



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

**A influência do design na aplicação de forças manuais para  
abertura de embalagens plásticas de refrigerantes**

**Danilo Corrêa Silva**

**Bauru – 2012**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

**A influência do design na aplicação de forças manuais para  
abertura de embalagens plásticas de refrigerantes**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação – UNESP – Campus Bauru, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli

**Bauru – 2012**

Silva, Danilo Corrêa.

A influência do design na aplicação de forças manuais para abertura de embalagens plásticas de refrigerantes / Danilo Corrêa Silva, 2012  
105 f.

Orientador: Luis Carlos Paschoarelli

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2012

1. Design. 2. Ergonomia. 3. Design ergonômico. 4. Usabilidade. 5. Embalagens. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. II. Título.

# Ata de defesa



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação  
Campus Bauru



## ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE DANILO CORRÊA SILVA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN, DO(A) FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICACAO DE BAURU.

Aos 08 dias do mês de março do ano de 2012, às 14:00 horas, no(a) Sala dos Órgãos Colegiados da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. LUIS CARLOS PASCHOARELLI do(a) Departamento de Desenho Industrial / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicacao de Bauru, Prof. Dr. JOSÉ CARLOS PLÁCIDO DA SILVA do(a) Departamento de Desenho Industrial / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicacao de Bauru, Profa. Dra. MARIA LUCIA LEITE RIBEIRO OKIMOTO do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Universidade Federal do Parana, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a argüição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de DANILO CORRÊA SILVA, intitulado "A influência do design na aplicação de forças manuais para abertura de embalagens plásticas de refrigerantes.". Após a exposição, o discente foi argüido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

  
Prof. Dr. LUIS CARLOS PASCHOARELLI

  
Prof. Dr. JOSÉ CARLOS PLÁCIDO DA SILVA

  
Profa. Dra. MARIA LUCIA LEITE RIBEIRO OKIMOTO

## **Banca de avaliação**

Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli (orientador)  
PPGDesign - UNESP

Prof. Dr. Maria Lucia Leite Ribeiro Okimoto  
PPGDesign - UFPR

Prof. Dr. José Carlos Plácido da Silva  
PPGDesign - UNESP

Prof. Dr. Júlio Carlos de Souza van der Linden  
PPGDesign - UFRGS

Prof. Dr. João Eduardo Guarnetti dos Santos  
PPGDesign-UNESP

## Agradecimentos

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP

The Coca Cola Company – Brasil  
Representada por Spaipa S/A – Indústria Brasileira de Bebidas

Associação dos Aposentados e Pensionistas de Bauru e Região – SP  
Representada por Vivian

Vila Vicentina – Abrigo para velhos  
Representado por Rochelli e Luiz Minorello Neto

Aos voluntários, colegas e docentes que contribuíram para a conclusão desse estudo.



## **A influência do design na aplicação de forças manuais para abertura de embalagens plásticas de refrigerantes**

### **Resumo**

O design de interfaces manuais deve utilizar o conhecimento ergonômico relacionado às forças biomecânicas envolvidas na manipulação de objetos por indivíduos com características variadas, incluindo gênero e idade. Entre as interfaces mais comuns no dia-a-dia estão as embalagens, essenciais na conservação, transporte e venda da maioria dos produtos disponíveis no mercado. Deficiências no design dessas embalagens podem levar o usuário a ter dificuldades em realizar a abertura, e isso se aplica a muitas embalagens com tampas rosquedas, que representam um constrangimento aos usuários, principalmente aqueles com menores capacidades biomecânicas, como as mulheres ou os idosos. No Brasil, embalagens desta natureza são utilizadas para bebidas refrigerantes não alcoólicas, ou simplesmente refrigerantes, as quais são amplamente consumidas por indivíduos de diversas idades e ambos os gêneros. Este estudo teve como objetivo avaliar e analisar a influência do design na aplicação de forças manuais durante uma simulação de abertura de embalagens plásticas para refrigerante. Para isso foi realizada uma avaliação biomecânica (preensão de torque), em atividades simuladas com 180 indivíduos adultos brasileiros de diferentes gêneros e faixas etárias, utilizando cinco garrafas plásticas de diferentes formatos. Adicionalmente, foi coletada a percepção de dificuldade do usuário para cada embalagem analisada. Os resultados indicam que a faixa etária adulta (30-55 anos) tem maior capacidade de abertura em relação às demais (18-29 anos, jovens; e acima de 55 anos, idosos). Também foram notadas diferenças significativas entre gêneros e entre mão dominante e não dominante em todas as situações. Além disso, as capacidades biomecânicas desses grupos foram comparadas com a necessidade real de aplicação de forças para abertura das embalagens, permitindo estimar que grande parcela da população tenha de realizar grandes esforços para abrir esse tipo de embalagem.

**Palavras-chave:** ergonomia, design ergonômico, embalagem.

## **The influence of design in hand forces for opening plastic soft drink packaging**

### **Abstract**

The design of hand interfaces should use the ergonomic knowledge related to biomechanical forces involved in manipulation by individuals with different characteristics, including age and genders groups. Among the most common interfaces in the daily living are packagings, which are essential to conservation, transportation and sales of most products on the market. Deficiencies in the design of these packagings can lead users to have difficulties in opening, and this applies to many packagings with screw caps, which represent a constraint to users, especially to users with smaller biomechanics capacity, such as women or the elderly. In Brazil, this type of packaging are used for non-alcoholic soft drinks, or just soft drinks, which are widely consumed by individuals of various ages and both genders. This study aimed to evaluate and analyze the influence of design in the application of manual forces during the opening simulation of soft drinks plastic packagings. Hence, a biomechanical assessment was conducted (torque prehension), in simulated activities with 180 Brazilian adults of different genders and age groups, using five plastic bottles of different formats. Additionally, we collected the user's perception of difficulty for each packaging analyzed. The results indicate that the adult age group (30-55 years old) has greater capacity for opening in relation to others (18-29 years, refereed as young; and over 55 years, elderly). Also could be noted significant differences between genders and between dominant and non-dominant hand in all situations. Moreover, the biomechanical capabilities of these groups were compared to the real need for application of forces to open the packaging, allowing to estimate that a large proportion of the population that has to make great efforts to open this type of packaging.

**Keywords:** ergonomics, ergonomic design, packaging.

## Sumário

Resumo	1
Abstract	2
Sumário	3
Lista de Figuras	5
Lista de Tabelas	7
1 Introdução	8
2 Revisão Bibliográfica	10
2.1 Objeto de estudo	10
2.1.1 Fabricação das embalagens	11
2.1.2 Sistemas de fechamento	13
2.1.3 Demandas de mercado	16
2.2 O design ergonômico e a interface com as embalagens	17
2.3 Design Ergonômico: avaliação e análise de interfaces manuais	19
2.4 A preensão da mão humana	22
2.4.1 Biomecânica da mão humana	22
2.4.2 Padrões de preensão	25
2.4.3 As forças de preensão	28
2.4.4 A influência da lateralidade nas forças manuais	31
2.4.5 A influência da antropometria nas forças manuais	32
2.4.6 A influência do gênero nas forças manuais	33
2.4.7 A influência da idade nas forças manuais	35
2.4.8 A influência do design nas forças manuais	41
3 Objetivo	44
4 Materiais e Métodos	45
4.1 Equipamentos	45
4.1.1 Ensaio das embalagens	45
4.1.2 Coleta de dados com a amostra	47
4.2 Modelos de embalagens	50
4.2.1 Dispositivo de acoplamento	52
4.2.3 Considerações de uso	54
4.3 Ensaio das embalagens	56
4.4 Casuística	57
4.5 Considerações éticas	58
4.6 Coleta de dados	58
4.7 Análises dos Dados	60

	4
5 Resultados	62
5.1 Ensaio das embalagens	62
5.2 Características fisiológicas dos sujeitos	62
5.3 Relatos dos sujeitos	63
5.4 Valores máximos de momentos de força	64
5.5 Percepção de dificuldade	71
5.6 Correlações com as dimensões das mãos	72
6 Discussão	74
7 Considerações Finais	77
8 Referências	81
Glossário	91
Apêndices	92
Apêndice A	92
Apêndice B	93
Apêndice C	94
Apêndice D	95
Apêndice E	96
Apêndice F	97
Apêndice G	98
Apêndice H	99
Anexos	100
Anexo A	100

## Lista de Figuras

Figura 01. A ânfora é uma embalagem primitiva notável. Adaptado de (TWEDE, 2002, p. 100).	8
Figura 02. Pré-formas para produção de garrafas PET. Adaptado de: Silva (2009, p. 37).	11
Figura 03. Partes de uma garrafa PET.	12
Figura 04. Tampa plástica comum utilizada em garrafas de refrigerantes.	13
Figura 05. Imagem de tampa exibindo os canais verticais de alívio de pressão (degasagem).	14
Figura 06. Tampa coroa metálica, utilizada em garrafas de vidro.	15
Figura 07. Tampa <i>roll on</i> de alumínio. Adaptado de CSI (2011a, p. 1).	15
Figura 08. Tampa <i>roll on</i> de plástico. Adaptado de CSI (2011b, p. 1).	16
Figura 09. Vista anterior da mão e antebraço exibindo os músculos responsáveis pelo ato preênsil. Adaptado de Tortora e Grabowski (2002, p. 320).	23
Figura 10. Situações de uso de preensão palmar (força – à esquerda) e digital (precisão – à direita).	26
Figura 11. Algumas atividades manuais com associação de preensão ao torque. Adaptado de Razza (2007, p. 52).	27
Figura 12. Diagrama de forças atuando sobre as tampas durante o processo de abertura (preensão pulpo-lateral entre polegar e indicador). Baseado em (YOXALL; JANSON, 2008).	28
Figura 13. Ilustração esquemática da distribuição da força total da mão por dedos ou falanges, segundo Kong e Lowe (2005).	29
Figura 14. Dispositivo para mensurar a força dos dedos. Adaptado de Shinohara et al. (2003a, p. 1362).	36
Figura 15. Dispositivos utilizados para avaliar momentos de força (A) e força de preensão (B). Adaptado de Shim et al. (2004, p. 214)	39
Figura 16. Modelos de pipetas avaliados. Fonte: Lu et al., (2008, p. 19).	42
Figura 17. Dinamômetro digital (AFG 500).	45
Figura 18. Transdutor de torque estático (STT).	46
Figura 19. Termômetro digital infravermelho.	46
Figura 20. Dispositivo utilizado na avaliação da força de torque para abertura das embalagens.	47
Figura 21. Diferentes modelos de embalagens avaliados no ensaio.	47
Figura 22. Escâner digital utilizado na biofotogrametria.	48
Figura 23. Computador portátil.	48
Figura 24. Transdutor móvel de torque (STS).	49

	6
Figura 25. Estrutura metálica.	49
Figura 26. Escala de percepção de dificuldade.	50
Figura 27. Modelos de embalagens PET selecionados.	50
Figura 28. Detalhamento técnico preliminar das embalagens selecionadas para o estudo.	51
Figura 29. Esquema do sistema de acoplamento do transdutor de torque (STS) às embalagens.	53
Figura 30. Sistema de encaixe rápido nas tampas das embalagens.	53
Figura 31. Sistema de encaixe dos modelos.	54
Figura 32. Resultados do questionário <i>online</i> associados às imagens apresentadas aos participantes. (valores em porcentagem).	55
Figura 33. Resultados do questionário <i>online</i> nos quesitos relativos à ocorrência de dificuldades e nível de dificuldade no processo de abertura de garrafas PET (valores em porcentagem).	56
Figura 34. Procedimentos do ensaio para determinar o momento de força necessário para abrir as embalagens.	57
Figura 35. Variáveis antropométricas levantadas no estudo.	59
Figura 36. À esquerda e ao centro, voluntários durante a coleta das forças de torque e, à direita, voluntário atribuindo valor à embalagem segundo a escala de percepção de dificuldade.	59
Figura 37. Coleta das dimensões das mãos dos voluntários.	60
Figura 38. Fluxograma com procedimentos de análise dos dados.	61
Figura 39. Números absolutos de sujeitos que relataram dificuldades em cada grupo, e principais estratégias adotadas no processo de abertura das embalagens.	63
Figura 40. Momentos de força e níveis descritivos (valores-p) para cada embalagem.	64
Figura 41. Momentos de força níveis descritivos (valores-p) entre a mão dominante (MD) e não dominante (MN) para cada modelo de embalagem.	65
Figura 42. Momentos de força e níveis descritivos entre gêneros Feminino (Fem) e Masculino (Mas).	66
Figura 43. Valores máximos de momentos de força para cada faixa etária em todas as embalagens.	66
Figura 44. Valores máximos de momentos de força exercidos pelos grupos em cada modelo.	67
Figura 45. Estimativas de parcelas da população que teriam dificuldades para abrir as embalagens de refrigerante, por grupo.	70
Figura 46. Nível de dificuldade e níveis descritivos (valores-p) para cada modelo de embalagem.	71
Figura 47. Nível de dificuldade percebida pelos grupos em cada modelo analisado.	72

## Lista de Tabelas

Tabela 01. Dados para caracterização da amostra.	62
Tabela 02. Valores-p (ANOVA 1 fator – pos hoc de Tukey / *Kruskal-Wallis) para cada faixa etária segundo o modelo de embalagem utilizado.	67
Tabela 03. Tabela de comparações estatísticas entre os momentos de força aplicados nos modelos de embalagens por grupo de usuários (N – Não significativo; S – Significativo).	69
Tabela 04. Correlações (R Pearson) entre as dimensões das mãos e o momento de força máximo.	73
Tabela 05. Correlações (R Spearman) entre dimensões das mãos e percepção de dificuldade.	73

## 1 INTRODUÇÃO

As embalagens datam de tempos remotos. Artefatos de cerâmica, couro ou palha já eram utilizados para transportar e acondicionar produtos há muitos séculos atrás (Figura 01). Porém isso era feito da maneira mais viável e dentro das possibilidades tecnológicas da época. Esse quadro foi se alterando a medida que foram encontrados ou desenvolvidos novos materiais e processos, para que as mesmas possuíssem maior resistência às condições ambientais que interferiam em seus conteúdos.

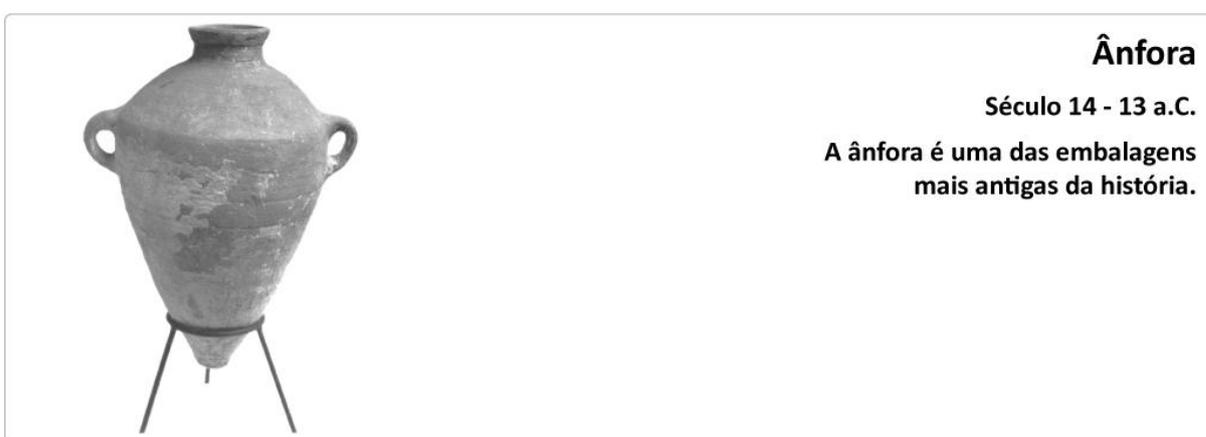


Figura 01. A ânfora é uma embalagem primitiva notável. Adaptado de (TWEDE, 2002, p. 100).

Ao longo da história, a implantação de novos materiais na produção de embalagens proporcionou melhorias significativas nas condições de armazenagem, transporte e até outros atributos, como o da embalagem que vende o produto na gôndola. Nesse aspecto, os polímeros tiveram grande impacto ao assumirem o posto de metais ou do vidro, pois permitiram, além de qualidades mecânicas por vezes superiores, uma liberdade de design que tornou os produtos mais atraentes.

No Brasil, entre os produtos amplamente consumidos estão as bebidas refrigerantes não alcoólicas ou, simplesmente, refrigerantes. Esses produtos estão disponíveis nos mais diversos sabores e, comumente, são envasados em embalagens plásticas de capacidades e formatos distintos. Apesar de o Brasil estar entre os maiores consumidores desse tipo de bebida no mundo, registros de estudos ergonômicos envolvendo esse tipo de embalagem não foram encontrados até o momento.

Assim, esse estudo se propõe a investigar se os diferentes designs dessas embalagens influenciam a aplicação de forças manuais durante o processo de abertura. Para responder a essa questão, foi elaborada uma avaliação biomecânica de forças máximas (preensão de torque estático), em atividades simuladas com indivíduos brasileiros de diferentes gêneros e faixas etárias (acima de 18 anos), utilizando cinco embalagens de diferentes formatos. Adicionalmente, a percepção de dificuldade do usuário para cada embalagem analisada também foi analisada.

A preparação dos equipamentos e materiais incluiu a adaptação dessas embalagens para acoplamento de um transdutor de torque, o qual registrou as forças exercidas pelos sujeitos. Cada embalagem foi analisada integralmente, incluindo as tampas, para as quais um sistema de encaixe permitiu sua perfeita fixação. Fatores como as marcas, cores e volumes foram neutralizados, uma vez que todos os modelos tiveram seus rótulos e marcas apagadas, foram pintados internamente com a mesma tonalidade verde, e possuíam capacidade de dois litros cada.

A amostra foi calculada e estratificada para ambos os gêneros, para as três faixas etárias do estudo: 18-29 anos, rotulados como jovens; 30-55 anos, adultos; e acima de 55 anos, idosos. Os procedimentos de coleta obedeceram aos princípios éticos de pesquisa envolvendo seres humanos. A coleta foi realizada nas instalações da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - campus de Bauru; na Associação dos Aposentados de Bauru; e na Vila Vicentina – Abrigo para Velhos, também na cidade de Bauru.

Os dados coletados foram agrupados, tratados e comparados estatisticamente, permitindo identificar diferenças entre as embalagens e como esses designs influenciam os diferentes grupos de usuários. Também, pôde ser comparada a percepção de dificuldade de abertura das embalagens analisadas pelos indivíduos ao realizar as atividades. Por fim, uma comparação entre os dados obtidos e as forças necessárias para realizar a abertura dessas embalagens revela um cenário preocupante, no qual se estima que grande parcela da população tenha dificuldades em abri-las.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Objeto de estudo

As bebidas carbonatadas não alcoólicas, ou refrigerantes, são bebidas doces, aromatizadas, acidificadas, coloridas e carbonatadas (gaseificadas) artificialmente. Normalmente, são compostas por xaropes concentrados, aspartame, cafeína e conservantes como ácido benzóico e/ou derivados que são misturados com água carbonatada artificialmente e então envasadas (SÁDECKÁ; POLOMSKY, 2000). A carbonatação consiste no processo de dissolução de CO<sub>2</sub> na bebida, gaseificando-a.

A origem deste tipo de bebida remonta à Antiguidade, na Roma e Grécia, onde ocorria naturalmente na forma de água mineral, conhecida por suas características medicinais e por sua refrescância. Em 1767, o químico britânico Joseph Priestley descobriu que a água poderia ser carbonatada artificialmente e, a partir desse conhecimento surgiu a indústria de bebidas carbonatadas (SILVA, 2009).

Atualmente, esse tipo de bebida é envasado principalmente em embalagens poliméricas. Os polímeros são popularmente conhecidos como plásticos, cuja palavra vem do grego “*plastikós*”, que significa “adequado à moldagem”. São essencialmente materiais compostos por macromoléculas, produzidos através de um processo químico chamado de polimerização, consistindo na união de unidades básicas menores, denominadas monômeros (SILVA, 2009).

O principal polímero utilizado para a fabricação de embalagens para refrigerantes é o politereftalato de etileno (PET). O PET é da família dos poliésteres, e teve sua origem nas primeiras décadas do século 20, na Universidade de Harvard. O Dr. Wallace H. Carothers foi um dos seus principais pesquisadores, desenvolvendo os princípios da policondensação de polímeros de cadeia longa (KAPLAN, 1998).

Em 1928, ele entrou para a equipe de investigação da DuPont™, onde entre vários experimentos, foi desenvolvido o poliéster. Os pesquisadores conferiram a esse polímero características de resistência e baixa permeabilidade, através do processo de orientação. Esse processo consiste no estiramento do material, abaixo do seu ponto de fusão em um ou mais sentidos (dimensões), forçando as moléculas da cadeia do polímero, na maioria randomicamente orientadas, a se alinhar (BASTOS, 2006).

Em 1941, J.R. Whinfield e J.T. Dickson, pesquisadores da “*Calico Printers Association*”, produziram e patentearam uma fibra de poliéster, a qual foi dado o nome de *Terylene*. Desde então, as investigações sobre o poliéster se intensificaram pelo mundo dando origem a uma das principais matérias-primas termoplásticas para fabricação de fibras, filmes e embalagens (MANO, 1985).

O PET obteve um rápido crescimento, inicialmente substituindo o algodão como fibra têxtil, e posteriormente, na década de 1980, na aplicação de filmes para embalagens. As primeiras embalagens PET para refrigerantes foram fabricadas em 1977 nos EUA e, por volta de 1988, chegaram ao Brasil. Em 2004, o Brasil foi o terceiro maior consumidor mundial de PET para produção de garrafas (GONÇALVES-DIAS, 2006). A resina PET para embalagens tem sido utilizada principalmente no envase de bebidas carbonatadas (60%), de óleo comestível (24%) e de água mineral (6%) (ABIPET, 2010).

