71.

SY, C. P. L.; TAM, E. W. C. *Fabrication of custom contour cushion using pressure mapping method: a preliminary study*. In: Engineering in Medicine and Biology Society, 2000. Proceedings of the 22nd Annual International Conference of the IEEE. 2000. p.2256-2258 vol.3-2256-2258 vol.3.

TAN, C. F.; CHEN, W.; DELBRESSINE, F.; RAUTERBERG, M. *Objecifying Discomfort Seat Measurement for Next Generation Truck Driver's Seat*. FISITA World Automotive Congress - International Federation of Automotive Engineering Societies, 2008. Disponível em:
<<http://www.fisita.com/students/congress/sc08papers/f2008sc028.pdf>> Acesso em: 13 jun 2009.

TANIMOTO, Y.; TAKECHI, H.; YAMAMOTO, H. *Supporting system for prevention of pressure sores*. In: Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2000. IMTC 2000. Proceedings of the 17th IEEE. 2000. p.970-975 vol.2-970-975 vol.2.

TANIMOTO, Y.; TOKUHIRO, A.; TAKECHI, H.; YAMAMOTO, H. *Measurement of SCI patient's buttock pressure on wheelchair and bed*. In: Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, International Workshop on, 2001. 2001. p.44-48.

TETRINNO. Smartex Project, 2007. Disponível em:
<www.mateo.ntc.zcu.cz/doc/State.doc> Acesso em: 02 jul 2007.

THEAKER, C. *Pressure sore prevention in the critically ill: what you don't know, what you should know and why it's important*. Intensive and Critical Care Nursing, v. 19, n. 3, p. 163-168, 2003.

TRAIL, I. A.; GALASKO, C. S. *The Matrix seating system*. Journal of Bone & Joint Surgery, British Volume, v. 72, n. 4, p. 666-669, 1990.

TREFFLER, E.; SCHMELER, M. *State of the Science White Paper on Sitting for Postural Control*. In: Wheelchair Seating: A State of the Science Conference on Seating Issues for Persons with Disabilities, February 19-20, Orlando, Florida. 2001.

TRIZ. In: Wikipedia, the free encyclopedia. Disponível em:
<<http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=TRIZ&oldid=297026060>> Acesso em: 18 jun 2009.

ULRICH, K.; EPPINGER, S. *Product Design and Development*. New York: McGraw-Hill Inc, 1995.

VAN DER WOUDE, L. H. V.; DE GROOT, S.; JANSSEN, T. W. J. *Manual wheelchairs: Research and innovation in rehabilitation, sports, daily life and health*. Medical Engineering & Physics, v. 28, n. 9, p. 905-915, 2006.

VAN GEFFEN, P.; MOLIER, B. I.; REENALDA, J.; VELTINK, P. H.; KOOPMAN, B. F. J. M. *Body segments decoupling in sitting: Control of body posture from automatic chair adjustments*. Journal of Biomechanics, v. 41, n. 16, p. 3419-3425, 2008a.

VAN GEFFEN, P.; REENALDA, J.; VELTINK, P. H.; KOOPMAN, B. F. J. M. *Effects of sagittal postural adjustments on seat reaction load*. Journal of Biomechanics, v. 41, n. 10, p. 2237-2245, 2008b.

VANDERWEE, K.; GRYPDONCK, M.; DEFLOOR, T. *Alternating pressure air mattresses as prevention for pressure ulcers: A literature review*. International Journal of Nursing Studies, v. 45, n. 5, p. 784-801, 2008.

VERGARA, M.; PAGE, Á. *Relationship between comfort and back posture and mobility in sitting-posture*. Applied Ergonomics, v. 33, n. 1, p. 1-8, 2002.

WANG, W.; VADGAMA, P. *Microelectrodes and Biocompatible Sensors for Skin pO₂ Measurements*. Pressure Ulcer Research, 2005. p. 337-352.

WANG, Y.-C.; LAKES, R. *Analytical parametric analysis of the contact problem of human buttocks and negative Poisson's ratio foam cushions*. International Journal of Solids and Structures, v. 39, n. 18, p. 4825-4838, 2002.

WANG, Y.-I.; SANDERS, J. *Skin Model Studies*. In: Springer-Verlag (Ed.). Pressure Ulcer Research. Berlin, 2005. p. 263-285.

WATSON, N.; WOODS, B. *The origins and early developments of special/adaptive wheelchair seating*. Social history of medicine, v. 18, n. 3, p. 459-474, 2005.

WHITTINGTON, K.; PATRICK, M.; ROBERTS, J. *A National Study of Pressure Ulcer Prevalence and Incidence in Acute Care Hospitals*. Journal of Wound, Ostomy and Continence Nursing, v. 27, n. 4, p. 209, 2000.

WOLF, E. J.; COOPER, M. S. R. A.; DIGIOVINE, C. P.; BONINGER, M. L.; GUO, S. *Using the absorbed power method to evaluate effectiveness of vibration absorption of selected seat cushions during manual wheelchair propulsion*. Medical Engineering & Physics, v. 26, n. 9, p. 799-806, 2004.

ZHANG, L. *Identifying Factors of Comfort and Discomfort in Sitting*. Human Factors, v. 38, n. 3, 1996.

ZOU, D.; MUELLER, M. J.; LOTT, D. J. *Effect of peak pressure and pressure gradient on subsurface shear stresses in the neuropathic foot*. Journal of Biomechanics, v. 40, n. 4, p. 883-890, 2007.

ANEXO A – 40 princípios para remoção de contradições técnicas

Fonte: Savranski (2000, pp. 204-219).

Principle 1. Segmentation (Fragmentation)

- A. Divide an object into independent parts.
- B. Make an object modular.
- C. Increase the degree of fragmentation or segmentation.

Principle 2. Removal/Extraction

- A. Separate (extract) an interfering part or property from an object, or single out the only necessary part (or property) of an object.

Principle 3. Local quality

- A. Change an object's structure from uniform (homogeneous) to nonuniform, change an external environment (or external influence) from uniform to nonuniform.
- B. Make each part of an object function in conditions most suitable for its operation.
- C. Make each part of an object fulfill a different and useful function.

Principle 4. Asymmetry

- A. Change the shape of an object from symmetrical to asymmetrical.
- B. If an object is asymmetrical, increase its degree of asymmetry.

Principle 5. Merging (Joining/Combining)

- A. Merge identical or similar objects, assemble identical or similar parts to perform parallel operations.
- B. Make operations contiguous or parallel; bring them together in time.

Principle 6. Universality

- A. Make a part or object perform multiple functions; eliminate the need for other parts.

Principle 7. Nested structures

- A. Place one object into another; place each object, in turn, inside the other.
- B. Make one part pass through a cavity of the other.

Principle 8. Anti-weight (Counterweight)

- A. To counter the weight of an object, merge it with other objects that provide lift.
- B. To compensate for the weight of an object, make it interact with the environment (e.g., use aerodynamic, hydrodynamic, buoyancy, and other forces).

Principle 9. Preliminary anti-action (counter-action)

- A. If it is necessary to do an action with both harmful and useful effects, this action should be replaced with anti-actions to control harmful effects.
- B. Create actions in an object that will later oppose known undesirable working actions.

Principle 10. Preliminary action

- A. Perform, before necessary, a required change of an object (either fully or partially). Carry out all or part of the required action in advance.
- B. Pre-arrange objects so that they can act from the most convenient place and without losing time for their delivery.

Principle 11. Beforehand cushioning (Cushion in advance)

- A. Prepare emergency means beforehand to compensate the relatively low reliability of an object.

Principle 12. Equipotentiality

- A. In a potential field, limit position changes (e.g., change operating conditions to eliminate the need to raise or lower objects in a gravity field).

Principle 13. Reverse ("The other way around")

- A. Invert the actions used to solve a problem (e.g., instead of cooling an object, heat it).
- B. Instead of an action dictated by the requirements, one implements the opposite action.
- C. Make movable parts or the external environment fixed, and fixed parts movable.
- D. Turn the object or process "upside down."

Principle 14. Spheroidality — Curved

- A. Instead of using rectilinear parts, surfaces, or forms, use curvilinear ones; move from flat surfaces to spherical, from parts shaped as a cube (parallelepiped) to ball-shaped structures.
- B. Use rollers, balls, spirals, domes.
- C. Go from linear to rotary motion, use centrifugal forces.

Principle 15. Dynamism

- A. Allow or design the characteristics of an object, external environment, or process to change to be optimal or to find an optimal operating condition.
- B. Divide an object into parts capable of movement relative to each other.
- C. If an object (or process) is rigid or inflexible, make it movable or adaptive.