### 2.1.1 Fabricação das embalagens

O processo de fabricação das embalagens de refrigerantes comumente engloba duas tecnologias produtivas: a moldagem por injeção; e a moldagem por estiramento e sopro. A primeira lida com a produção das pré-formas, constituídas por estruturas obtidas pelo processo de injeção da resina em um molde. Para garrafas de PET este normalmente possui formato de um tubo com paredes espessas (Figura 02). A partir destas unidades podem ser obtidas peças para uso final ou materiais para a elaboração de embalagens obtidas pelo processo de estiramento e sopro (SILVA, 2009).



Figura 02. Pré-formas para produção de garrafas PET. Adaptado de: Silva (2009, p. 37).

A moldagem por sopro é normalmente realizada nas próprias indústrias de refrigerantes. O processo consiste no aquecimento da pré-forma e na sua inserção no molde, que possui o formato final da garrafa. Dentro do molde, a pré-forma é submetida a um estiramento, sofrendo a biorientação axial ao mesmo tempo em que é insuflado ar comprimido, expandindo a pré-forma até o encontro com a parede do molde, proporcionando orientação radial, ao mesmo tempo em que a garrafa recém-formada é resfriada pela parede do molde (LIMA, 2001).

A biorientação do PET promove um acréscimo nas propriedades de resistência ao impacto, à fadiga e ao estiramento. O estiramento produz um alinhamento e ordenação das cadeias moleculares, melhorando significativamente as propriedades físicas e de barreira aos gases. Este processo produz estruturas que são mais resistentes e, em alguns casos, mais transparentes que as estruturas não orientadas com a mesma composição (BASTOS, 2006).

Ainda segundo Bastos (2006), o “corpo” da garrafa PET pode ser dividido em três partes: o ombro, o corpo e o fundo (Figura 03). Cada uma dessas regiões tem uma disposição diferente de material resultante dos processos de estiramento e sopro. O corpo da garrafa, mesmo sendo a região de menor espessura, é a região de maior orientação molecular e, portanto, a que oferece maior barreira aos gases da bebida. Já o ombro e o fundo apresentam maiores concentrações de regiões amorfas, por onde a difusão de gases ocorre mais facilmente.

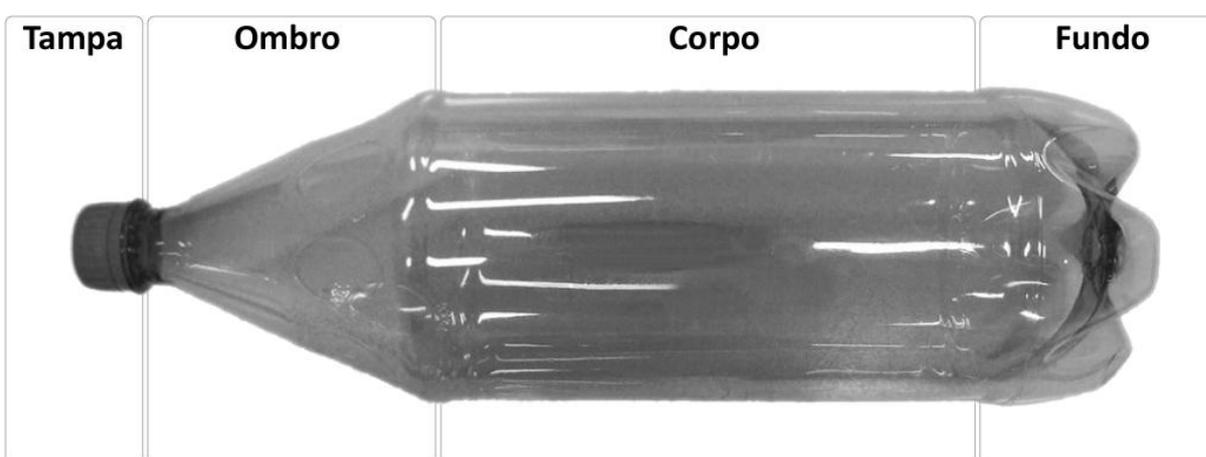


Figura 03. Partes de uma garrafa PET.

As tampas atuais utilizadas nas garrafas PET (Figura 04) são fabricadas a partir de polipropileno (PP), com anéis retentores de policloreto de vinila (PVC). O PP é obtido na polimerização do propileno, possui elevada resistência mecânica, rigidez e dureza. Apresenta baixa densidade e alta resistência ao calor. O PVC é obtido a partir da polimerização do cloreto de vinila a altas temperaturas. Já os rótulos são fabricados a partir do polietileno de baixa densidade (PEBD) e, normalmente, acoplados à embalagem por meio de adesivo (BLASS, 2001).

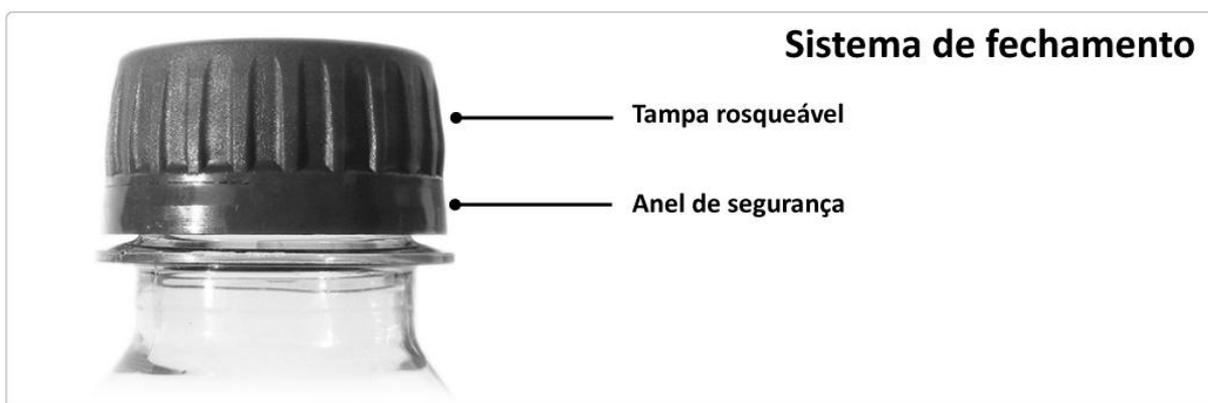


Figura 04. Tampa plástica comum utilizada em garrafas de refrigerantes.

O design desse tipo de embalagem, além das características mercadológicas, deve atender a critérios que maximizem as áreas de maior orientação e, portanto, ofereçam maiores barreiras aos gases. Isso corresponde, na prática, a grandes superfícies lisas no corpo da embalagem. Além disso, a qualidade do produto também depende do fechamento, que está relacionado aos aspectos projetuais do sistema, incluindo o desenho das tampas, o material, e o mecanismo de vedação (BASTOS, 2006).

### 2.1.2 Sistemas de fechamento

Além dos aspectos de retenção de gases, necessários para a retenção da pressão interna e conservação das qualidades do produto, os sistemas de fechamento devem garantir a integridade e a inviolabilidade do produto e propiciar o alívio da pressão interna no momento da abertura. Tampas com sistema antivolação, conhecidos como *tamper evidence*, são comuns atualmente e aumentam a confiabilidade do consumidor no produto (ANDERSEN, 1991).

A alta pressão interna de uma garrafa PET pode tornar o processo de abertura uma etapa perigosa. Uma embalagem desse tipo possui pressão suficiente para causar um fenômeno conhecido como *blow off* (propulsão da tampa em alta velocidade), o que pode acarretar riscos de ferimentos graves. Atualmente as tampas contam em seus filetes de rosca com os canais de degasagem (Figura 05), que são fundamentais para garantir um processo de abertura seguro (FERREIRA, 1996).



Figura 05. Imagem de tampa exibindo os canais verticais de alívio de pressão (degasagem).

Bastos (2006) destaca que os sistemas de fechamento são compostos por duas partes: o acabamento, que é parte integrante da garrafa; e a tampa. Destaca ainda que os tipos de fechamento mais comuns utilizados em garrafas de bebidas, de maneira geral são: a tampa coroa (*crown*) ou coroa-rolha (*crown-corks*), a *roll on* de alumínio; e a *roll on* de plástico. Todas elas ainda podem ser encontradas no mercado, em determinados setores de bebidas.

A tampa coroa é a forma mais antiga de fechamento, inventada em 1892 por Willian Painter, e ainda largamente utilizada em garrafas de vidro (Figura 06). É fabricada a partir de folhas-de-flandres ou em aço por meio de estampagem. Utiliza em seu interior um disco compressível, geralmente polimérico, que quando pressionado no processo de fechamento, promove a vedação da garrafa. Esse tipo de tampa necessita de utensílio para abertura, o que a torna pouco prática.



Figura 06. Tampa coroa metálica, utilizada em garrafas de vidro.

Modificações no design dessa tampa foram realizadas recentemente, gerando a tampa *twist off*, encontrada em cervejas *long neck*. Nesse novo modelo a abertura pode ser realizada através da rosca da tampa. No entanto, ainda apresentam imperfeições, como a espessura do material que dificulta o processo de abertura, e as suas bordas afiadas, que tendem a ser desconfortáveis para o consumidor (MITCHELL, 1990).

As tampas do tipo *roll on* de alumínio surgiram na década de 1940. Embora fundamentalmente diferentes em suas dimensões e material, utilizam o mesmo princípio fabril da anterior. Porém, durante o fechamento essa tampa é comprimida verticalmente e deformada nas laterais, copiando o desenho da rosca de fechamento do corpo da garrafa (Figura 07). Com isso, essa tampa é removida manualmente através de sua rosca e permite fechamento posterior. Outro aspecto incorporado é o lacre anti-ruptura (*tamper evidence*), que consiste em um anel que se rompe no momento da abertura (BASTOS, 2006).

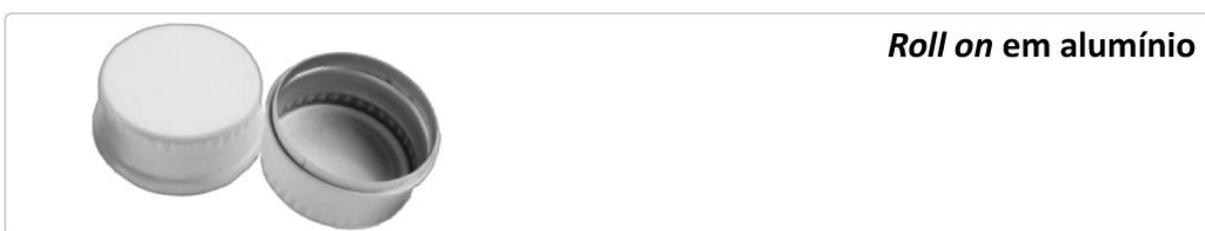


Figura 07. Tampa *roll on* de alumínio. Adaptado de CSI (2011a, p. 1).

O sistema *roll on* de plástico surgiu na década de 1980, com inúmeras melhorias na degasagem do produto (Figura 08). Essas tampas são fabricadas pelo processo de injeção de polietileno (PE) ou polipropileno (PP) e, como as anteriores, possui um disco de vedação interno, que aumenta a barreira a gases. Da mesma forma que a anterior, possui a conveniência de não necessitar de utensílio para abertura e a possibilidade de fechamento sucessivo (BASTOS, 2006).

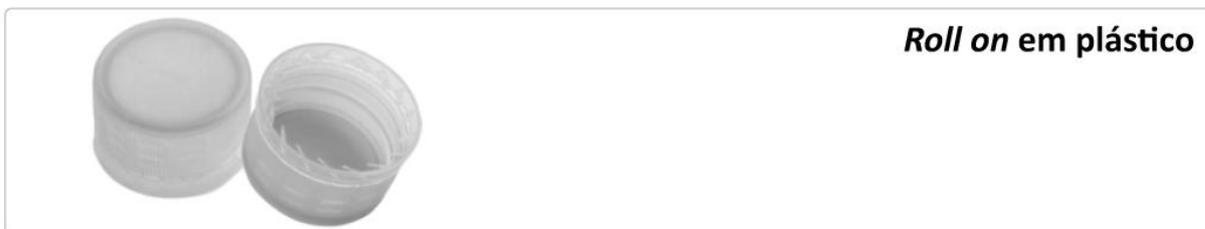


Figura 08. Tampa *roll on* de plástico. Adaptado de CSI (2011b, p. 1).

### 2.1.3 Demandas de mercado

Comparados a outros materiais, os polímeros oferecem uma infinidade de vantagens, incluindo a baixa massa, durabilidade, facilidade de processamento e grande liberdade de design. Dentre eles, o PET se destaca, com sua produção alcançando cerca de 10,3 milhões de toneladas, que geraram bilhões de garrafas em 2006 (COUGHLIN; SCHAMBONY, 2008). No Brasil, a produção de resina PET está próxima a 150 mil toneladas por ano, sendo utilizada principalmente na fabricação de embalagens para bebidas carbonatadas, óleos vegetais, produtos de limpeza entre outras aplicações (SILVA, 2009).

O domínio desse material sobre o vidro e outros inclui também a redução dos custos logísticos, pois a embalagem descartável eliminou a necessidade de manutenção de um grande estoque de embalagens, beneficiando todos os elos da cadeia de valor. O resultado imediato foi a retração dos custos de transporte e estocagem, aumentando as vantagens de se operar no setor. Além disso, a introdução das garrafas PET descartáveis reduziu investimentos em lavadoras de garrafas e de logística de retorno, como era requerido pelas embalagens de vidro retornáveis (RAMOS, 2004).

Bastos (2006), em referência ao trabalho desenvolvido por Robertson (1987) cita outras vantagens da garrafa PET, incluindo sua suposta facilidade de abertura, possibilidade de refechamento, resistência a estouros e não formação de estilhaços, possibilidade de utilizar diferentes tamanhos e menor ocupação de espaço nas gôndolas (10% menor que a correspondente em vidro). A primeira empresa a lançar seus produtos no mercado utilizando garrafas PET foi a Pepsi Cola™, em 1977, seguida imediatamente pela Coca-Cola™ e outras.

Em 2006, segundo dados fornecidos pela Associação dos Fabricantes de Refrigerantes do Brasil – AFREBRAS, o Brasil foi o terceiro mercado consumidor de refrigerantes em nível mundial, (GUBOLINO, 2007). Em 2005 foram consumidos 12,42 bilhões de litros, totalizando um consumo de 67 litros per capita. Com isso, o país fica atrás apenas dos Estados Unidos (198 litros per capita) e do México (147 litros per capita). O índice de consumo de garrafas PET pode representar até 81% da participação do mercado desse polímero (GUBOLINO, 2007).

## **2.2 O design ergonômico e a interface com as embalagens**

A relação entre o ser humano e seus sistemas de trabalho é um dos objetos de estudo da ergonomia, ou conjunto de “[...] conhecimentos sobre as capacidades, limites e outras características do desempenho humano e que se relacionam com o projeto de interfaces” (HENDRIK, 1993, p. 43). Assim, o design ergonômico utiliza o conhecimento ergonômico para o desenvolvimento de produtos ou sistemas “[...] seguros, confortáveis, eficientes, efetivos e aceitáveis” (PASCHOARELLI, 2003, p. 8).

Recentemente, o design ergonômico tem ampliado sua práxis, abordando também as Atividades da Vida Diária (AVD). Entre as interfaces de uso mais comum no dia-a-dia estão as embalagens. Essenciais para conservação e transporte de grande parte dos produtos, as embalagens podem funcionar como atrativo ao consumidor no ponto de venda. Porém, embora cumpram algumas de suas funções muito bem, podem comprometer alguns aspectos de usabilidade e prejudicar determinados grupos de usuários.

Os problemas na interface com as embalagens de produtos de consumo podem ocasionar ferimentos nos usuários. Porém, o que ocorre com maior frequência são as dificuldades de abertura, a falta de informações, ou a abertura inadequada das embalagens, havendo desperdício ou tornando o produto inutilizável. Mesmo assim, algumas características comumente são consideradas mais relevantes, particularmente as relacionadas ao custo e à logística. Para prevenir que o produto se danifique no processo de movimentação, novas tecnologias e materiais são desenvolvidos de forma a oferecer resistência a quedas, redução de peso, etc.

Entretanto, esses avanços no acondicionamento dos produtos nem sempre são acompanhados de estudos envolvendo a interação do usuário com as embalagens, o que pode comprometer o acesso ao produto, particularmente as mulheres ou usuários de idade avançada. Entre os fatores mais preocupantes estão os esforços extremos, como os exigidos por alguns de vidros de conserva e, possivelmente, algumas garrafas de bebidas.

Os vidros de conserva foram alvo de alguns estudos envolvendo avaliações de forças de torque relacionadas ao gênero e idade (YOXALL *et al.*, 2006; YOXALL; JANSON, 2008; PASCHOARELLI, 2007). Também já foram relatados muitos artifícios utilizados pelos usuários para contornar as dificuldades de abertura desses produtos, como a utilização de facas para entortar ou furar as tampas (SILVA *et al.*, 2010). Os usuários comumente preferem abrir embalagens sem nenhum tipo de instrumento auxiliar (IMRHAN, 1994), porém os adotam quando não conseguem realizar a abertura manualmente.

O risco de danificar o produto ou de o usuário se acidentar aumenta com o uso de artifícios. Berns (1981) menciona dados sobre as dificuldades que consumidores suecos encontram com as embalagens, sendo a maioria por falta de informação nos rótulos. Winder *et al.* (2002) relatam que os índices de acidentes diminuem com o avanço da idade. Isso pode ser reflexo de uma maior prudência dos idosos, de estratégias para manusear as embalagens, ou ao pedido de ajuda a outras pessoas.

Embalagens de conserva ou outras com tampas rosqueadas são alguns dos produtos que requerem conhecimentos relativos à capacidade biomecânica dos usuários. Berns (1981) sugere que os valores de torque devem ser determinados com base na força exercida de forma confortável do percentil 5% dos indivíduos “normais”, ou dos percentis 1% ou 2% de indivíduos com necessidades especiais exercendo força máxima. Voorbij e Steenbekkers (2002) recomendaram em seu estudo um momento de força de 2 N.m para abertura de potes de 66 mm de diâmetro.

No entanto ainda são raros estudos envolvendo embalagens de consumo generalizado, como as de refrigerantes (garrafas PET). As garrafas PET apresentam diversos desenhos e volumes, o que pode influenciar significativamente na abertura das mesmas, uma vez que o design determina a interface com o objeto, e a distribuição de força depende da área de contato, da geometria e das características do objeto (MURALIDHAR *et al.*, 1999).

### **2.3 Design Ergonômico: avaliação e análise de interfaces manuais**

O Design Ergonômico se caracteriza por diversos métodos projetuais (ERGONOMI DESIGN GRUPPEN, 1997; NORRIS; WILSON, 1997; SANDVIK COROMANT, 1997; MORAES; FRISONI, 2001; PASCHOARELLI, 2003), cujos princípios baseiam-se na análise ergonômica da atividade e na determinação de critérios ergonômicos e de usabilidade para o desenvolvimento de produtos. Apesar de expressivos, os aspectos relacionados à avaliação e à análise do produto são pouco demonstrados e/ou discutidos nesses trabalhos.

Particularmente quanto ao design ergonômico de instrumentos manuais, a Sandvik Coromant (1997) destaca os denominados “testes de usabilidade” durante o processo de desenvolvimento do produto; e Paschoarelli (2003, p. 124), demonstra um conjunto de “procedimentos metodológicos de avaliação e análise do produto”, podendo servir de parâmetro para a análise de instrumentos manuais.

A avaliação e análise física de interfaces manuais devem se basear principalmente em preceitos biomecânicos, considerando os limites e capacidades dos usuários, para somente então, serem definidos os parâmetros para o design ergonômico. Portanto, os aspectos biomecânicos das extremidades dos membros superiores humanos são de total interesse ao design ergonômico.

Segundo Chaffin e Anderson (2001), é possível correlacionar os esforços biomecânicos observados em atividades manuais – por exemplo, as forças de torção – com a ocorrência de distúrbios osteomusculares, uma vez que “... o suporte epidemiológico para sustentar esta opinião está incompleto, mas a teoria biomecânica aponta que esforços e posturas da mão estão associados às forças anormais nos tecidos intracarpal” (p. 239).

Um amplo estudo de força de preensão em atividades simuladas, com diversos tipos de ação manual, foi desenvolvido no Reino Unido por Smith et al. (2000), incluindo a avaliação e análise de forças em pegadas de diferentes desenhos, junto à população de ingleses e contemplando diferentes grupos de sujeitos. Entretanto, os dados são específicos de uma população de origem anglo-saxônica, que supostamente é diferente das populações latinas.

O primeiro grande estudo brasileiro sobre manejo ergonômico foi realizado por Lida (1971). No decorrer das últimas décadas, outros especialistas têm desenvolvido estudos nesta área, cujo enfoque apresenta-se mais voltado aos aspectos

ocupacionais (da engenharia) ou epidemiológicos (da fisioterapia e medicina do trabalho).

Estudos e avaliações destinados a fornecer parâmetros para o design ergonômico de instrumentos manuais ainda são poucos, e o Laboratório de Ergonomia e Interfaces (LEI) da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da UNESP - Campus Bauru tem procurado contribuir nesta área (PASCHOARELLI; GIL COURY, 2000; 2002; 2004; PASCHOARELLI *et al.*, 2006; PASCHOARELLI *et al.*, 2007; PASCHOARELLI, 2009).

Entre estes estudos, destaca-se o realizado por Dahrouj (2009), cujo propósito foi realizar um levantamento das forças manuais de torque do público infantil (2 a 5 anos), no processo de abertura de embalagens de água sanitária. O estudo envolveu 104 sujeitos de ambos os gêneros e três embalagens adaptadas para a coleta de forças. As três embalagens possuíam configurações formais díspares, e as suas respectivas tampas possuíam dimensões diferentes.