Principle 16. Partial, satiated, or excessive actions

- A. If 100 percent of an object is hard to achieve using a given solution method, the problem may be considerably easier to solve by using "slightly less" or "slightly more" of the same method.

Principle 17. Another dimension

- A. Difficulties involved in moving or relocating an object along a line are removed if the object acquires the ability to move in two dimensions (along a plane). Accordingly, problems connected with movement or relocation of an object on one plane are removed by switching to a three-dimensional space.
- B. Use a multi-story arrangement of objects instead of a single-story arrangement. Use a multilayered assembly of objects instead of a single layer.
- C. Tilt or re-orient the object, lay it on its side.
- D. Use another side of a given area.
- E. Use optical lines falling onto neighboring areas or onto the reverse side of the area available.

Principle 18. Mechanical vibration

- A. Oscillate or vibrate an object.
- B. If oscillation exists, increase its frequency.
- C. Use an object's resonant frequency.
- D. Use piezoelectric vibrators instead of mechanical ones.
- E. Use combined ultrasonic and electromagnetic field oscillations.

Principle 19. Periodic action

- A. Instead of continuous action, use periodic or pulsating actions.
- B. If an action is already periodic, change the periodic magnitude or frequency.

Principle 20. Continuity of useful action (uninterrupted useful effect)

- A. Continue on actions; make all parts of an object perform UF and/or NF at full load, all the time.
- B. Eliminate all idle or intermittent actions.

Principle 21. Skipping (Rushing through)

- A. Conduct a process or certain stages (e.g., destructible, harmful, or hazardous operations) at high speed.

Principle 22. Convert harm into benefit

- A. Use harmful factors (particularly harmful effects of the environment or surroundings) to achieve a positive effect.
- B. Eliminate the primary harmful action by adding it to another harmful action to resolve the problem.
- C. Amplify a harmful factor to such a degree that it is no longer harmful.

Principle 23. Feedback

- A. Introduce feedback (referring back, cross-checking) to improve a process or action.
- B. If feedback is already used, change its magnitude or influence.

Principle 24. Intermediary

- A. Use an intermediary carrier article or intermediary process.
- B. Merge one object temporarily with another (which can be easily removed).

Principle 25. Self-service and self-organization

- A. Make an object serve itself by performing auxiliary helpful functions.
- B. The object should service/organize itself and carry out supplementary and repair operations.
- C. Use waste resources, energy, or substances.

Principle 26. Copying

- A. Instead of an unavailable, expensive, fragile object, use simpler and inexpensive copies.
- B. Replace an object or process with optical copies.
- C. If visible optical copies are already used, move to infra-red or ultraviolet copies.

Principle 27. Inexpensive short-lived objects

- A. Replace an expensive object with multiple inexpensive objects, comprising certain qualities (such as service life, for instance).

Principle 28. Mechanics substitution

- A. Replace a mechanical means with a sensory (optical, acoustic, taste, or olfactory) means.
- B. Use electric, magnetic, and electromagnetic fields to interact with the object.
- C. Change from static to movable fields, from unstructured fields to those having structure.
- D. Use fields in conjunction with field-activated particles (e.g., ferromagnetic).

Principle 29. Pneumatics and hydraulics

- A. Use gas and liquid parts of an object instead of solid parts (e.g., inflatable, filled with liquids, air cushion, hydrostatic, hydroreactive).
- B. Use the Archimedes forces to reduce the weight of an object.
- C. Use negative or atmosphere pressure.
- D. A spume or foam can be used as a combination of liquid and gas properties with a light weight.

Principle 30. Flexible shells and thin films

- A. Use flexible shells and thin films instead of three-dimensional structures.
- B. Isolate the object from the external environment using flexible shells and thin films.

Principle 31. Porous materials and membranes

- A. Make an object porous or add porous elements (inserts, coatings, etc.).
- B. If an object is already porous, use the pores to introduce a useful substance or function.

Principle 32. Color changes

- A. Change the color of an object or its external environment.

- B. Change the transparency of an object or its external environment.

- C. In order to observe objects or processes that are difficult to see, use colored additives. If such additives are already used, employ luminescence traces.

Principle 33. Homogeneity

- A. Make objects interacting with a given object of the same material (or material with identical properties).

Principle 34. Discarding and recovering

- A. Discard (by dissolving, evaporating, etc.) portions of an object that have fulfilled their functions or modify these directly during operation.
- B. Conversely, restore consumable parts of an object directly in operation.