Os resultados indicaram uma forte influência das características das tampas na capacidade de aplicação de torque pelos sujeitos. Assim, a tampa com o menor diâmetro foi recomendada para **impedir** que indivíduos dessa faixa etária tenham acesso ao produto numa situação real. A autora ainda destaca que, por se tratar de uma situação comum à diversas AVD e, conseqüentemente, a diversos produtos, os parâmetros obtidos podem contribuir para a melhor usabilidade e segurança relacionadas a outros designs.

Campos (2010), realizou estudo de duas interfaces manuais: as maçanetas e os volantes de metais sanitários. O objetivo foi verificar se o design desses produtos influenciava na transmissão de força pelos usuários de diferentes gêneros e as faixas etárias. A coleta envolveu 180 sujeitos, sendo 30 de cada gênero para cada uma das três faixas etárias; cinco maçanetas; e cinco volantes de designs diferentes.

Os resultados apontaram que houve influência do gênero no acionamento das maçanetas de porta e dos volantes de metais sanitários, de modo que os sujeitos do gênero feminino, nos dois casos, realizaram torque significativamente inferior ao registrado para os sujeitos do gênero masculino. Isso também foi verdadeiro para o grupo de idosos, que exerceram forças menores do que o grupo de adultos, e também para o design de ambos os tipo de produtos, nos quais o formato alavanca proporcionou as maiores forças.

As funções musculares da mão podem variar devido a diversos fatores. Porém, é interessante notar que, seja devido a fatores genéticos, antropometria, experiência, idade ou fadiga, as diferenças na interação dos dedos entre indivíduos podem ser preditas com base em uma única propriedade: a força máxima (SHINOHARA *et al.*, 2003b). Assim, o procedimento mais adotado para avaliar as capacidades da mão é a coleta do pico de forças por meio da Contração Isométrica Voluntária Máxima (CIVM).

Nas AVD, muitas vezes são necessárias forças capazes de abrir ou romper lacres de embalagens, puxar plugues de tomada, manipular pequenos objetos, abrir gavetas, etc. O conhecimento das forças máximas ajudará a aumentar a eficácia de um design, tanto no conforto de uso quanto no acesso de indivíduos com menor capacidade muscular, que poderão consumir o produto sem a necessidade de recorrer à ajuda de outras pessoas ou equipamentos auxiliares (RAZZA, 2007).

Esses grupos com menores capacidades biomecânicas muitas vezes têm dificuldades no processo de abertura de algumas embalagens. Em uma avaliação de embalagens de conserva, Yoxall *et al.* (2006) utilizaram vidros de conserva de 75 mm de diâmetro. Participaram dessa avaliação 235 indivíduos, sendo 97 mulheres e 138 homens. Os autores apontam que a média de força das mulheres acima de 75 anos ficou abaixo do necessário para realizar a abertura da embalagem. Ainda estimam que cerca de 40% das mulheres de 25 anos teriam dificuldade em abrir essa embalagem, assim como 10% dos homens após os 75 anos.

Em estudo análogo, Carus *et al.* (2006) também afirmam que grandes parcelas da população podem ter dificuldades em abrir embalagens com tampas rosqueáveis. Os autores adaptaram dois tipos de embalagens para coletar as forças exercidas por oito voluntários (dois jovens e seis idosos) no momento da abertura de garrafas PET de 500 ml. No interior dessas embalagens foi inserido um dispositivo que registrou as forças e momentos de força aplicados nos eixos x, y e z.

O primeiro tipo de embalagem utilizava sistema de fechamento tampas *rollon* de plástico (*tamper evident*), sendo que a abertura significou romper as conexões (*bridges*) entre a tampa e o anel de segurança. Cada tampa possuía 24 conexões com o anel de segurança, no entanto, em alguns exemplares esse número foi reduzido para 12, cortando-se os excedentes com um bisturi. O segundo tipo de fechamento era o utilizado em bebidas esportivas (*pull up*), que possuem um selo plástico que deveria ser rompido para sua abertura.

Esse estudo em particular consistiu em um teste preliminar do sistema desenvolvido pelos autores. Seus resultados corroboram a necessidade de pesquisas mais aprofundadas, uma vez que mesmo com o reduzido número de participantes, foi constatado que os idosos aplicaram forças de forma errática.

A deficiência na coordenação causou uma queda nas forças de preensão, o que foi supercompensado na aplicação de forças de torque, aproximadamente duas vezes superiores àqueles dos jovens. Mesmo se tratando de embalagens semelhantes, com a mesma necessidade de aplicação de forças para abertura, o momento de força aplicado variou de acordo com o grupo analisado.

## **2.4 A preensão da mão humana**

### **2.4.1 Biomecânica da mão humana**

A mão humana representa o ponto distal de um sistema de extrema complexidade no qual estão envolvidos dezenas de músculos, tendões e de ramificações nervosas, cujo resultado é a conjugação harmônica de movimentos que vão desde os grosseiros, de grande intensidade de força, até os precisos e delicados, com alto grau de habilidade (RAZZA, 2007).

A preensão é a principal habilidade da mão humana. Chao *et al.* (1976) afirmam que as preensões são controladas por dois grupos musculares concomitantemente: os músculos intrínsecos (localizados na própria mão, responsáveis pela maleabilidade e precisão) e os músculos extrínsecos (localizados no antebraço, responsáveis pela aplicação de forças e estabilidade do movimento), como pode ser visualizado na vista anterior do braço na Figura 09.

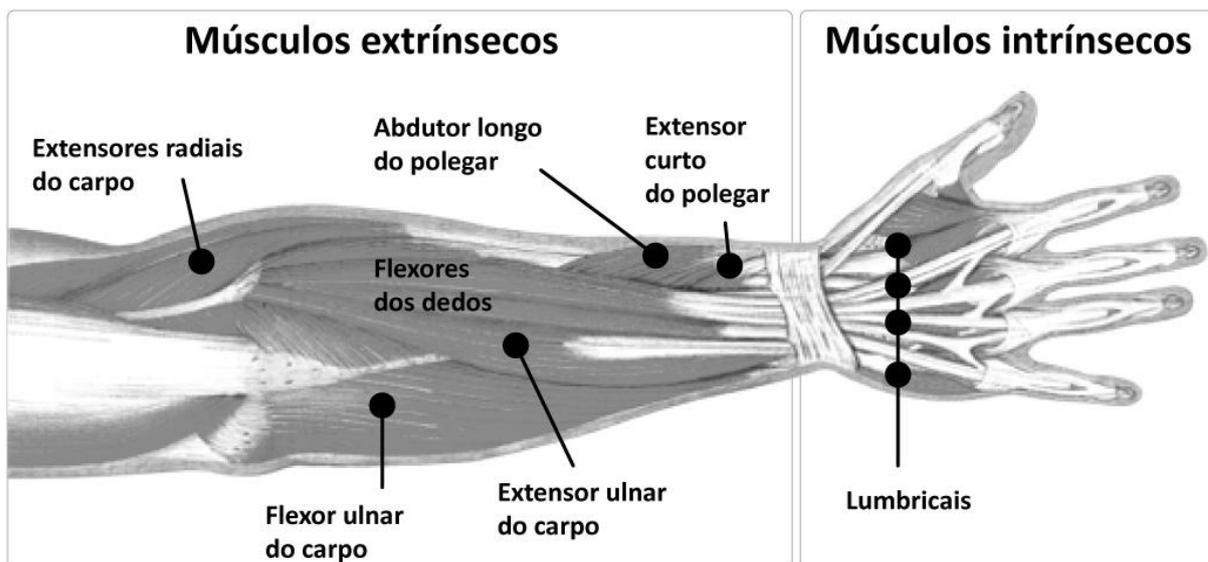


Figura 09. Vista anterior da mão e antebraço exibindo os músculos responsáveis pelo ato preênsil. Adaptado de Tortora e Grabowski (2002, p. 320).

Os músculos intrínsecos têm a função de auxiliar a distribuição da força gerada pelos músculos extrínsecos – flexores e extensores dos dedos (HAZELTON *et al.*, 1975). Apesar de não serem responsáveis diretos pela aplicação de força na preensão, a ineficiência dos músculos intrínsecos pode gerar perdas de até 85% na força aplicada, especialmente para as preensões digitais (KOZIN *et al.*, 1999). Músculos extrínsecos e intrínsecos da mão são utilizados em muitas tarefas diárias, como a pega e o pinçamento.

Os flexores extrínsecos (flexor digital profundo e flexor digital superficial) são músculos que atuam sobre múltiplos dedos, e seus tendões se inserem nas falanges distal e média, respectivamente. Isto caracteriza o flexor profundo como o único focado na falange distal, enquanto o flexor superficial atua falange média. Ambos contribuem para torques na falange proximal. Já os músculos intrínsecos são específicos para cada dedo e atuam principalmente nas juntas metacarpofalangeanas (KAPUR *et al.*, 2010).

Os músculos são conectados às estruturas ósseas por terminações fibrosas, compostas essencialmente por colágeno, denominadas tendões. Os tendões são responsáveis por transmitir a tensão mecânica que ocorre durante o esforço muscular, tendo a capacidade de resistir a elevadas tensões e se adaptar para atenderem às necessidades do movimento.

Entretanto as forças musculares podem exceder a habilidade do tecido dos tendões de adaptar-se, como acontece com forças acima dos níveis funcionais, repetição ou posturas extremas. Quando isso acontece pode haver lesões nos tecidos, com inflamação e alterações em suas estruturas fibrosas (MACKINNON; NOVAK, 1997). Além disso, os diferentes locais de fixação dos tendões nas falanges distais e proximais resultam em diferentes níveis de envolvimento dos músculos intrínsecos e extrínsecos da mão.

A Contração Voluntária Máxima (CVM) produzida nas falanges distais requer que os flexores extrínsecos produzam seu pico de força, enquanto que os músculos intrínsecos tem um envolvimento de 10 a 30% de sua CVM (SHINOHARA *et al.*, 2003a). Por outro lado, quando uma pessoa executa a CVM nas falanges proximais, os músculos intrínsecos produzem forças próximas ao seu pico de força, enquanto que os músculos extrínsecos atuam no equilíbrio das forças produzidas pelo mecanismo extensor. Alguns estudos mencionados por Shinohara *et al.* (2003a) sugerem que os dois principais flexores extrínsecos produzem 20% de suas forças máximas nessa situação.

A atuação dos músculos intrínsecos e extrínsecos deve ser precisa para evitar o movimento articular durante a produção de forças em uma atividade de preensão. Essas combinações de comandos provavelmente são elaboradas e refinadas pelo Sistema Nervoso Central (SNC) com base na anatomia do indivíduo e nas AVD que ele realiza. Na maioria das AVD, utiliza-se a mão para segurar e manipular objetos com o polegar agindo em oposição com os demais dedos, o que é conhecido como pega prismática.

Estudos recentes demonstram que os dedos são organizados especificamente para cada tarefa a fim de estabilizar variáveis importantes na ação, como a força de aperto total e o momento de força relativo ao ponto de contato do polegar. Essas sinergias são construídas ao longo da vida e geram uma coordenação entre os músculos intrínsecos e extrínsecos (SHIM *et al.*, 2004).

A interação entre os dedos revela que eles são controlados sinergicamente, de modo que cada um compense deficiências em outro para alcançar o desempenho desejado. As sinergias dos dedos são desenvolvidas ao longo da vida, de uma maneira que maximize o desempenho da mão em tarefas diárias. Essas sinergias diferem de acordo com a capacidade de geração de força de um indivíduo (SHINOHARA *et al.*, 2003b).

Se as capacidades de geração de forças envolvidas se modificam desproporcionalmente, as combinações previamente elaboradas se tornam imperfeitas. Se essas alterações forem permanentes, como no caso do envelhecimento, os comandos sinérgicos precisarão ser ajustados, o que pode resultar em sinergias inadequadas e queda no desempenho da mão. Esse problema poderia ser atenuado com exercícios que promovam o balanço entre as capacidades entre os músculos extrínsecos e intrínsecos (SHINOHARA *et al.*, 2003a).

#### **2.4.2 Padrões de preensão**

A superfície palmar da mão é altamente adaptada para a preensão, para a qual ela provê atrito, devido à rugosidade da epiderme, excreções aderentes, e habilidade de compressão (GLICENSTEIN; DARDOUR, 1981). Segurar um objeto é uma tarefa complexa, visto que é necessário aplicar uma força de aperto suficiente para prevenir o deslizamento do objeto e, ao mesmo tempo, evitar forças excessivas que possam danificar o objeto ou causar fadiga (DOMALAIN *et al.*, 2008).

Para ser realizada, a preensão depende de movimentos coordenados dos dedos, em especial o de oposição do polegar, exigindo uma boa mobilidade das articulações e força muscular adequada (ARAÚJO *et al.*, 2002). Quando se pega um objeto, as componentes tangenciais e normais das forças digitais e os seus pontos de aplicação formam sinergias relacionadas à força necessária de aperto e a manutenção do equilíbrio rotacional (SHIM *et al.*, 2004).

A mão humana pode escolher entre uma grande variedade de pegadas e é adaptável a muitas tarefas diferentes. Nesse sentido, ainda não existe um modelo que satisfaça todas as áreas de pesquisa científica, resultando em várias taxonomias que se aplicam às necessidades de cada caso, visto que a preensão não é definida somente pela forma ou tamanho do objeto, mas também pela atividade pretendida (SILVA *et al.*, 2008).

Napier (1956) definiu duas posturas básicas da mão humana: a preensão palmar (ou de força); e a digital (ou de precisão). A preensão palmar é utilizada quando é necessária força completa, como em atividades que geram a ação dos dedos e polegar contra a palma da mão, com propósito de transmitir força para um objeto (Figura 10). Cada dedo acomoda-se em posição para aplicar força a fim de conter as forças externas impostas pelo objeto ou tarefa.



Figura 10. Situações de uso de preensão palmar (força – à esquerda) e digital (precisão – à direita).

Ainda segundo Napier (1956), a preensão digital (de precisão ou pinça) ocorre quando o objeto é pinçado entre as superfícies flexoras de um ou mais dedos com o polegar em oposição, permitindo uma maior exatidão, assim como refinamento de tato. Segundo o autor, o grau de precisão ou força necessária à tarefa são os fatores primordiais na escolha da preensão, mas vários atributos do objeto podem interferir na sua escolha, como o tamanho, forma, textura, massa, entre outros.

Em sua revisão, Razza (2007) destaca que em muitas AVD, as preensões manuais são conjugadas a movimentos rotacionais. Razza (2007) relacionou as principais preensões associadas ao torque manual e seus respectivos mecanismos de ação (Figura 11): **desvios laterais do punho** (radial ou ulnar), utilizados para abrir frascos, acionar torneiras e válvulas horizontais (A - B); **pronação ou supinação do antebraço**, utilizado em chaves de fenda, maçanetas (C); **flexão ou extensão do punho**, acionamento do acelerador de uma motocicleta (D); **movimentação dos dedos**, manejos delicados, acionamento de botões ou na abertura de tampas (E - F).

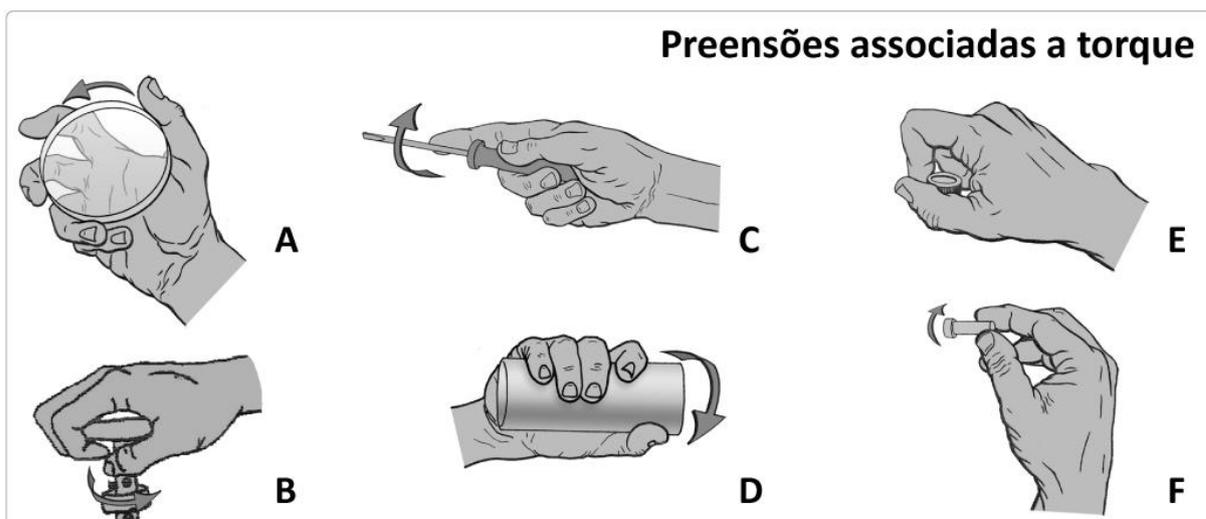


Figura 11. Algumas atividades manuais com associação de preensão ao torque. Adaptado de Razza (2007, p. 52).

Para realizar a abertura de tampas (sentido anti-horário), comumente a tampa é pressionada entre a região pulpar do polegar e a lateral do indicador, requerendo atividade muscular dos adutores do polegar e dos flexores/extensores dos demais dedos. Para a mão direita, o movimento de torção utiliza uma combinação de desvio radial do punho com abdução do braço, implicando em atividade muscular nos abdutores do braço, localizados na região do ombro.

Considerando a mesma pega, e apenas no sentido anti-horário, para a mão esquerda o punho é desviado na direção da ulnar e o movimento de torção requer adução do braço. Com isso, são utilizados grupos musculares análogos para os braços e ombros, enquanto as forças de preensão se mantêm no mesmo sentido. Esse movimento proporciona uma combinação de forças de preensão (Figura 12 – forças F2 e F3, respectivamente) e tangenciais (Figura 12 – forças F1 e F4).

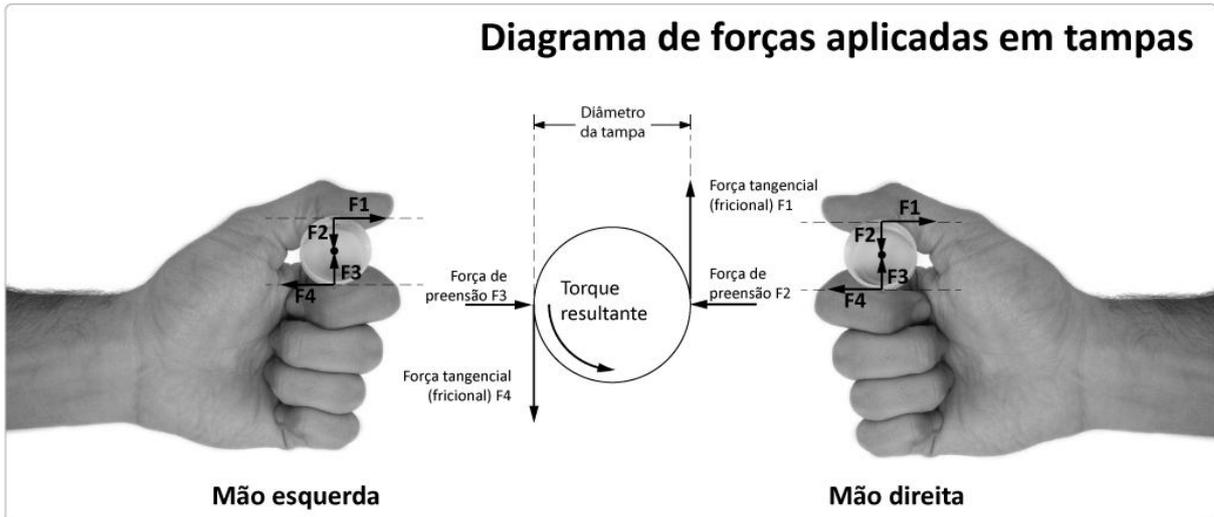


Figura 12. Diagrama de forças atuando sobre as tampas durante o processo de abertura (preensão pulpo-lateral entre polegar e indicador). Baseado em (YOXALL; JANSON, 2008).

A definição de padrões de preensão é necessária para facilitar a realização e a padronização de procedimentos que envolvam a avaliação de interfaces entre a mão e o objeto apreendido, de modo a proporcionar maior consistência e confiabilidade aos dados coletados. Além disso, é importante conhecer a anatomia e biomecânica da mão, bem como o seu comportamento em situações estáticas e dinâmicas (SILVA *et al.*, 2008).

Isso deixa claro que um melhor entendimento das funções e capacidades da mão humana pode ser obtido analisando não apenas a força de aperto e a geometria da pega, mas os momentos de força aplicados sobre ela. Em geral, três tipos de informação são necessários para caracterizar uma preensão: aquelas que pertencem ao objeto; aquelas que pertencem à interface mão - objeto, ou seja, a pega utilizada; e por último, aquelas que pertencem à atividade pretendida.

### 2.4.3 As forças de preensão

As diferentes preensões têm capacidades de força distintas, tanto na geração de forças internas quanto na de forças ou momentos de força externos. Além disso, essa capacidade é extremamente dependente da direção da aplicação das forças ou momentos de força (DOMALAIN *et al.*, 2008). Kroemer (1986) sugere que as pegas com envolvimento anatômico são mais eficientes para a transmissão de torque. Já as pegas em formato de gancho geram forças de preensão moderadas, mas têm uma alta capacidade de resistir a forças externas nas direções distais.

Fatores relativos à biomecânica da mão e à organização dos comandos neurais também influenciam a capacidade de geração de forças e o modo como esta é aplicada para executar determinada tarefa. É importante destacar a ocorrência de três fenômenos principais durante a aplicação de forças manuais: o compartilhamento de força; a subordinação (*enslaving*); e o déficit de força (ZATSIORSKY *et al.*, 2002).

O compartilhamento de força consiste no padrão de aplicação de forças da mão, constituído pelas contribuições individuais de cada dedo. Parece não haver um padrão único de compartilhamento que possa ser aplicado a todas as situações. Isso se deve principalmente ao fato de que a força total é compartilhada entre os dedos de uma maneira específica, dependendo do contato da superfície palmar com a superfície do objeto, da geometria e das características do objeto ou ainda da natureza da tarefa a ser desenvolvida (MURALIDHAR *et al.*, 1999).

Kong e Lowe (2005) realizaram uma avaliação de torque manual, coletando as forças aplicadas por cada falange de cada dedo (exceto polegar) por meio de uma luva com sensores. Os autores observaram que a contribuição relativa à força total da mão é o dedo médio (35,5%), seguido pelo indicador (28,0%), anelar (25,4%) e mínimo (11,1%). Também observaram que a distribuição de forças nas falanges distais (35,9%) foi maior, seguida das médias (22,9%), proximais (21,0%) e região metacarpal (20,2%). A Figura 13 ilustra os principais resultados desses autores.

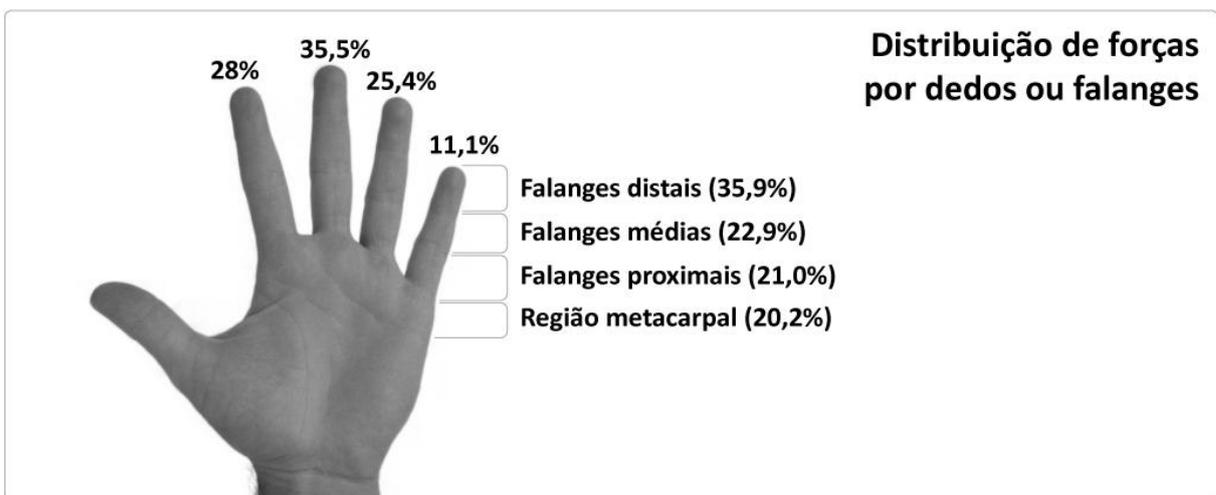


Figura 13. Ilustração esquemática da distribuição da força total da mão por dedos ou falanges, segundo Kong e Lowe (2005).

Já Kinoshita et al. (1996), a contribuição para a força total foi: polegar (40,88%), anelar (18,18%), mínimo (16,76%), médio (12,6%) e indicador (9,58%). A atividade consistiu no levantamento de cilindros com massas conhecidas, e utilizando uma preensão penta digital centrada. Os autores comentam que essa maior contribuição dos dedos anelar e mínimo pode ser devido ao posicionamento dos dedos dos indivíduos, onde a oposição do polegar estaria mais alinhada a estes dedos do que ao indicador e médio.

A subordinação diz respeito ao fenômeno no qual uma pessoa executa uma ação com apenas um dedo, seja movimento ou aplicação de força, mas outros dedos exibem movimentos ou forças. Fatores periféricos, como músculos extrínsecos que se ligam a múltiplos tendões, tecidos conectivos entre dedos adjacentes ou até fatores neurais contribuem para esse fenômeno (KAPUR *et al.*, 2010). Essa ação involuntária dos dedos foi documentada em diversos estudos (LATASH *et al.*, 1998; LI *et al.*, 1998a; ZATSIORSKY *et al.*, 1998).

A funcionalidade da subordinação é ambígua. Por um lado pode ser útil na compensação da perda de controle dos dedos individualmente. Por outro lado pode prejudicar tarefas que requeiram um controle mais preciso dos dedos individualmente, como por exemplo, tocar piano ou digitar um texto. Para a mão dominante as subordinações são menores do que para a não dominante. Há a possibilidade de a maior habilidade daquela ser determinada pelo melhor controle individual dos dedos (SHINOHARA *et al.*, 2003b).

O terceiro fenômeno é o déficit de força, no qual a força máxima produzida por um dedo individualmente é maior do que o seu pico de força quando agindo em conjunto com outros (OHTSUKI, 1981; LI *et al.*, 1998a; 1998b; DANION *et al.*, 2000). O déficit de força pode ser visto tanto como consequência da ativação incompleta das unidades motoras quanto de taxa de impulso elétrico reduzido (SHINOHARA *et al.*, 2003b).

Um dos métodos mais utilizados para se avaliar as capacidades manipulativas de indivíduos é por meio da força de preensão máxima. Porém, há muitas situações nas quais essa não é a melhor alternativa. Para segurar um martelo não há necessidade de altas forças internas, a função é simplesmente segurá-lo e mantê-lo em posição, neutralizando os momentos de força criados pela massa do objeto. Outro exemplo seria girar uma chave, onde a função é apenas transmitir o torque dos pronadores ou supinadores do antebraço (DOMALAIN *et al.*, 2008).

Outro caso simples ocorre quando apenas a força gravitacional está envolvida. Segurar um livro na vertical por sua extremidade requer que as forças de aperto equilibrem a massa do livro sendo atraído pela gravidade, o que requer altas forças de preensão. Mas se o indivíduo o segura pela parte inferior, com uma pega em forma de gancho, apenas uma pequena força de preensão será necessária. Esse exemplo demonstra que apenas a força máxima de preensão não é suficiente para caracterizar as capacidades da mão humana.

Além dos fatores mencionados acima, as condições sob as quais a força é testada afetam a capacidade de geração de força máxima. Os fatores podem ser divididos em dois grupos: os individuais (intrínsecos); e os da tarefa (extrínsecos). Os individuais incluem: a lateralidade - destros, ambidestros, canhotos; a antropometria; o gênero; e a idade. Os fatores da tarefa incluem: postura - como a sentada ou em pé, com imobilização ou livre, o tipo de preensão utilizado; e as características da interface, como geometria, dimensões, texturas.

#### **2.4.4 A influência da lateralidade nas forças manuais**

A lateralidade advém da assimetria cerebral no controle de suas funções e, nesse caso, trata da dominância manual do indivíduo, definida como o uso preferencial de uma das mãos para executar uma atividade (PASCHOARELLI, 2009). Assim, muitos estudos foram conduzidos com o objetivo de se avaliar o grau de lateralidade de um indivíduo por meio da quantificação, normalmente por questionários, da sua dominância manual (ANNET, 1970; OLDFIELD, 1971).

A maioria dos estudos aponta que a mão dominante dos destros é mais forte em 6% a 14% que a não dominante (IMRHAN; LOO, 1989; CROSBY *et al.*, 1994; IMRHAN; JENKINS, 1999; O'DRISCOLL *et al.*, 1992). Para os canhotos, os estudos apontam que a mão dominante é igualmente ou apenas ligeiramente mais forte (1-2%) que a mão não dominante (CROSBY *et al.*, 1994).

Segundo Hanten *et al.* (1999), as razões para isso podem ser resultantes do condicionamento do indivíduo canhoto em utilizar sua mão não-dominante para a realização de inúmeras AVD. Paschoarelli (2009) afirma que, sempre que possível, deve-se possibilitar o uso da mão preferencial do indivíduo, sendo que essa comumente apresenta maior habilidade motora e maior força. Razza (2007) exhibe entre os resultados de sua avaliação que a mão dominante é, em média, 8% mais forte que a mão não dominante.

#### 2.4.5 A influência da antropometria nas forças manuais

Outra variável de interesse é a antropometria dos indivíduos. O nome antropometria vem de “*anthropos*” que significa humano e “*metrikos*” que significa medidas (ROEBUCK *et al.*, 1975). A antropometria trata da aplicação de métodos científicos de medidas físicas nos seres humanos, visando a coleta de informações sobre os diferentes indivíduos, grupos sociais, etnias, gêneros ou faixas etárias. Esses dados são importantes fontes de informação para o projeto de produtos ou espaços para utilização humana (BOUERI FILHO, 1991).

A força potencial de um músculo pode ser estimada pela medição de sua seção circular em repouso, tendo-se em vista que o número de elementos contráteis é proporcional ao volume deste músculo (KOZIN *et al.*, 1999). Essa premissa leva a crer em uma relação entre variáveis antropométricas, principalmente não lineares, e a força muscular de um indivíduo.

Hanten *et al.* (1999) observaram, em sua avaliação da força de preensão palmar em 1182 indivíduos de ambos os gêneros, que a estatura e o peso estão diretamente relacionados à força de preensão, e podem ser utilizados, juntamente com outros fatores, para estimar a força de um indivíduo. Imrhan e Sundararajan (1992) encontraram algumas correlações entre variáveis antropométricas e força de tração associada à preensão digital pulpo-lateral. A preensão digital simples (não associada à tração) também se correlacionou à massa corporal e à largura palmar.

Vidrich Filho (2005) avaliou as forças de preensão palmar e digital pulpo-lateral, observou algumas correlações entre variáveis antropométricas da mão, como comprimento do dorso, largura palmar e comprimento do polegar, com a FPP, mas para a FPD poucas correlações, e ainda pouco práticas, foram encontradas. Entretanto, Chaffin e Anderson (2001) comentam que, em geral, medidas antropométricas (peso, tamanho e forma) de um indivíduo não são suficientes para se determinar sua capacidade de realização de força.

Dahrouj (2009) encontrou correlações significativas entre as dimensões da mão dos sujeitos (comprimento da mão, comprimento palmar e largura da mão) e a capacidade de aplicação de forças de torque em duas das três embalagens analisadas. O seu estudo consistiu na avaliação da capacidade de aplicação de forças de torque, por parte do público infantil (102 sujeitos igualmente distribuídos entre os gêneros, com idades entre 2 e 5 anos), em três diferentes embalagens de água sanitária.

Por outro lado, Razza (2007) avaliou a força de tração associada à diferentes preensões, com uma amostra de 60 sujeitos destros, distribuídos igualmente entre gêneros. Os resultados apresentaram baixa correlação entre antropometria e força, indicando que não há relação direta entre o tamanho da mão, massa corporal ou estatura, e a força de tração associada à preensões digitais. Com isso, as relações entre as variáveis antropométricas e as capacidades biomecânicas de um indivíduo ainda é um tema discutível, e que parece variar de acordo com a tarefa ou as variáveis selecionadas para comparação (massa, segmentos corporais, estatura, etc.).

#### **2.4.6 A influência do gênero nas forças manuais**

As diferenças entre os gêneros masculino e feminino são amplamente reconhecidas, principalmente em se tratando de força. Das muitas características individuais que afetam a força, o gênero apresenta com as maiores diferenças em valores médios. Há também relatos de que os músculos das mulheres diferem daqueles dos homens. Além da força muscular, as mulheres têm menores contrações musculares em toda a extensão do músculo, e tempos de meio relaxamento mais longos em alguns músculos (SHINOHARA *et al.*, 2003b).

Vários estudos investigaram as relações entre força e gênero, no entanto, ainda não há consenso em quanto o gênero masculino é mais forte. Para a preensão palmar, há relatos de que as mulheres realizam forças entre 50% e 60% da força dos homens (CROSBY *et al.*, 1994; EDGREN *et al.*, 2004; IMRHAN, 2003; HÄRKÖNEN *et al.*, 1993; MAMANSARI; SALOKHE, 1996), enquanto outros autores encontraram valores maiores, de 71% a 74% (CAPORRINO *et al.*, 1998; FRANSSON; WINKEL, 1991).

Para o torque manual, há estudos indicando que a o gênero feminino realiza de 49% a 51,5% da força do gênero masculino (IMRHAN; JENKINS, 1999; KIM; KIM, 2000), enquanto outros autores apresentam valores entre 62% a 66% (SHIH; WANG, 1996; 1997; MITAL; SANGHAVI, 1986; MITAL, 1986). Dahrouj (2009) também encontrou diferenças significativas entre os gêneros quanto à capacidade de aplicação de força de torção, sendo que os indivíduos do gênero feminino realizaram em média 74% da força daqueles do gênero masculino.

Pesquisas recentes realizadas no Laboratório de Ergonomia e Interfaces (LEI - FAAC – UNESP) encontraram diferenças significativas entre os gêneros. Razza

(2007) afirma que a força realizada pelas mulheres foi, em média, 77% daquela realizada pelos homens, com exceção de algumas variáveis (pressão de contato), especialmente com o uso de prensão digital. Nesse estudo não foi observada qualquer influência do gênero na distribuição de força entre as mãos esquerda e direita.

Paschoarelli (2009), em sua avaliação de diferentes modelos de maçanetas de porta, também aponta que os sujeitos do gênero masculino exerceram forças de torque significativamente maior ( $p \leq 0,05$ ) que os sujeitos do gênero feminino. Afirma inclusive que para as maçanetas cujas regiões da pega ficam mais próximas ao eixo de rotação (três dos cinco modelos analisados), o gênero feminino realizou perto de 69% da força realizada pelo gênero masculino, e para as maçanetas cujas regiões da pega ficam mais distantes do eixo de rotação, (dois modelos restantes), esse índice foi de 56% e 63%.

Campos (2010) também avaliou forças de torque em diferentes maçanetas juntamente com volantes de metais sanitários. A autora encontrou diferenças significativas entre gêneros, sendo que os homens realizaram as maiores forças para todos os modelos de maçanetas avaliados. Para os modelos esféricos, as mulheres realizaram cerca de 75% daquela realizada pelos homens, já para os modelos do tipo alavanca esse percentual foi de 70%. Para os volantes de metais sanitários, as mulheres realizaram forças de torque entre 58% e 69% daquelas realizada pelos homens.

A autora ainda destaca que o design das maçanetas influenciou na aplicação de forças, por ambos os gêneros e todas as faixas etárias analisadas. Além disso, quando se combinam gênero e faixa etária, as mulheres idosas são as mais prejudicadas, pois formaram o grupo de indivíduos com menor capacidade muscular. Com isso, conclui sobre a importância de se levar em consideração estas diferenças no projeto destes tipos de acionamento (CAMPOS, 2010).

Estudos envolvendo especificamente a força dos dedos indicam que as mulheres produzem picos de força 48% mais baixos do que os homens (SHINOHARA *et al.*, 2003b). Sanders e McCormick (1993) apontam ainda que o gênero feminino gera forças de aproximadamente dois terços (67%) da força do gênero masculino, podendo ainda variar de 35% a 89% dependendo do grupo muscular avaliado.

Isso é corroborado pelos estudos de Shinohara et al. (2003a), que avaliaram as forças nos músculos intrínsecos e extrínsecos da mão. Os autores que, embora não sejam significativas, as diferenças entre gêneros para as falanges distais (controladas primordialmente por músculos extrínsecos, 2.4.1 Biomecânica da mão humana) e proximais foram de 38% e 32,7% respectivamente. Isso indica que os músculos intrínsecos da mão exibem maiores discrepâncias entre gêneros.

Apesar destas diferenças, é necessário cautela ao fazer generalizações, pois há uma grande variabilidade na força manual entre os gêneros masculino e feminino. Por exemplo, Kong e Lowe (2005), numa avaliação de torque manual, registraram que as mulheres realizaram em média 81% da força dos homens, entretanto essa diferença não foi estatisticamente significativa. No estudo de Peebles e Norris (2000), até os 60 anos de idade não foram encontradas diferenças significativas nos torques entre os gêneros, porém os sujeitos masculinos acima dos 60 anos apresentaram torques mais elevados que as mulheres.

Shinohara et al. (2003b) realizaram um estudo no qual avaliaram as forças máximas individuais de cada dedo e também a de todos eles juntamente. Nos seus resultados, destacam a aparente similaridade na relação entre jovens e idosos; e homens e mulheres. As diferenças estatísticas foram similares no que diz respeito à idade e ao gênero. Para a subordinação foram encontradas diferenças de 46% para a idade e 39% para o gênero; e para o déficit de força foram 19% para a idade e 20% para o gênero.

#### **2.4.7 A influência da idade nas forças manuais**

A maioria dos estudos biomecânicos que envolvem a manipulação de objetos apresenta uma tendência de variação da força manual relacionada à idade do indivíduo, havendo um pico de força no início da fase adulta e um declínio gradual até o início da velhice (MATHIOWETZ *et al.*, 1985; MONTTOYE; LAMPHIYER, 1977; VOORBIJ; STEENBEKKERS, 2001).

Shim et al. (2004) relatam que o envelhecimento leva a um declínio das habilidades e forças manuais. Segundo os autores, isso se deve a uma perda tanto de seção muscular quanto de número de fibras musculares. Fatores adicionais incluem: a queda nas propriedades táteis e de sensibilidade à vibração; um aumento no tamanho das unidades motoras; à mudanças no sistema neuromuscular; e geralmente, a desaceleração das propriedades de contração muscular.

Kinoshita e Francis (1996) compararam o controle de forças de preensão entre jovens e idosos. Os resultados apontaram uma menor fricção na pele dos idosos, maiores margens de segurança (diferença entre a força aplicada e a força necessária para prevenir o deslize do objeto), mais flutuações na curva de força e maior tempo de aplicação de forças. Maiores margens de segurança podem estar relacionadas à menor fricção da pele. Estudos mais recentes, porém, descartam a hipótese de que o declínio da habilidade se deve apenas a sensibilidade tátil deficiente (SHIM *et al.*, 2004).

O envelhecimento também é associado à morte progressiva de neurônios do córtex e à sua reorganização. Neurônios do córtex nas áreas motoras e pré-motoras contribuem para a coordenação de múltiplos músculos e múltiplos dedos durante tarefas manuais cotidianas (KAPUR *et al.*, 2010). Com o envelhecimento, tecidos conectivos substituem proteínas retráteis, podendo ocasionar aumento da subordinação devido ao aumento da transmissão de força entre as estruturas que servem aos dedos individualmente (SHINOHARA *et al.*, 2003b).

Além disso, assim como observado entre os gêneros, os músculos extrínsecos e intrínsecos da mão são afetados desproporcionalmente com o avanço da idade. Shinohara et al. (2003a) realizaram avaliações de força dos dedos individualmente e também em com os dedos em conjunto. O dispositivo consistia em quatro sensores piezoelétricos suspensos por cabos, que em suas extremidades possuíam alças para cada dedo individualmente (Figura 14).

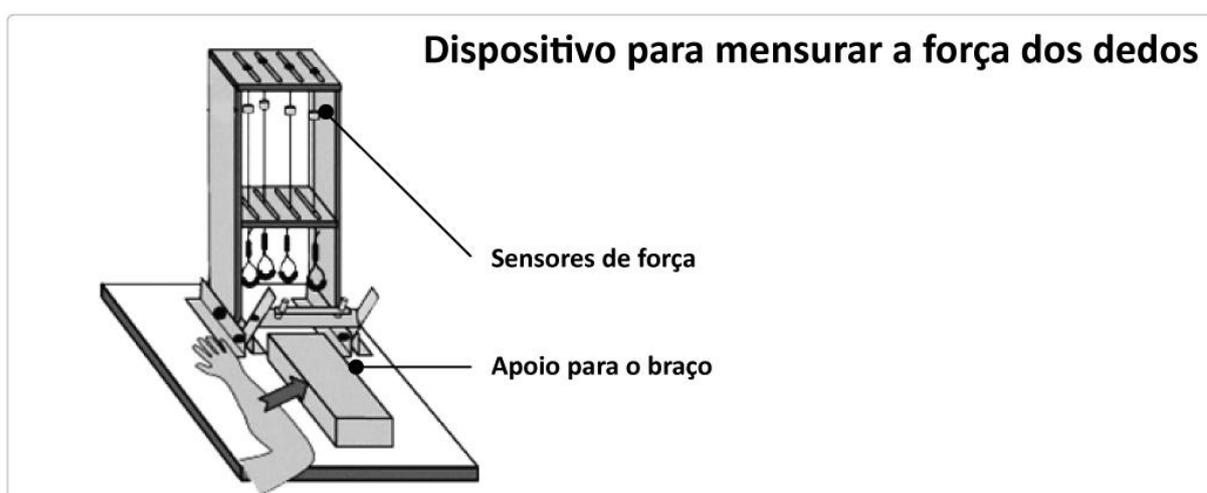


Figura 14. Dispositivo para mensurar a força dos dedos. Adaptado de Shinohara et al. (2003a, p. 1362).

O estudo contou com 24 participantes divididos igualmente entre gêneros (6 homens; 6 mulheres – média de 29 anos) e faixas etárias (6 homens – média de 87 anos; 6 mulheres – média de 76 anos). Os participantes desse estudo eram instigados a exercer suas forças máximas na direção vertical para baixo com cada dedo individualmente ou com os quatro dedos em conjunto. Além disso, também foram avaliados dois locais de aplicação de força: as falanges distais e proximais.

Com isso, pôde ser constatado que as forças máximas dos idosos foram menores do que o dos jovens em ambos os locais de aplicação. Porém a diferença foi maior em forças produzidas nas falanges proximais (29,8%) do que nas distais (19,2%) durante a produção de forças com os 4 dedos. Para as tarefas com apenas um dedo as diferenças foram de 17,1% nas falanges proximais e 14,7% nas distais. Os resultados corroboram os relatos de que a idade afeta mais os músculos distais do que os proximais.