Principle 35. Parameters and properties changes

- A. Change an object's physical aggregate state (e.g., to a gas, liquid, or solid).
- B. Change the concentration or consistency (see also Principle F below).
- C. Change the degree of flexibility (see also Principle 15).
- D. Change the temperature.
- E. Change other characteristics of a technique.

Principle 36. Phase transitions

- A. Use phenomena that occur during phase transitions (e.g., volume changes, loss or absorption of heat, etc.).*

Principle 37. Thermal expansion

- A. Use thermal expansion (or contraction) of materials.
- B. If thermal expansion is being used, use multiple materials with different coefficients of thermal expansion.

Principle 38. Strong oxidants

- A. Replace common air with oxygen-enriched air.
- B. Replace enriched air with pure oxygen.
- C. Expose air or oxygen to ionizing radiation.
- D. Use ionized oxygen.
- E. Replace ozonized (or ionized) oxygen with ozone.

Principle 39. Inert atmosphere

- A. Replace a normal environment with an inert one.
- B. Add neutral parts or inert additives to an object.

Principle 40. Composite materials

- A. Change from uniform to composite (multiple) materials.

ANEXO B – 39 Parâmetros elementares dos sistemas técnicos

Fonte: Savranski (2000, p. 200).

1. Weight of moving object	21. Power
2. Weight of binding object	22. Waste of energy
3. Length of moving object	23. Waste of substance
4. Length of binding object	24. Loss of information
5. Area of moving object	25. Waste of time
6. Area of binding object	26. Amount of substance
7. Volume of moving object	27. Reliability
8. Volume of binding object	28. Accuracy of measurement
9. Speed	29. Accuracy of manufacturing
10. Force	30. Harmful factors acting on object
11. Tension, pressure	31. Harmful side effects
12. Shape	32. Manufacturability
13. Stability of object	33. Convenience of use
14. Strength	34. Repairability
15. Durability of moving object	35. Adaptability
16. Durability of binding object	36. Complexity of a system
17. Temperature	37. Complexity of control
18. Brightness	38. Level of automation
19. Energy spent by moving object	39. Productivity
20. Energy spent by binding object	

ANEXO C – As 14 heurísticas de Glazunov para contradições físicas

Fonte: Savranski (2000, pp. 204-219)

1. Replace the key subsystem by two different subsystems, each of which has the value of the parameter presented in the formula of physical contradiction.
2. Replace the key subsystem with another more complex subsystem, different parts of which have different values of the parameter in the physical contradiction formula.
3. Replace the key subsystem by two identical subsystems, each of which has the value of the parameter presented in the physical contradiction formula.
4. Replace the key subsystem with another subsystem characterized by two parameters similar to the parameter that should have two nonequal values, each having one of two values of the parameter in the physical contradiction formula.
5. Change the conditions under which the key subsystem exists, so that its different parts have different values of the parameter in the physical contradiction formula.
6. Change the conditions under which the key subsystem exists, so that it is characterized by different values of the parameter in the physical contradiction formula at different stages of the technique's life.
7. Replace the key subsystem with another more dynamic (or in other words, less stable) subsystem, which is characterized by different values of the parameter in the physical contradiction formula at different stages of the technique's life.
8. Replace the key subsystem with another subsystem which experiences a conversion (for example, phase transformation) into a third subsystem, both characterized by a single unique value of the parameter in the physical contradiction formula.
9. Include the key subsystem into another large subsystem characterized by one value of the parameter in the physical contradiction formula, while the key subsystem itself is characterized by another value.
10. Replace the key subsystem with another subsystem which is characterized by the parameter similar to the initial value, but with such a value that can be considered "different" as it is necessary for the physical contradiction formula with respect to dissimilar external systems.
11. Change the conditions under which the key subsystem exists, so that it is transformed (for example, due to a phase transition) into another state that is characterized by the value of the parameter in the physical contradiction formula other than the value before transformation.
12. Change the conditions under which the key subsystem exists, so that one of its parts (e.g., an element or sub-subsystem) experiences transformations (for example, due to a phase transition) into another object characterized by one value of the parameter in the physical contradiction formula, while the remaining part of the key subsystem is characterized by another value.
13. Change the conditions under which the key subsystem exists, so that it is characterized by two different parameters similar to the key parameter, each having one of the values of the parameter in the physical contradiction formula.
14. Consider the key subsystem as a composite system characterized by one value of the parameter in the physical contradiction formula while one of its elements is characterized by another value.