Posteriormente, outros estudos obtiveram resultados semelhantes (SHIM *et al.*, 2004; KAPUR *et al.*, 2010). Shim *et al.* (2004), que encontraram maiores diferenças entre faixas etárias quando os indivíduos produziram suas forças máximas nas falanges proximais, em comparação às distais. As mulheres também exerceram menores forças do que os homens em ambos os locais (distal 43,6% e proximal 43%). Quando da aplicação de forças com os quatro dedos, os idosos exerceram 25% menos força do que os jovens.

Por outro lado, alguns fenômenos na aplicação de forças parecem não ser afetados pela idade. O padrão de compartilhamento de forças no teste realizado por Shinohara *et al.* (2003a) não mostrou qualquer influência da idade, tampouco do gênero. A tarefa com os 4 dedos revelou que o indicador contribuiu com as maiores forças, seguido pelo médio, anelar e mínimo, para todos os grupos, sendo afetado apenas pelo local de aplicação da força (distal ou proximal).

O aumento da idade também está relacionado à diminuição ou manutenção dos níveis de subordinação (SHINOHARA *et al.*, 2003b). Com os valores de força convertidos em porcentagem da força máxima em tarefas com os dedos individuais, a subordinação foi menor em sujeitos idosos, em media 46%. Essa aparente contradição com as previsões de alterações na subordinação sugerem a possibilidade de alterações no controle neural dos dedos, utilizando o fenômeno da plasticidade neural para aperfeiçoar o desempenho da mão.

Os autores destacam ainda que a queda na subordinação dos dedos nos idosos pode ser vista como um fator positivo no controle individual de cada dedo. Porém, isso pode prejudicar o controle sinérgico dos dedos em tarefas de preensão com vários dedos. De maneira geral, percebe-se que há uma diminuição significativa desse fator à medida que diminui a força máxima, pois também foram menores nas mulheres em comparação aos homens, em média 39%.

Kapur et al. (2010) afirmam que isso pode estar relacionado à queda no número de neurônios, em particular no córtex motor. O que pode contribuir para o aumento do grau de especialização dos neurônios restantes, aumentando o controle individual dos dedos. No entanto, os padrões de subordinação são organizados para auxiliar a estabilização dos momentos de força produzidos pelos dedos, auxiliando as ações rotacionais da mão. Considerando que movimentos rotacionais constituem um componente importante das AVD, essas alterações provavelmente contribuem para a deterioração das funções da mão com a idade (KAPUR *et al.*, 2010).

O déficit de força também é um fator afetado pelo envelhecimento. Shinohara et al. (2003a; 2003b) encontraram valores 26.5% e 19% maiores em idosos do que em jovens, respectivamente. Isso indica que os idosos perdem mais capacidade muscular quando pressionam com os quatro dedos simultaneamente. As alterações na força máxima dos dedos, subordinação e déficit de força em sujeitos idosos são similares àquelas encontradas em indivíduos jovens sob fadiga induzida por 1 minuto de força máxima com os quatro dedos (SHINOHARA *et al.*, 2003b).

Similaridades surgem quando os dados dos idosos são comparados à dados de interação dos dedos de jovens com fadiga. Entre elas as forças menores, menor subordinação e maior déficit de força. Além disso, os impulsos elétricos máximos nos músculos da mão são significativamente menores em idosos. Isso pode ser ocasionado tanto por hiperpolarização neural ou mudanças adaptativas resultantes das reduzidas propriedades contráteis dos músculos, o que pode ocasionar a queda na produção de força (SHINOHARA *et al.*, 2003b).

Com o avanço da idade, os indivíduos passam a apresentar força equivalente a adolescentes ou crianças (PEEBLES; NORRIS, 2000; 2003; IMRHAN; LOO, 1989). Peebles e Norris (2000; 2003) avaliaram forças manuais em uma faixa etária ampla da população (2 - 86 anos) e identificaram que os indivíduos de 60 a 80 anos apresentaram forças semelhantes aos indivíduos de 11 a 15 anos, e os indivíduos acima de 80 anos realizaram forças equivalentes a crianças de 6 a 10 anos.

De acordo com alguns estudos, pode-se discriminar que o período em que se obtém a força máxima está na faixa dos 25-29 anos (MONTROYE; LAMPHIYER, 1977; VOORBIJ; STEENBEKKERS, 2001) e o início da perda da capacidade muscular relacionada à idade está situado entre os 50 e 55 anos de idade (MONTROYE; LAMPHIYER, 1977; VOORBIJ; STEENBEKKERS, 2001; MATHIOWETZ *et al.*, 1986; HANTEN *et al.*, 1999).

Shim *et al.* (2004) construíram dois dispositivos para avaliar a coordenação dos dedos em tarefas de preensão estática (Figura 15). Nesse estudo os sujeitos deveriam realizar a força máxima em um sistema com uma pega fixa em formato de “T”; e outra tarefa com uma pega suspensa, devendo mantê-la em equilíbrio (estabilização de momento de forças). Nos testes não houve necessidade de estabilizar a gravidade.

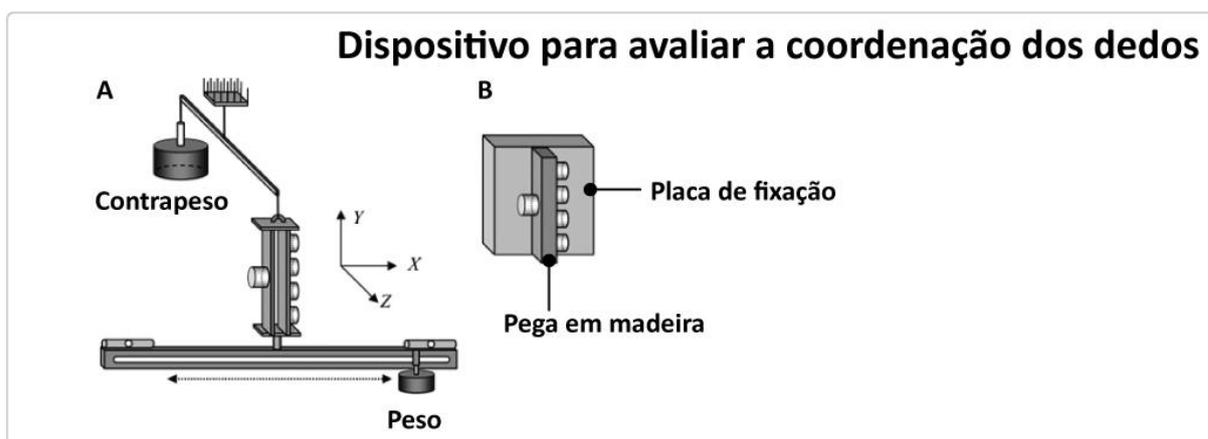


Figura 15. Dispositivos utilizados para avaliar momentos de força (A) e força de preensão (B).  
Adaptado de Shim *et al.* (2004, p. 214)

Os resultados desse estudo mostraram que os idosos têm perda substancial de coordenação dos dedos. Também demonstraram forças de aperto excessivas, mesmo em condições onde não era necessário, quando não havia carga. Além disso, demonstrou que a idade pode ser associada a um prejuízo na habilidade de produzir momentos de força elevados e precisos em relação ao tempo. Essa deficiência vai além daquelas relatadas na produção de forças manuais por pessoas idosas.

Nas comparações entre faixas etárias, houve um declínio mais acentuado na capacidade de gerar momento de força do que de força máxima. O menor controle na aplicação de forças causou a aplicação de torques opostos ao necessário, o que

prejudicou a ação correta. É possível também que a deficiência na estabilização dos momentos de força tenha contribuído para a aplicação de forças de preensão excessivas.

Estudos realizados no Laboratório de Ergonomia e Interfaces (FAAC – UNESP) encontraram diferenças significativas entre as faixas etárias. Paschoarelli (2009), em sua avaliação de diferentes modelos de maçanetas de porta, também aponta que em dois dos cinco modelos de maçanetas o grupo de indivíduos idosos exerceu forças significativamente menores ( $p \leq 0,05$ ) que os demais grupos (jovens e adultos). Para um modelo de maçaneta, apenas os indivíduos com idade entre 30 e 55 anos (adultos) apresentaram força significativamente maior ( $p \leq 0,05$ ) que os indivíduos com mais de 55 anos.

Campos (2010) também avaliou forças de torque em diferentes maçanetas juntamente com volantes de metais sanitários. Em seu estudo, a autora destaca que em todas as interfaces analisadas (maçanetas ou volantes), os indivíduos idosos exerceram forças menores do que os outros grupos. Embora não tenham sido encontradas diferenças estatisticamente significativas em todas as situações, os resultados são um indicativo das capacidades específicas desse grupo de usuários.

Conclui-se que os indivíduos idosos podem ter muitos atritos com as interfaces da vida cotidiana. Entre elas estão as embalagens, para as quais podem ser incapazes de abri-la, seja por falta de informações detalhadas sobre o processo de abertura, por redução da habilidade motora, campo visual prejudicado ou por incapacidade física de exercer a força necessária para realizar a abertura. É surpreendente que, com muitas dessas limitações, vários usuários ainda consigam abrir embalagens sabidamente problemáticas, como as de vidro de conservas.

Essa questão torna-se cada vez mais relevante à medida que aumenta a média de idade da população de diversos países ao redor do mundo. No Reino Unido, estudos indicam que em 2020, 50% da população daquele país terá idade superior a 50 anos (YOXALL *et al.*, 2006). No Brasil, dados do último Censo também revelam tendências de envelhecimento da população.

O aumento da população idosa se traduz, portanto, na redução da média de força dos usuários, indicando que haverá cada vez mais a necessidade de se desenvolver e avaliar embalagens considerando critérios ergonômicos e biomecânicos de força, baseados em estudos atuais realizados com amostras da população.

#### 2.4.8 A influência do design nas forças manuais

O design pode ser entendido como uma área de conhecimento cujos princípios baseiam-se no atendimento às exigências e expectativas do homem, por meio da concepção produtiva de bens utilitários (PASCHOARELLI, 2009). Uma das suas principais atribuições é o projeto da interface desses bens com o ser humano e, por isso, o conhecimento das capacidades e limitações humanas é indispensável.

Como uma das principais atividades que determinam as características de uma interface, cabe ao design atribuir as características que tornarão o uso dos produtos ou sistemas eficientes, confortáveis e seguros. Para isso, o profissional da área deve escolher entre a utilização de formas geométricas ou antropomorfas, superfícies texturizadas ou lisas, cores, materiais e muitos outros aspectos que devem conferir ao objeto em questão condições de uso adequadas.

Especificamente nas interfaces manuais, sabe-se que as características do objeto, como a sua textura (FLANAGAN *et al.*, 1995; SANTELLO; SOECHTING, 2000; ZATSIORSKY *et al.*, 2002; EDIN *et al.*, 1992), ou a curvatura da superfície (GOODWIN; WHEAT, 1992) influenciam a percepção de peso e a força de contato, o que pode induzir o sujeito a variar a força aplicada. As forças de preensão se tornam maiores para objetos com superfícies mais lisas (AOKI *et al.*, 2006). Nesse caso, essa variação devido ao atrito não parece ser relacionada a nenhuma tarefa específica (BURSTEDT *et al.*, 1997; KINOSHITA *et al.*, 1995).

Segundo Wings e Santello (2005), a magnitude das forças normais produzidas por cada dedo usado para pressionar e segurar um objeto varia com a massa e posição do centro de massa do objeto. A massa do objeto é uma característica importante na aplicação de forças, assim como o coeficiente de atrito (BURSTEDT *et al.*, 1999), a curvatura da superfície (JENMALM *et al.*, 1998) e eventuais torques necessários para estabilizar a pega (KINOSHITA *et al.*, 1997).

Quando os sujeitos manipulam objetos com superfícies diferentes para cada dedo, eles dimensionam a força independentemente baseados nas condições de atrito locais naquele dedo (BURSTEDT *et al.*, 1997; EDIN *et al.*, 1992). Aparentemente, os ajustes táteis dos dedos têm uma função importante no equilíbrio de forças. Sob condições assimétricas de superfície, quando os atritos no polegar e no indicador são diferentes, os sujeitos inclinam o objeto na direção do lado mais escorregadio (EDIN *et al.*, 1992).

É necessário, portanto, que as escolhas projetuais reflitam o conhecimento dos requisitos da tarefa e das características que devem ser agregadas à interface do produto com o usuário. A escolha de materiais, texturas e formas deve levar em consideração as capacidades manipulativas dos usuários ante essas características, de modo a não prejudicar a usabilidade do produto. Nesse sentido, muitos estudos ergonômicos têm focado as características ótimas de um design para prevenir lesões e melhorar a usabilidade.

Lu et al. (2008) analisaram as forças de interação da mão e o esforço do polegar causado pelo uso de três modelos de pipetas (Figura 16). Os autores apontam que o esforço repetitivo do polegar pode resultar em fadiga muscular da mão. Segundo os autores, forças exercidas pelo polegar e mão com desvio ulnar em tarefas com pipetas também representam um fator de risco para o desenvolvimento de DORT.



Figura 16. Modelos de pipetas avaliados. Fonte: Lu et al., (2008, p. 19).

Para avaliar os modelos, os autores desenvolveram uma luva dotada de sensores de força na superfície palmar e elaboraram um sequencia de tarefas utilizando os três modelos. Os resultados desse estudo revelaram que a força exercida mão durante as tarefas com pipetas são ditadas pelo design da pipeta, independentemente da tarefa, posição corporal e volume da amostra transportada. Essa afirmação se tornou ainda mais contundente para o dedo polegar, diretamente envolvido nas atividades.

Campos (2010) e Paschoarelli (2009) destacam em seus estudos que as diferenças entre gêneros ou faixas etárias do seu estudo foram influenciadas pelo desenho da interface. Em ambos os estudos, as maçanetas de formato aproximadamente esférico ofereceram os menores valores de força de torque para

os grupos e causaram as maiores diferenças entre eles. As maçanetas do tipo alavanca aumentaram significativamente a capacidade de aplicação de forças dos grupos com menores capacidades biomecânicas (idosos e mulheres).

Domalain et al. (2008) avaliaram a força de preensão necessária para segurar objetos de diferentes dimensões. Os seus resultados demonstram que a força de preensão aumenta em função da largura do objeto. Os participantes adotaram uma postura potencialmente lesiva com o objeto de 35 mm. Não foram encontradas diferenças significativas na força necessária para segurar objetos de até 95 mm.

Do ponto de vista ergonômico, os resultados obtidos nesse estudo demonstram que não existe um tamanho ideal para um determinado objeto, visto que isso depende da tarefa a ser executada (DOMALAIN *et al.*, 2008). Se o objetivo exige a força máxima, dimensões em torno de 75 mm parecem ser adequadas, porém se o objetivo é executar uma tarefa com a menor força possível, dimensões em torno de 35 mm são adequadas.

Porém, o design da interface requer a consideração de muitos outros aspectos e elementos como ranhuras, texturas, e formas que permitam um maior atrito ou acoplamento da mão. A presença de ranhuras ou texturas interfere no torque, melhorando a capacidade de aplicar força devido ao atrito (PEEBLES; NORRIS, 2000). Outros estudos indicam que dependendo do diâmetro da tampa (abaixo de 74 mm), a aplicação de força de torção não é realçada com a utilização de ranhuras na superfície (IVERGARD et al., 1979 apud IMRHAN, 1994).

Kinoshita et al. (1996) também acrescentam que os fatores psicológicos podem influenciar na relação preensão - dimensões da pega. Os autores mencionaram estudo de Gordon et al. (1991), no qual indivíduos que levantam objetos de massa igual, mas tamanhos diferentes, acabam por inferir que os menores são mais pesados. No entanto, os sujeitos acabam exercendo maiores forças de preensão nos objetos de maiores dimensões.

Dahrouj (2009), destaca entre as diversas variáveis que influenciam a capacidade de aplicação de torque, o design das tampas das embalagens. O estudo da autora não indica determinada combinação de características para se desenvolver tampas seguras, mas os seus resultados apontam que a variação dimensional da superfície de contato, influenciada pelo aumento do diâmetro e altura da tampa, interfere de forma significativa na aplicação de forças.

Bastos (2006) salienta que atualmente os esforços das empresas estão centrados na segurança do produto; conveniência na abertura e fechamento; e nas características de barreira oferecidas pelos sistemas de fechamento. O mercado mundial e o brasileiro vêm desenvolvendo tampas diferenciadas em desenho, características de lacres, segmentos de roscas, materiais e características técnicas que podem exercer influências na retenção ou difusão de gases através dos materiais das tampas e pela sua interface com a “boca” da garrafa.

No entanto, é preciso levar em consideração o lado humano dessa interface. Um sistema que forneça o melhor fechamento pode não fornecer condições de uso adequadas aos seus usuários. Compreender e melhorar o processo de abertura das embalagens é cada vez mais importante para a indústria, uma vez que elas funcionam como atrativo ao consumidor no ponto de venda. Mesmo assim, uma vez que um consumidor tenha dificuldades ao manusear o produto, pode optar por não adquiri-lo novamente.

### **3 OBJETIVO**

O objetivo geral desse estudo foi avaliar e analisar a influência do design na aplicação de forças manuais durante o processo de abertura de embalagens PET para refrigerantes.

Para essa finalidade, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar um ensaio prospectivo para verificar a magnitude de forças de torque necessárias para realizar a abertura das embalagens PET para refrigerantes;
- Realizar uma avaliação biomecânica (preensão de torque), em atividades simuladas com indivíduos adultos brasileiros de diferentes gêneros e faixas etárias, utilizando embalagens PET de diferentes formatos;
- Avaliar a percepção de dificuldade do usuário para cada embalagem analisada;
- Com base nos dados coletados, realizar estimativas sobre a acessibilidade desses produtos para os diferentes grupos de indivíduos.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse estudo foi realizado em duas etapas. A primeira etapa consistiu em um ensaio prospectivo das magnitudes de forças de torque necessárias para realizar a abertura das embalagens. Para isso, foram adquiridos exemplares dos produtos (refrigerantes) no mercado local. A segunda etapa consistiu na coleta de dados junto à amostra da população local. Posteriormente, foram realizadas as comparações estatísticas, que permitiram analisar as variações segundo grupos de usuários e inferir a capacidade de abertura das embalagens pela população.

### 4.1 Equipamentos

Neste estudo foram avaliadas as forças de torque (momento de força) manual fixo no sentido anti-horário, por meio de interfaces e equipamentos específicos, que atenderam às diretrizes e recomendações descritas por Caldwell *et al.* (1974), Chaffin e Anderson (2001) e Mital e Kumar (1998), promovendo a confiabilidade dos procedimentos.

#### 4.1.1 Ensaio das embalagens

- Dinamômetro digital (*Advanced Force Gauge* - AFG 500N - Mecmesin Ltd., UK – Figura 17), capacidade máxima de 500N, precisão de 0,1%. Este equipamento foi utilizado para indicar os valores obtidos durante o ensaio das embalagens;

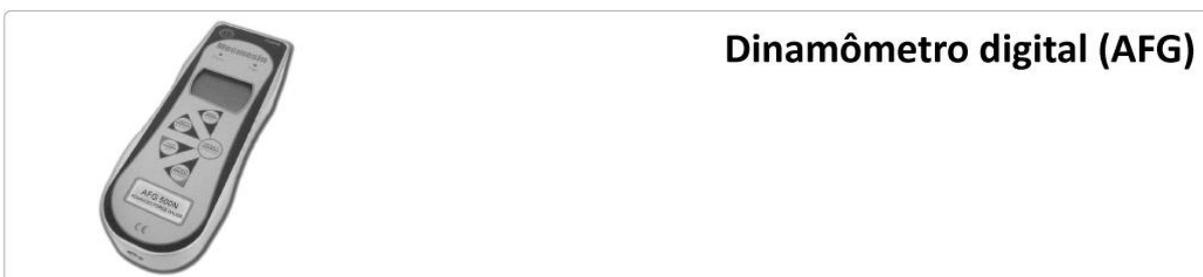


Figura 17. Dinamômetro digital (AFG 500).

- Transdutor de torque estático (*Static Torque Transducer* - STT - Mecmesin Ltd., UK) Modelo ST 100-872-003, com capacidade máxima de 100 N.m (Figura 18). Utilizado para mensurar a força de torque durante a abertura das embalagens;

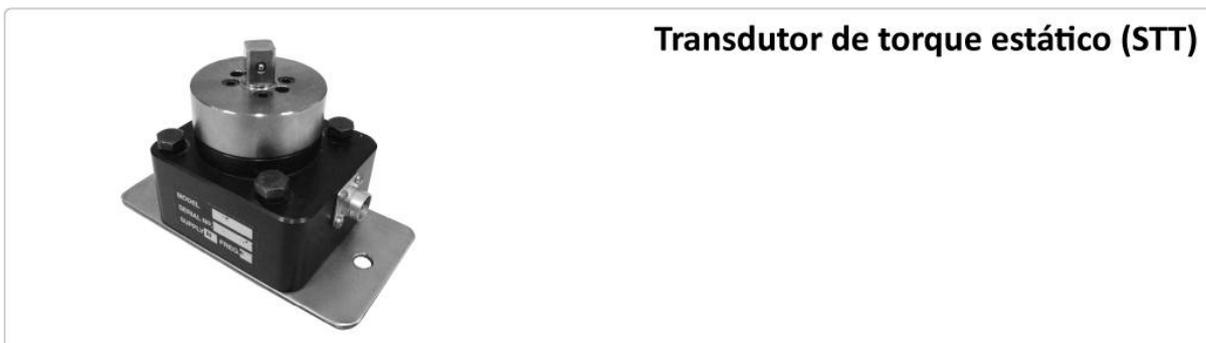


Figura 18. Transdutor de torque estático (STT).

- Termômetro digital infravermelho (modelo DT320) com range de  $-50$  a  $320^{\circ}\text{C}$  e precisão de  $0,1^{\circ}\text{C}$  (Figura 19). Utilizado para aferir a temperatura das embalagens no instante do ensaio;

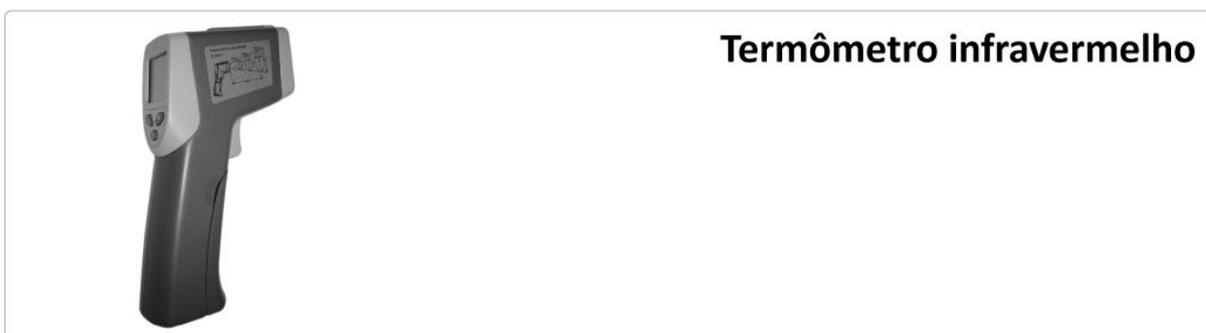


Figura 19. Termômetro digital infravermelho.

- Estrutura metálica para fixação das embalagens. Essa estrutura foi feita de aço inoxidável, consistindo em uma base circular com duas abas reguláveis, que realizam a fixação da embalagem no centro da base. A base possui um encaixe tipo macho-fêmea com o STT, que por sua vez é conectado por meio de cabeamento específico ao AFG, utilizado para realizar a leitura dos valores de força. A estrutura montada pode ser vista na Figura 20;



Figura 20. Dispositivo utilizado na avaliação da força de torque para abertura das embalagens.

- 48 unidades de refrigerantes em embalagens PET de marcas, sabores e capacidades variadas (2L a 3,3L). Foram adquiridas três unidades de 16 modelos diferentes, totalizando 48 unidades (Figura 21). Todos esses produtos foram adquiridos em um único estabelecimento na cidade de Bauru - SP;

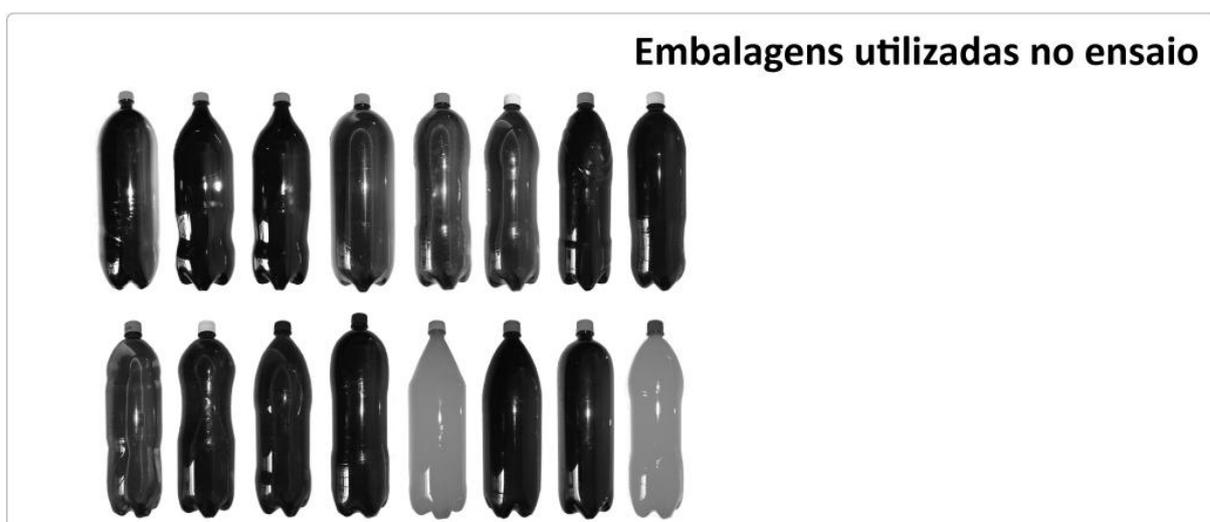


Figura 21. Diferentes modelos de embalagens avaliados no ensaio.

#### 4.1.2 Coleta de dados com a amostra

- Protocolos de pesquisa: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE – Apêndice A), e um Protocolo de Identificação (Apêndice B). Esse último protocolo continha questões sobre experiências anteriores com embalagens PET, incluindo a ocorrência de dificuldades e a solução encontrada para abrir a embalagem.

- Escâner digital de mesa modelo CanoScan Lide 100 do fabricante Canon™ (Figura 22). Utilizado para obtenção das características antropométricas das mãos dos voluntários, segundo métodos de biofotogrametria descritos por Muniz *et al.* (2010);



Figura 22. Escâner digital utilizado na biofotogrametria.

- Computador portátil modelo *Compac NX6105* da marca HP™. Utilizado para registrar as imagens obtidas pelo escâner (Figura 23);

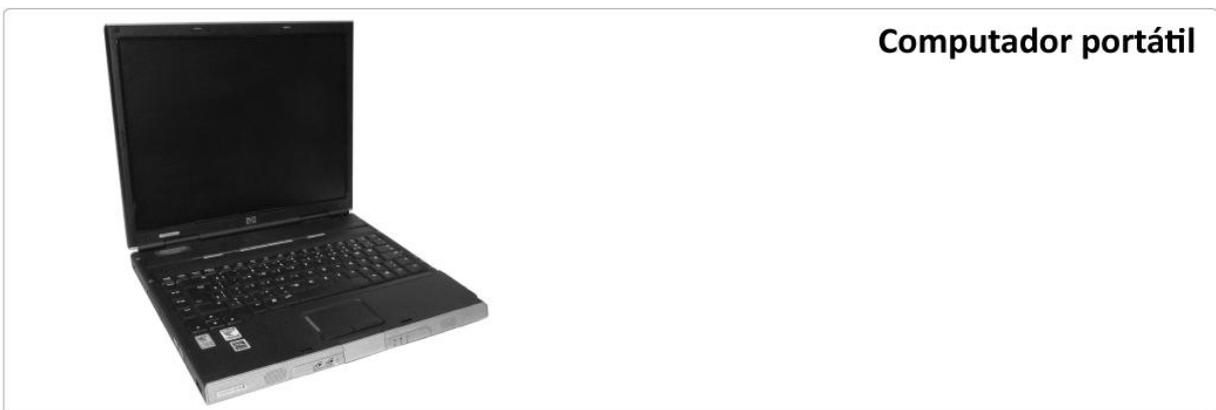


Figura 23. Computador portátil.

- Transdutor móvel de torque (*Static Torque Screwdriver - STS - Mecmesin Ltd., UK*) ST10 – 871 – 101, com capacidade de 10 N.m (Figura 24). Este equipamento foi utilizado para mensurar as forças de torque durante os procedimentos de coleta;



Figura 24. Transdutor móvel de torque (STS).

- Dinamômetro digital (AFG 500N - Figura 15), descrito no item 4.1.1 Ensaio das embalagens. Utilizado para registrar os valores de força máximos mensurados pelo STS;
- Estrutura metálica, adaptada do estudo de Campos (2010). Essa estrutura possui três tampos (Figura 25): o primeiro (1) para a escala de classificação utilizada pela autora; o segundo (2) para apoio dos instrumentos de coleta; e um terceiro (3), que foi adaptado para fornecer apoio aos modelos de embalagens. Esse último proporcionou uma altura de trabalho de 850 mm (altura de apoio dos modelos). A altura desse tampo corresponde a um valor intermediário entre as mesas de cozinha (780 a 800mm) e as pias de cozinha (920 mm);

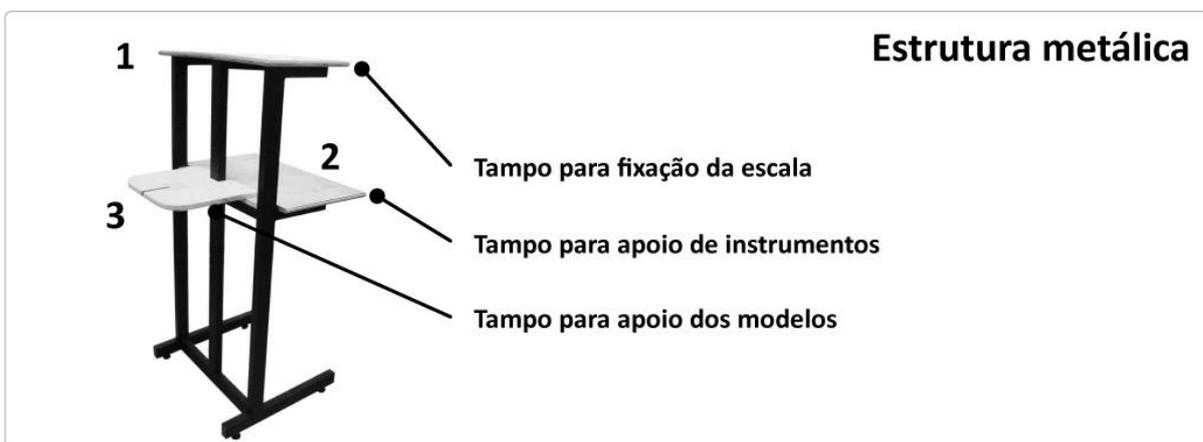


Figura 25. Estrutura metálica.

- Escala de percepção de dificuldade (Figura 26). Trata-se de uma escala *Likert* de cinco âncoras desenvolvida para tornar o processo de atribuição de valores intuitivo e fácil para todos os sujeitos. Os níveis foram rotulados como: alguma dificuldade, pouca dificuldade, razoável, muita dificuldade, e extrema dificuldade. Essa escala foi colada no tampo 1 do item anterior;



Figura 26. Escala de percepção de dificuldade.

- 5 diferentes embalagens plásticas disponíveis comercialmente na cidade de Bauru - SP, nas quais foi acoplado o transdutor de torque (STS). O processo de seleção e adaptação dessas embalagens está detalhado a seguir.

## 4.2 Modelos de embalagens

Para obter apoio da indústria, foram feitos diversos contatos, por meios eletrônicos ou telefone, com diversos fabricantes de embalagens PET para refrigerantes. Apenas a *Spaipa S.A. – Indústria Brasileira de Bebidas* manifestou seu apoio, cedendo diversos modelos de embalagens para o estudo, particularmente as que pertencem à marca *Coca-Cola™*.

Ainda assim, foi necessário adquirir embalagens diferenciadas, que fornecessem características representativas do universo de produtos existente e, portanto, possam influenciar na interface da mão com o produto. Assim, foram levantados no mercado local 16 modelos com desenhos e capacidades distintas, dentre os quais foram selecionados cinco. A Figura 27 exibe as embalagens selecionadas para esse estudo.

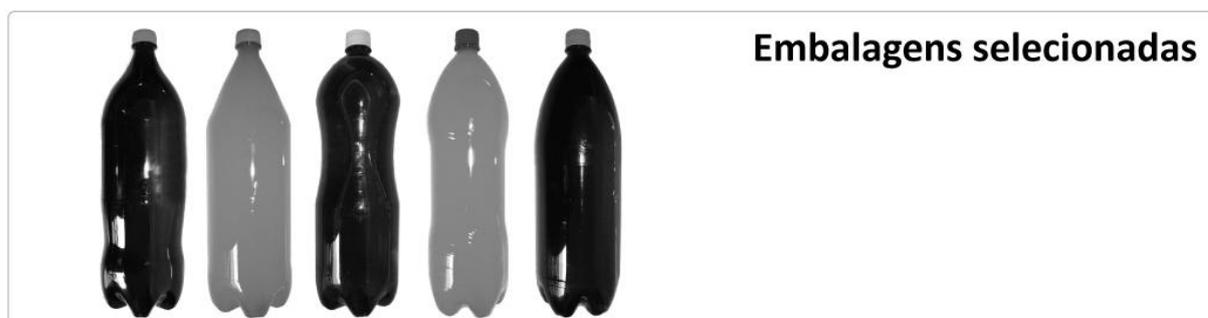


Figura 27. Modelos de embalagens PET selecionados.

Os critérios de seleção das embalagens refletiram as suas características formais diferenciadas, principalmente na região do ombro. Foram selecionadas embalagens com a mesma capacidade (2 litros) para que se pudesse isolar essa variável e se obtivesse relativa uniformidade nas dimensões dos modelos.

Não foi imputado qualquer critério de marca ou representatividade mercadológica no processo de seleção dessas embalagens. Um detalhamento técnico preliminar desses produtos pode ser visto na Figura 28 (o detalhamento completo está nos apêndices: Apêndice C, Apêndice D, Apêndice E, Apêndice F e Apêndice G).

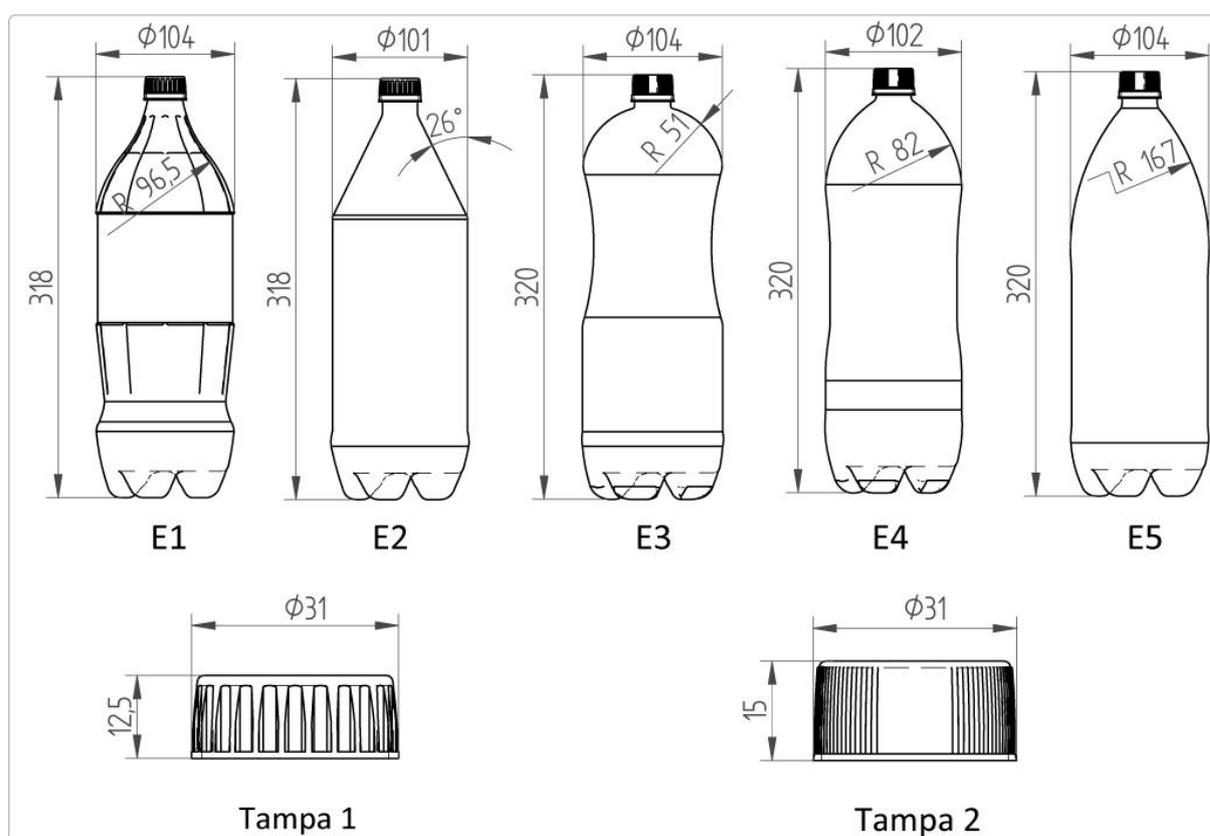


Figura 28. Detalhamento técnico preliminar das embalagens selecionadas para o estudo.

A primeira embalagem (E1) é caracterizada por um afunilamento na região do ombro, com uma inflexão de curvatura pouco antes do gargalo, proporcionando uma pega estreita e orgânica. Também possui estrias no sentido vertical, que fortalecem a estrutura e podem auxiliar na aderência das mãos.

A segunda embalagem (E2) possui um perfil triangular na região do ombro, caracterizando um tronco de cone. Possibilita uma pega estreita e geométrica, auxiliada por textura granular em uma faixa próxima à base do cone. Esses dois modelos utilizam um modelo de tampa diferenciado (Tampa 1), mais baixo e com ranhuras mais largas e profundas.

Os demais modelos (E3, E4 e E5) apresentam perfil ogival com curvaturas variadas. O modelo E3 possui o maior diâmetro desses últimos e a pega mais larga, sem qualquer textura. Observa-se também um estreitamento (“cintura”) na região do corpo desse modelo. O modelo E4 possui uma ogiva média e com estrias sinuosas no sentido circunferencial, na região do ombro. O modelo E5 apresenta uma ogiva estreita e alongada, com textura granular na região do ombro. Esses três últimos utilizam uma tampa mais alta e com ranhura fina (Tampa 2).

#### **4.2.1 Dispositivo de acoplamento**

Para possibilitar o acoplamento do transdutor de torque (STS) aos modelos foi necessário elaborar um sistema que permitisse a sua fixação adequada. Porém, ele deveria oferecer também a flexibilidade necessária para que a troca de embalagens fosse feita de maneira rápida e eficiente, conferindo agilidade aos procedimentos de coleta. Assim, foram aproveitadas as características do STS, que exhibe seção transversal com quatro faces planas para garantir que o mesmo fosse fixado no modelo.

O sistema de acoplamento elaborado (Figura 29) consiste em dois estágios de fixação, sendo o primeiro fixo na embalagem (B) por meio de uma abertura quadrangular no fundo da mesma, por onde um duto de seção quadrada (D) se insere. Esse duto é confeccionado com uma placa de poliestireno de 3 mm de espessura, sendo fixo e mantido em posição por meio de espuma de poliuretano expansível (E), injetada também pelo fundo da garrafa. O segundo estágio consiste em um duto de seção quadrada, confeccionado em chapa de aço inoxidável AISI 416 com 1 mm de espessura (F), com dimensões menores que o anterior, no qual o STS (G) é fixo.

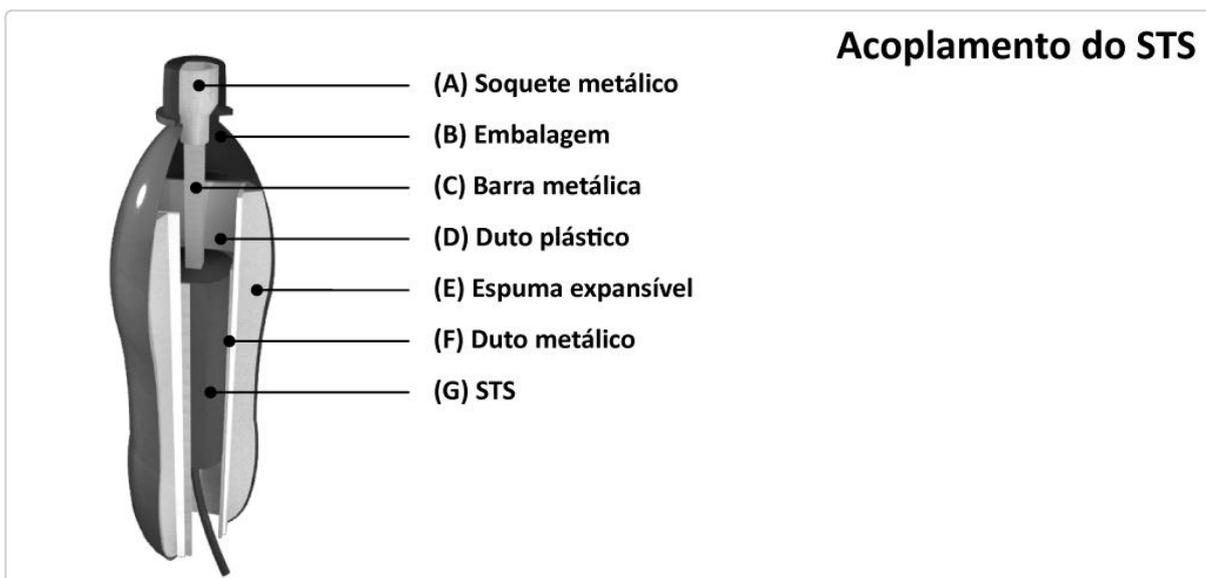


Figura 29. Esquema do sistema de acoplamento do transdutor de torque (STS) às embalagens.

Para as tampas correspondentes aos modelos de embalagem, foram fixados soquetes metálicos com encaixe rápido por meio de preenchimento com resina poliéster. Esse acoplamento é comum em kits para reparos mecânicos, nos quais uma esfera embutida no eixo permite a troca rápida de ferramentas. A região de rosqueamento no corpo da embalagem foi removida no processo de adaptação, assim como nas tampas o preenchimento com resina anulou essa funcionalidade. O esquema de fixação poder ser visualizado na Figura 30.



Figura 30. Sistema de encaixe rápido nas tampas das embalagens.

A inserção do tubo metálico no modelo é feita de forma rápida, eficiente e silenciosa devido ao baixo atrito entre as superfícies metálicas do duto interno e a polimérica do duto externo. Além disso, como a espuma expansível torna-se rígida no interior da garrafa, fornece fixação e resistência extra ao perfil em poliéster. Na Figura 31 é possível visualizar o sistema de encaixe dos modelos.



Figura 31. Sistema de encaixe dos modelos.