ANEXO D – Base Funcional de acordo com Hirtz *et al.* (2002, PP. 76-81)

FLUXOS

- 1 Material**
 - 1.1 Humano
 - 1.2 Gás
 - 1.3 Líquido
 - 1.4 Sólido
 - 1.4.1 Objeto
 - 1.4.2 Particulado
 - 1.4.3 Compósito
 - 1.5 Plasma
 - 1.6 Mistura
- 2 Energia (esforço/fluxo)**
 - 2.1 Humana
 - 2.1.1 Força
 - 2.1.2 Velocidade
 - 2.2 Acústica
 - 2.2.1 Pressão
 - 2.2.2 Velocidade da partícula
 - 2.3 Biológica
 - 2.3.1 Pressão
 - 2.3.2 Fluxo volumétrico
 - 2.4 Química
 - 2.4.1 Afinidade
 - 2.4.2 Taxa de reação
 - 2.5 Elétrica
 - 2.5.1 Força eletromagnética
 - 2.5.2 Corrente
 - 2.6 Eletromagnética (esforço/fluxo)
 - 2.6.1 Óptica
 - 2.6.1.1 Intensidade
 - 2.6.1.2 Velocidade
 - 2.6.2 Solar
 - 2.6.2.1 Intensidade
 - 2.6.2.2 Velocidade
 - 2.7 Hidráulica
 - 2.7.1 Pressão
 - 2.7.2 Fluxo volumétrico
 - 2.8 Magnética
 - 2.8.1 Força magnética
 - 2.8.2 Taxa de fluxo magnética
 - 2.9 Mecânica (esforço/fluxo)
 - 2.9.1 Energia rotacional
 - 2.9.1.1 Torque
 - 2.9.1.2 Velocidade angular
 - 2.9.2 Energia translacional
 - 2.9.2.1 Força
 - 2.9.2.2 Velocidade linear
 - 2.10 Pneumática
 - 2.10.1 Pressão
 - 2.10.2 Fluxo de massa
 - 2.11 Radioativa (nuclear)
 - 2.11.1 Intensidade
 - 2.11.2 Taxa de decaimento
 - 2.12 Térmica
 - 2.12.1 Temperatura
 - 2.12.2 Fluxo térmico
- 3 Sinal**
 - 3.1 Estado
 - 3.1.1 Auditivo
 - 3.1.2 Olfatório
 - 3.1.3 Tátil
 - 3.1.4 Palatável
 - 3.1.5 Visual
 - 3.2 Controle
 - 3.2.1 Analógico
 - 3.2.2 Discreto

FUNÇÕES

- 1 Ramificar**
 - 1.1 Separar
 - 1.1.1 Dividir
 - 1.1.2 Extrair
 - 1.1.3 Remover
 - 1.2 Distribuir
- 2 Canalizar**
 - 2.1 Importar
 - 2.2 Exportar
 - 2.3 Transferir
 - 2.4 Guiar
 - 2.4.1 Traduzir
 - 2.4.2 Rotacionar
 - 2.4.3 Permitir grau de liberdade
- 3 Conectar**
 - 3.1 Acoplar
 - 3.1.1 Unir
 - 3.1.2 Vincular
 - 3.2 Misturar
- 4 Controlar Magnitude**
 - 4.1 Atuar
 - 4.2 Regular
 - 4.2.1 Aumentar
 - 4.2.2 Diminuir
 - 4.3 Modificar
 - 4.3.1 Ampliar
 - 4.3.2 Reduzir
 - 4.3.3 Conformar
 - 4.3.4 Condicionar
 - 4.4 Parar
 - 4.4.1 Prevenir
 - 4.4.2 Inibir
- 5 Converter (um fluxo em outro)**
- 6 Prover**
 - 6.1 Armazenar
 - 6.1.1 Conter
 - 6.1.2 Coletar
 - 6.2 Fornecer
- 7 Sinalizar**
 - 7.1 Sentir
 - 7.1.1 Detectar
 - 7.1.2 Medir
 - 7.2 Indicar
 - 7.2.1 Monitorar
 - 7.2.2 Mostrar
 - 7.3 Processar
- 8 Suportar**
 - 8.1 Estabilizar
 - 8.2 Fixar
 - 8.3 Posicionar

Este trabalho foi realizado com apoio do Programa de Fomento à Pós-Graduação da CAPES, através da Pró-Reitoria de Pós Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.