Devido à cor de algumas embalagens PET ser verde, optou-se por uniformizar todas elas a partir desse padrão. Antes da fixação do duto no modelo, foi aplicada uma camada de tinta acrílica verde no interior da embalagem. Isso garantiu que a película não entre em contato com as mãos, evitando o desgaste ou a interferência nas condições de atrito da interface.

#### 4.2.3 Considerações de uso

Algumas embalagens destinadas ao manuseio possuem indícios de como os usuários devem manipulá-las. Comumente isso é feito com um estreitamento ou textura diferenciada, que aumenta a estabilidade e firmeza durante a manipulação. O mesmo nem sempre é verdadeiro para as embalagens de refrigerantes, pois embora algumas possuam um estreitamento ou textura, em grande parte delas não é possível identificar visualmente onde deve ser efetuada a pega.

Para o caso específico das tampas das embalagens PET, embora seja evidente a necessidade de sua manipulação, não há um padrão específico de pega para realizar a abertura. Com a possibilidade de diversos tipos de preensão para as tampas, os dados podem não refletir os diferentes designs das tampas, e sim as diferenças ocasionadas pelas diferentes pegas utilizadas (seja no corpo, seja a tampa).

Uma vez que o estudo atual objetiva avaliar apenas o design da embalagem, tanto do corpo quanto da tampa, será importante analisar as características da interface da garrafa (especialmente do ombro) e da tampa com as mãos dos sujeitos. Com exceção de dois modelos (E1 e E2), as garrafas possuem tampas de 31 mm de diâmetro e 15 mm de altura, acrescidas de um anel de segurança com 4 mm de altura, caracterizando um padrão de sistema de fechamento. Como as roscas internas foram removidas, estas não influenciarão nos dados coletados.

Entretanto, para definir os procedimentos da coleta, foi realizado um levantamento prévio por meio de questionário eletrônico. Neste, os respondentes indicaram como interagem com essas embalagens durante o processo de abertura. As questões abrangeram a pega utilizada na tampa, a pega utilizada no corpo, o posicionamento da embalagem durante o processo, a ocorrência e a percepção do nível de dificuldade para abrir esse tipo de embalagem.

Todos os respondentes consentiram livremente sua participação, conforme procedimentos globais da pesquisa. Participaram dessa etapa 134 indivíduos, sendo 46 do gênero masculino e 87 do gênero feminino. Os resultados (Figura 32) indicaram que a maioria dos indivíduos realiza a abertura das embalagens adotando uma pega de oposição lateral ao indicador para a tampa (68%), segurando a embalagem pelo ombro (53%) e com esta apoiada em uma superfície (p. e. uma mesa – 67%).

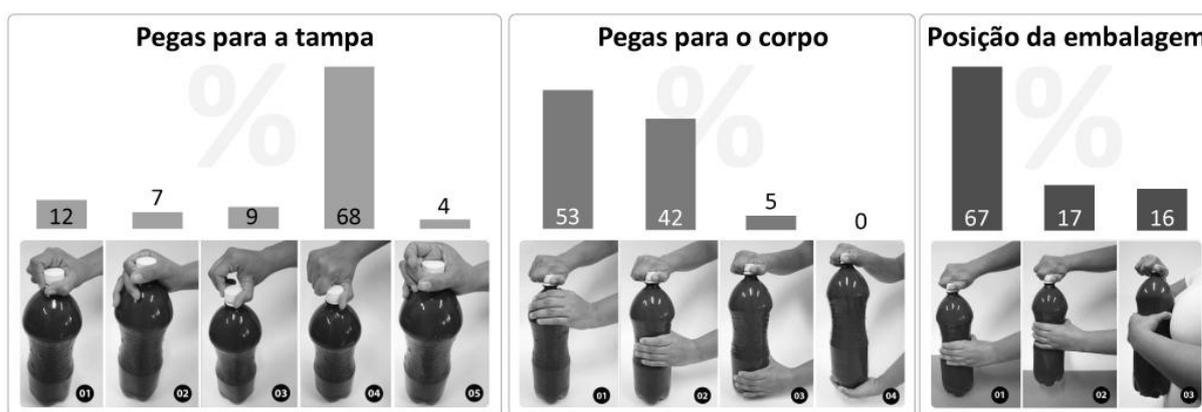


Figura 32. Resultados do questionário *online* associados às imagens apresentadas aos participantes. (valores em porcentagem).

É importante destacar que esse questionário foi concebido em múltiplas páginas (sequenciais), portanto os indivíduos visualizaram os conjuntos de imagens individualmente. Com isso, buscou-se minimizar uma possível influência das pegas apresentadas em outras etapas. Também não houve a possibilidade de respondê-lo mais de uma vez, visto que houve um filtro de endereço eletrônico. Os participantes que enviaram dados inconsistentes ou incompletos foram descartados da análise.

Quanto às questões relativas à percepção, a grande maioria dos respondentes (84%) já teve ou tem dificuldades para realizar a abertura de garrafas PET para refrigerantes (Figura 33). Aproximadamente metade (47%) dos sujeitos associou um

nível razoável de dificuldade para abrir a embalagem, enquanto outra porção considerável a classificou como de fácil abertura (34%).



Figura 33. Resultados do questionário *online* nos quesitos relativos à ocorrência de dificuldades e nível de dificuldade no processo de abertura de garrafas PET (valores em porcentagem).

De forma complementar, também houve espaço para que os sujeitos se manifestassem livremente a respeito desses produtos. Os altos índices de atritos e as “soluções” adotadas pelos participantes reforçam a necessidade de uma análise mais aprofundada desse tipo de embalagem. Os resultados dessa etapa do estudo se mostraram valiosos tanto para a definição dos procedimentos de coleta quanto para a criação de um cenário geral da usabilidade desses produtos.

### 4.3 Ensaio das embalagens

Para determinar o momento de força necessário para realizar a abertura das embalagens, todos os 48 exemplares foram resfriados em refrigerador comum até atingirem a temperatura de 10° C (média 10,42°C e d. p. 0,75°C). A verificação da temperatura foi efetuada com o termômetro infravermelho, a 50 mm de distância em uma superfície de 30 X 30 mm da embalagem, revestida com uma fita adesiva preta, conforme recomendações do fabricante.

Uma vez que o produto se enquadrasse nas condições do teste, era imediatamente fixado à estrutura e o procedimento de abertura total era realizado manualmente (Figura 34). O valor máximo do momento de força da atividade era então registrado e o modelo substituído por outro para repetição dos mesmos procedimentos. Essa técnica é similar à do estudo de Yoxall e Janson (2008), que avaliaram de vidros de conserva.

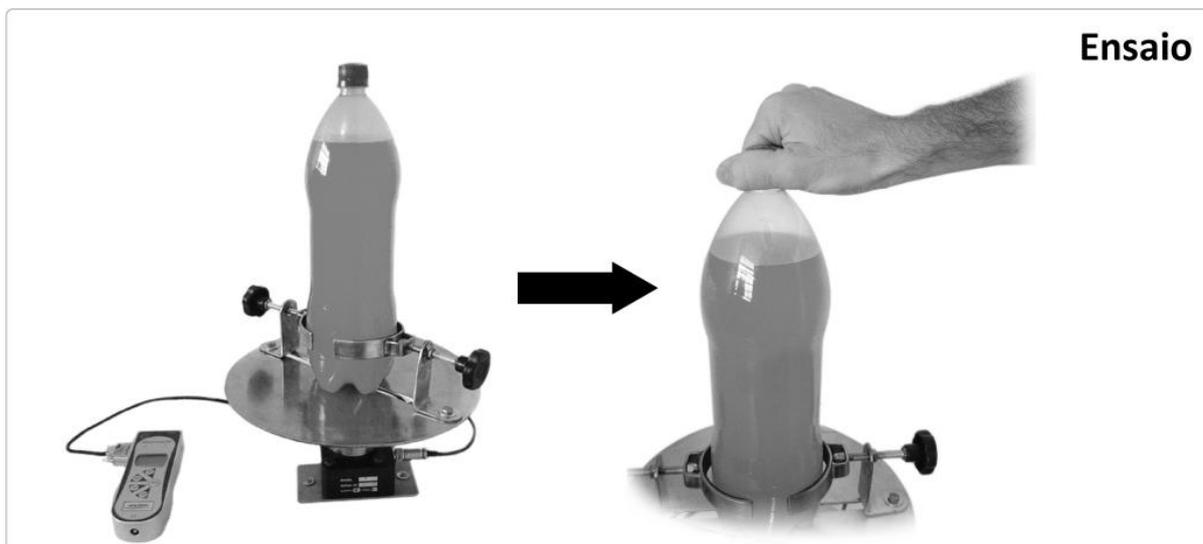


Figura 34. Procedimentos do ensaio para determinar o momento de força necessário para abrir as embalagens.

#### 4.4 Casuística

Definidos os procedimentos de coleta, passou-se à estipulação da amostra do estudo. A definição da amostragem baseou-se na teoria da inferência estatística, de acordo com Triola (1999), e aplicou-se a seguinte equação (1):

$$n = [z_{\alpha/2} \cdot \delta / E]^2 \quad (1)$$

Onde:  $n$  = tamanho da amostra;  $z_{\alpha/2}$  = intervalo de confiança;

$\delta$  = desvio padrão populacional;  $E$  = margem de erro.

O intervalo de confiança adotado foi de 95% ( $\alpha = 0,05$ ), resultando em  $Z_{\alpha/2} = 1,96$ . Uma vez que o desvio padrão populacional não é conhecido, foram selecionados os valores de forças de torque obtidos no estudo de Smith et al. (2000), referentes à tampa corrugada de 45 mm para sujeitos de ambos os gêneros e idade acima dos 16 anos. Assim, foi estimado um desvio padrão de 1,01 N.m. A margem de erro adotada foi de 10% da média, ou seja,  $E = 0,372$  N.m. Portanto,  $n = 28,32$  sujeitos.

Foi então definido um total de 180 sujeitos, sendo 60 sujeitos com idades entre 18 e 29 anos (30H e 30M – “jovens”); 60 sujeitos com idade entre 30 e 55 anos (30H e 30M – “adultos”); e 60 sujeitos com idade superior a de 55 anos (30H e 30M – “idosos”). Ressalta-se que estudos biomecânicos experimentais, diferentemente dos estudos epidemiológicos, não se caracterizam por grandes amostras, mas sim por amostras representativas da população estudada.

## 4.5 Considerações éticas

Experimentações com seres humanos devem contemplar as diretrizes do Conselho Nacional de Saúde, sob Resolução 196-1996 e da Norma ABERGO de Deontologia ERG BR 1002 (ABERGO, 2003). Assim, o projeto desta pesquisa foi encaminhado ao Comitê de Ética em Pesquisa da USC – Universidade do Sagrado Coração, tendo seus procedimentos aprovados (Protocolo: 121/09 – Anexo A).

Foi elaborado um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE - Apêndice A), o qual visa garantir que os sujeitos da pesquisa sejam informados das características do experimento. Este será realizado de forma voluntária (não remunerada), sendo apontados todos os procedimentos, e que não há nenhum tipo de constrangimento e/ou risco previsto, concedendo liberdade para que deixe de participar a qualquer momento.

## 4.6 Coleta de dados

O presente estudo caracterizou-se como transversal. A amostragem foi estratificada e probabilística, havendo convocação de voluntários junto aos membros da comunidade acadêmica ou local. Os procedimentos foram realizados nas instalações da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus Bauru; na Associação dos Aposentados de Bauru; e também na Vila Vicentina – Abrigo para velhos, em Bauru - SP.

A realização das atividades foi individual, sendo que os sujeitos, explicitados dos objetivos do estudo, leram, preencheram e assinaram o TCLE. Seguiu-se o preenchimento do protocolo de identificação, que inquiriu a identificação pessoal, dominância manual, dados sobre dificuldades enfrentadas com garrafas PET, e a ocorrência de distúrbios musculoesqueléticos até doze meses antes da realização da coleta. A ocorrência de distúrbios não foi critério de exclusão apenas para os sujeitos idosos.

Na sequência foram coletados os dados antropométricos por meio de biofotogrametria, com o uso de um escâner de mesa, segundo metodologia descrita por Muniz *et. al* (2010). As imagens foram digitalizadas em uma resolução de 200 *dpi* (pontos por polegada) e em formato JPEG. Foram selecionadas oito variáveis antropométricas para análise (Figura 35).

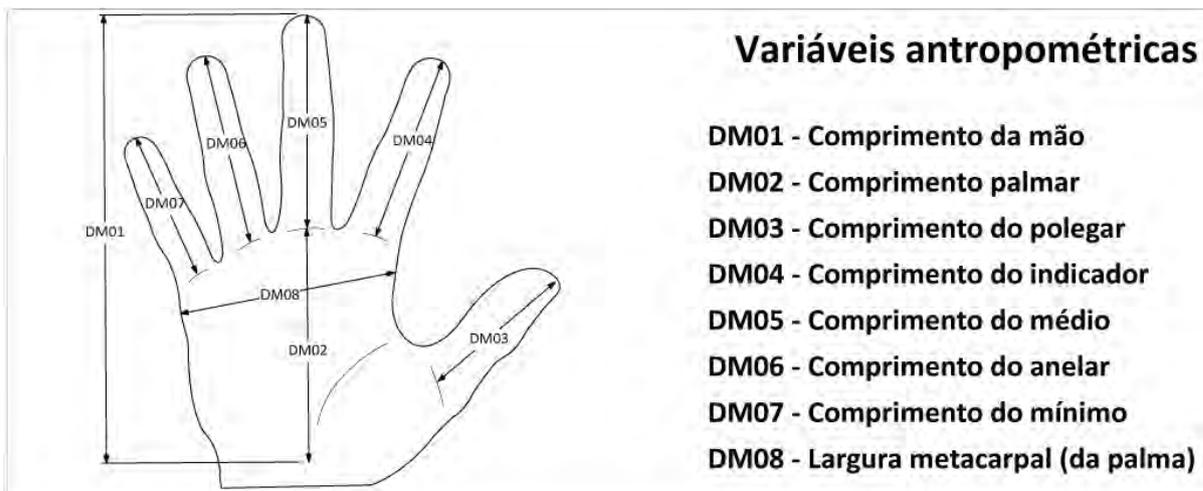


Figura 35. Variáveis antropométricas levantadas no estudo.

Após a apresentação dos equipamentos e procedimentos a serem adotados pelo participante, seguiu-se a coleta das forças máximas de torque (momentos de força máximos). O participante foi instruído a utilizar uma pega de oposição entre o polegar e a lateral do indicador, a segurar na região do ombro da garrafa e manter-se em postura ereta (em pé). Em seguida, foi solicitado exercer sua força máxima para tentar abrir a embalagem (sentido anti-horário).

Foram realizadas duas tentativas com cada mão alternadamente, com um intervalo de 30 segundos entre elas, após as quais o voluntário atribuía um valor de percepção de dificuldade para o modelo utilizado. A sequência do emprego da mão esquerda / direita na tampa, e das embalagens utilizadas foi randomizada. A Figura 36 exibe alguns voluntários participando da pesquisa.



Figura 36. À esquerda e ao centro, voluntários durante a coleta das forças de torque e, à direita, voluntário atribuindo valor à embalagem segundo a escala de percepção de dificuldade.

Os sujeitos não foram avisados previamente de que a embalagem não abriria, a não ser que manifestassem curiosidade sobre o fato. Com esse procedimento, houve a expectativa de que os participantes se esforçassem para realizar a abertura, aumentando as chances de a força exercida ser a maior possível. Quando os sujeitos indagavam se o modelo poderia ser aberto, eram informados de que o mesmo não poderia ser aberto (torque fixo, ou estático).

#### 4.7 Análises dos Dados

Os dados foram tabulados em planilha eletrônica e agrupados de acordo com as variáveis a serem estudadas (lateralidade, gênero, embalagem e faixa etária). Inicialmente foi aplicada estatística descritiva para a obtenção de média e desvio padrão para todos os conjuntos de dados. Além disso, foram gerados gráficos para a visualização dos dados de forma ilustrativa.

As imagens obtidas com a digitalização das mãos dos voluntários foram inseridas em escala 1:1 no *software Autodesk™ AutoCAD 2012®* para a obtenção das variáveis de interesse (Figura 37). A dimensão largura da mão foi ignorada devido à variabilidade na postura das mãos dos sujeitos, que posicionaram o polegar em diferentes graus de abdução, causando grande variação nos valores dessa variável.

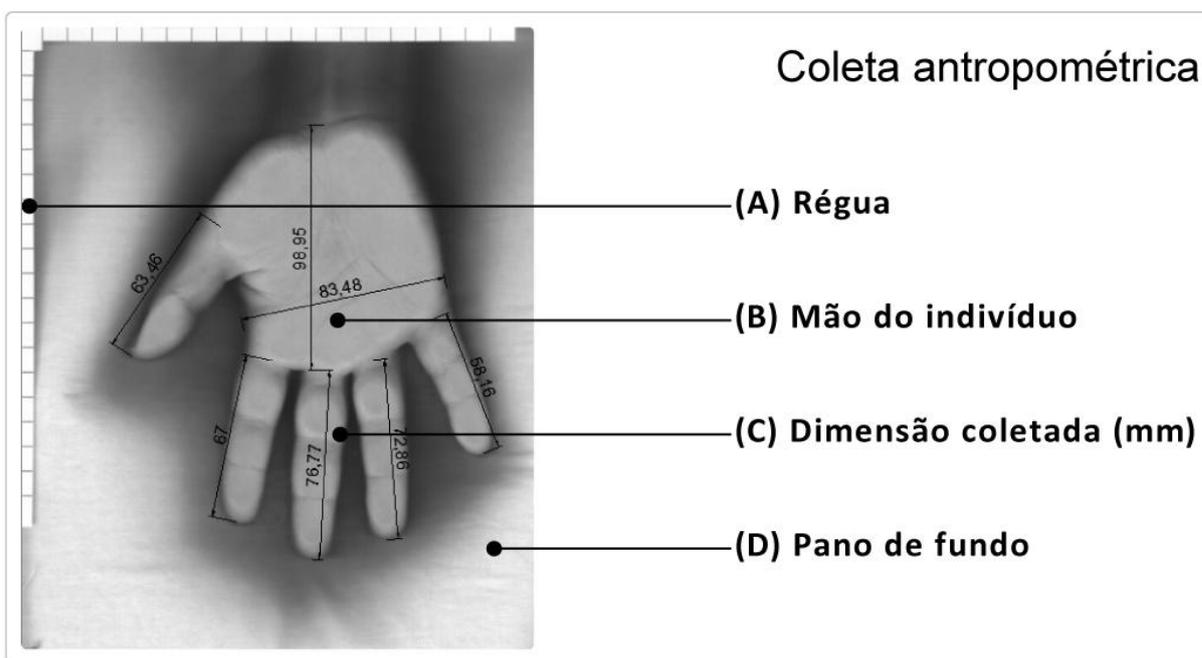


Figura 37. Coleta das dimensões das mãos dos voluntários.

Para a verificação de diferenças significativas entre os conjuntos de dados, foi utilizado o software *Statsoft Statistica 8*<sup>®</sup>. Os procedimentos de análise (Figura 38) envolveram a verificação da normalidade dos conjuntos de dados, segundo critério de *Shapiro-Wilk*; e homogeneidade, segundo o teste de *Levene*. A inobservância da normalidade **ou** homogeneidade nos dados implicou na utilização de um teste estatístico não paramétrico (*Friedman*, *Kruskal-Wallis*, *Mann-Whitney* ou *Wilcoxon*), em detrimento dos testes paramétricos (ANOVA).

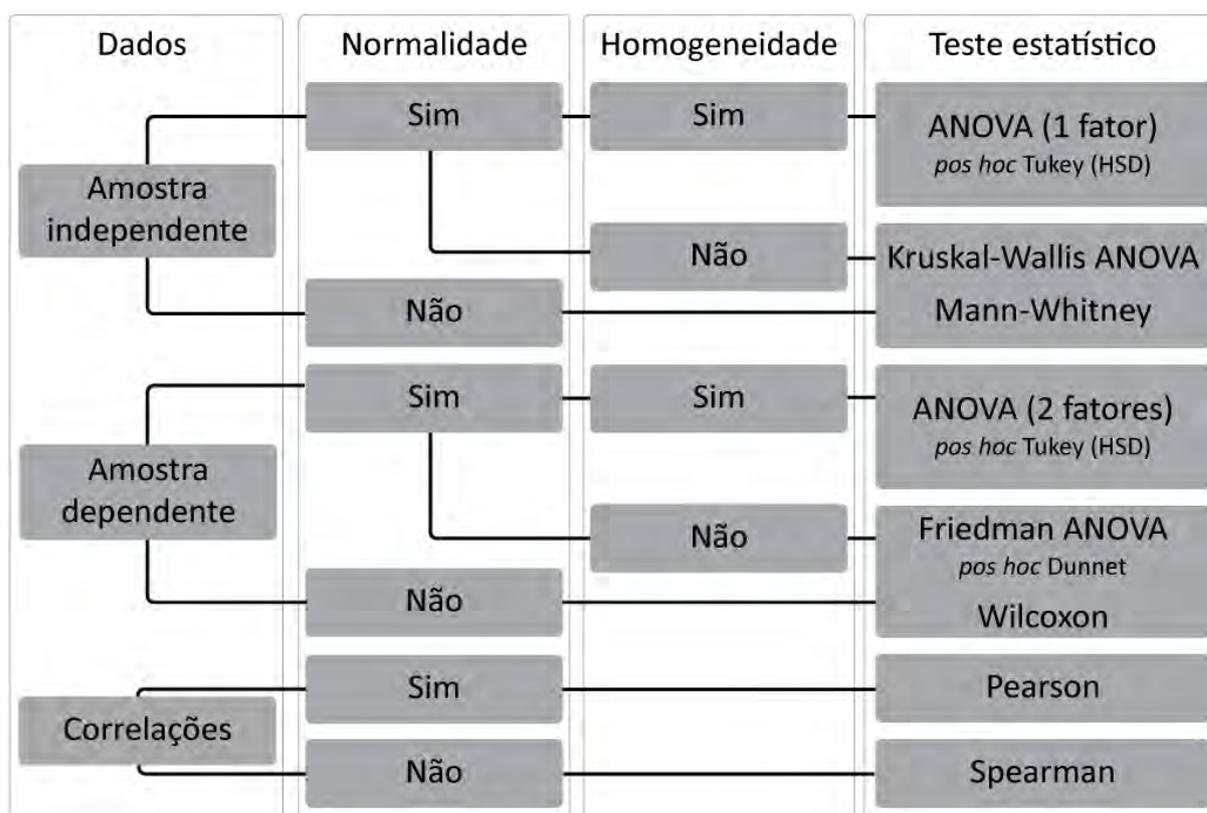


Figura 38. Fluxograma com procedimentos de análise dos dados.

Os valores obtidos com a escala de dificuldade também foram analisados por meio do referido *software*. Como os valores não são métricos, em todas as suas análises foram utilizados testes não paramétricos, incluindo as suas correlações com as variáveis biomecânicas, para as quais se utilizou a correlação de *Spearman*.

Para a comparação dos valores de força obtidos na coleta com os obtidos no ensaio das embalagens, foi utilizado o módulo “*Probability calculator*” do software *Statistica 8*<sup>®</sup>. Com isso, foi possível estimar as parcelas da população que teriam dificuldades, ou até mesmo não conseguiriam realizar a abertura desse tipo de produto.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Ensaio das embalagens

O ensaio realizado com as embalagens permitiu identificar que o momento de força médio necessário para realizar a abertura das embalagens PET é de 1,37 N.m (d. p. 0,25 N.m). Como não houve qualquer influência da capacidade, sabor ou tipo de tampa no valor obtido, não foi realizada nenhuma análise detalhada dos sistemas de fechamento (tipo de rosca, por exemplo). Fatores como a pressão interna do líquido (supostamente iguais) podem responder por essa homogeneidade.

### 5.2 Características fisiológicas dos sujeitos

Os dados levantados na coleta permitem caracterizar a amostra desse estudo. Não houve grandes disparidades entre as idades médias dos indivíduos do gênero masculino e feminino, para cada faixa etária (Tabela 01).

Dados	Faixa etária	18 a 29		30 a 55		Acima de 55	
	Gênero						
Variáveis antropométricas das mãos	<b>Idade média</b>	23,80	23,90	43,57	41,67	66,77	67,43
	<i>d. p.</i>	3,24	3,42	7,06	6,94	9,17	9,03
	<b>DM01</b>	189,63	174,26	193,10	173,26	189,82	172,07
	<i>d. p.</i>	7,42	7,11	9,38	10,31	9,30	8,20
	<b>DM02</b>	106,90	97,21	109,55	99,14	107,37	97,16
	<i>d. p.</i>	4,81	4,09	5,06	4,64	4,85	4,91
	<b>DM03</b>	74,31	65,94	73,27	63,33	72,91	65,01
	<i>d. p.</i>	3,92	4,05	5,72	5,27	4,68	4,21
	<b>DM04</b>	75,44	69,86	75,20	67,51	74,08	67,08
	<i>d. p.</i>	3,98	3,33	4,94	3,98	4,93	4,55
<b>DM05</b>	82,73	77,04	83,54	74,12	82,46	74,91	
<i>d. p.</i>	4,42	4,04	5,52	7,74	5,38	4,47	
<b>DM06</b>	76,98	71,66	78,34	69,98	77,62	70,67	
<i>d. p.</i>	7,76	3,96	5,30	4,65	5,04	4,54	
<b>DM07</b>	64,49	58,11	64,54	56,76	62,58	56,94	
<i>d. p.</i>	3,90	3,68	4,77	3,98	3,90	3,73	
<b>DM08</b>	91,26	83,00	93,71	82,61	91,57	82,96	
<i>d. p.</i>	4,75	4,28	4,94	3,22	5,31	4,74	

Tabela 01. Dados para caracterização da amostra.

Observando a Tabela 01, nota-se que mesmo para a faixa etária acima de 55 anos, onde poderia ser notada a influência da maior expectativa de vida das mulheres, não houve diferenças expressivas. No entanto, a dispersão dos dados para os grupos de 30 a 55 e acima de 55 anos permite notar que houve maior ecletismo nos sujeitos abordados.

### 5.3 Relatos dos sujeitos

Os relatos dos sujeitos sobre a ocorrência prévia de dificuldades apontam que 71,7% dos sujeitos já enfrentaram dificuldades no processo de abertura. A Figura 39 exibe os números absolutos de usuários que relataram cada uma das opções do protocolo sobre as dificuldades e as soluções encontradas. As respostas não foram mutuamente exclusivas, o que implica que o participante poderia relatar ter realizado esforço extremo e ter solicitado que outra pessoa abrisse a embalagem.

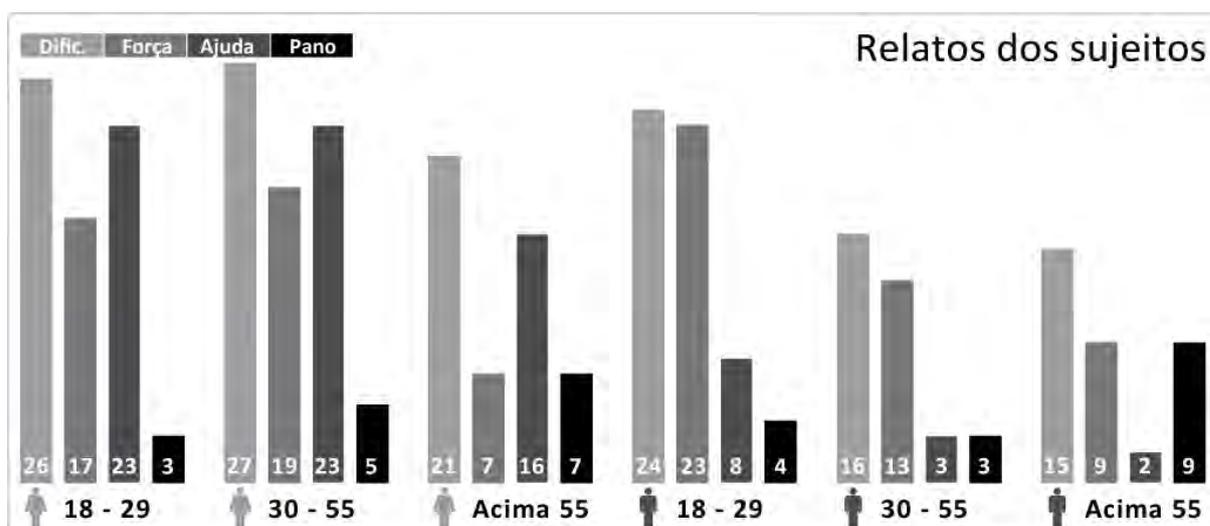


Figura 39. Números absolutos de sujeitos que relataram dificuldades em cada grupo, e principais estratégias adotadas no processo de abertura das embalagens.

Como principais artifícios para acessar o produto estão a realização de esforço extremo (48,8%), o pedido de ajuda a outro indivíduo (41,7%), e a utilização de um pano na tampa para melhorar as características de atrito ou conforto da interface (17,2%). Também houve relatos diversificados sobre outros métodos de abertura, como molhar a embalagem ou prendê-la na articulação de uma porta (batente). Além disso, alguns sujeitos mencionaram casos de ferimentos, pessoais ou de familiares, com a tampa dessas embalagens.

## 5.4 Valores máximos de momentos de força

Não houve diferenças significativas entre as duas tentativas de abertura realizadas pelos participantes com cada mão. Mesmo assim, por se tratar de avaliação de forças **máximas** de torque, optou-se por selecionar o **maior** valor dentre as tentativas para cada mão / indivíduo. Considera-se que o maior valor corresponde melhor à capacidade biomecânica de torque máximo dos sujeitos, dadas as condições da avaliação. Com isso, os resultados apresentados a seguir correspondem aos valores médios obtidos com os momentos de força máximos exercidos pelos voluntários, agrupados de acordo com a variável de interesse.

Os resultados globais das forças de torque realizadas pelos indivíduos (Figura 40) permitem identificar que o modelo E4 proporcionou condições de força significativamente melhores do que todos os demais (1,68 N.m). Na sequência aparecem os modelos E5 (1,62 N.m) e E3 (1,59 N.m), que não diferiram significativamente entre si. Por fim os modelos E2 (1,37 N.m) e E1 (1,35 N.m) também não diferiram significativamente entre si, mas com todos os demais.

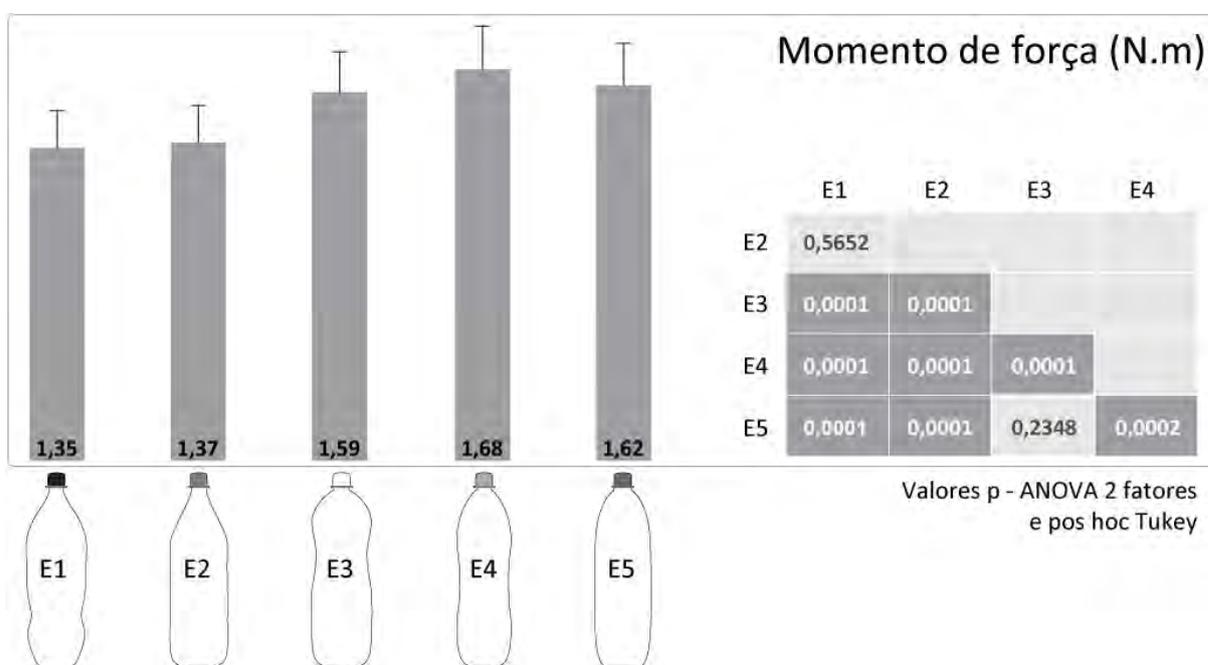


Figura 40. Momentos de força e níveis descritivos (valores-p) para cada embalagem.

Já as comparações entre mãos revelaram que, em todas as ocasiões, a mão não dominante exerceu forças significativamente menores que a mão dominante (Figura 41). Pode-se notar que os momentos de força máximos seguiram o mesmo padrão para ambas as mãos, aumentando proporcionalmente em relação aos modelos utilizados. Assim, o modelo E4 proporcionou as melhores condições, seguido do E5, E3, E2 e finalmente o modelo E1. A força da mão não dominante foi, em média, 77% da exercida com a dominante.

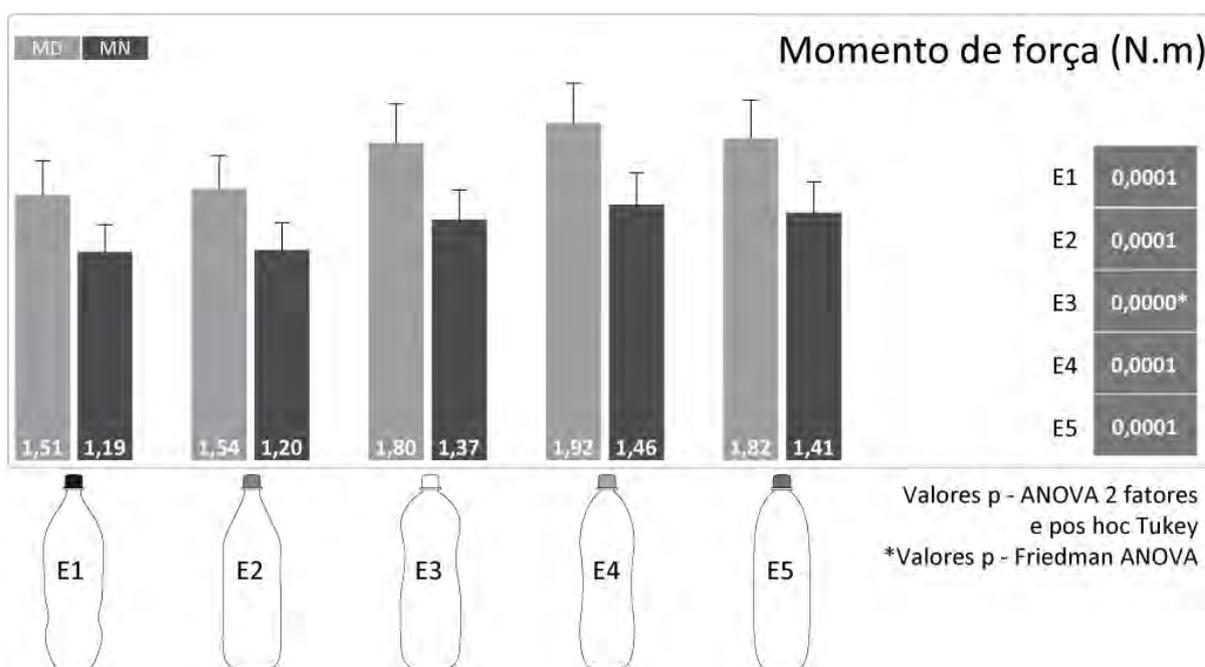


Figura 41. Momentos de força níveis descritivos (valores-p) entre a mão dominante (MD) e não dominante (MN) para cada modelo de embalagem.

Quanto às análises relativas ao gênero, o ordenamento dos modelos segundo a capacidade de aplicação de forças revelou novamente o modelo E4 com os melhores valores, seguido do modelo E5, E3, E2 e E1. Essa disposição foi a mesma, tanto para homens quanto para as mulheres. No entanto, houve diferenças significativas entre gêneros em todos os modelos, sendo que as mulheres exerceram em média 73% da força dos homens (Figura 42).

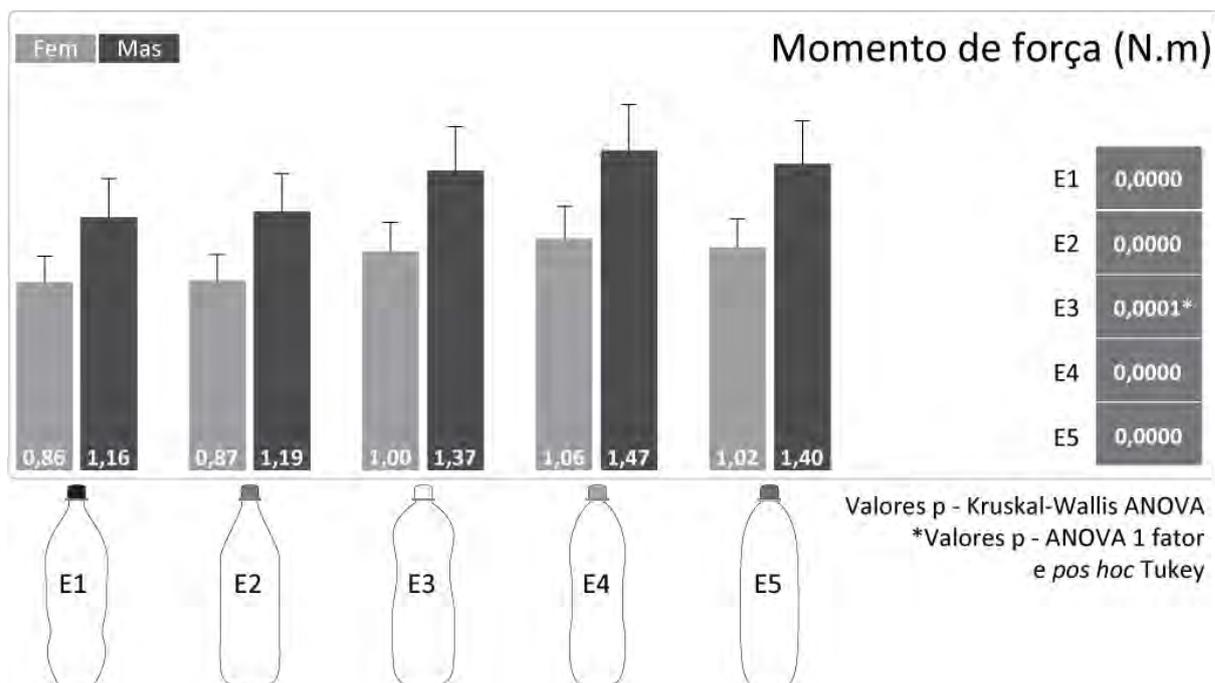


Figura 42. Momentos de força e níveis descritivos entre gêneros Feminino (Fem) e Masculino (Mas).

A análise relativa às faixas etárias revelou um comportamento similar para todas as faixas segundo o modelo avaliado. O modelo E4 novamente proporcionou as melhores condições, válidas para todas as faixas etárias. Quanto às diferenças entre os grupos, a faixa etária de 30 a 55 anos exerceu as maiores forças, enquanto que as de 18 a 29 anos e acima de 55 anos exerceram forças similares (Figura 43).

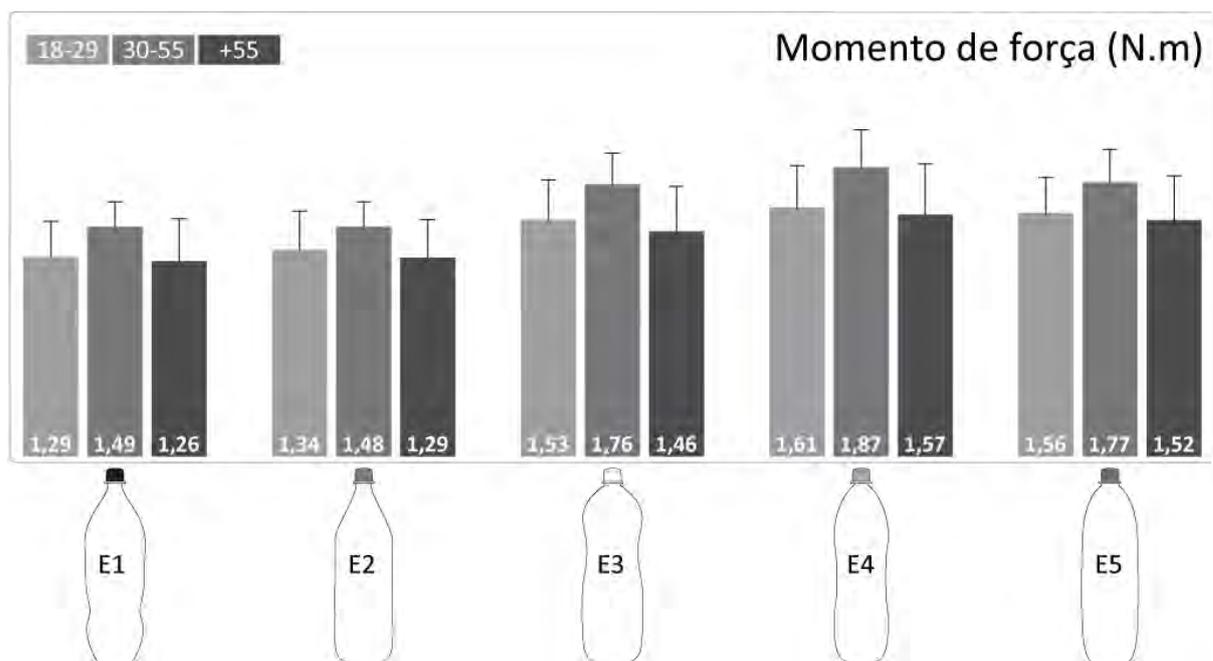


Figura 43. Valores máximos de momentos de força para cada faixa etária em todas as embalagens.

Essa observação foi comprovada estatisticamente ( $p=0,0029$ ), pois o grupo de 30 a 55 anos exerceu as maiores forças em todas as ocasiões do experimento, tanto em relação aos jovens quanto aos idosos (Tabela 02). Já a faixa etária dos 18 a 29 anos exerceu forças similares à do grupo dos idosos em todos os modelos avaliados.

Faixas	E1*		E2		E3		E4		E5	
	18-29	30-55	18-29	30-55	18-29	30-55	18-29	30-55	18-29	30-55
30-55	0,0028		0,0489		0,0029		0,0019		0,0054	
+55	1,0000	0,0006	0,6467	0,0042	0,4997	0,0002	0,7874	0,0003	0,8199	0,0008

Tabela 02. Valores-p (ANOVA 1 fator – pos hoc de Tukey / \*Kruskal-Wallis) para cada faixa etária segundo o modelo de embalagem utilizado.

Quando os grupos de indivíduos são analisados individualmente, os momentos de força máximos exercidos corroboram que a faixa etária dos 30 a 55 anos exerceu as maiores forças, tanto para o gênero masculino, quanto para o feminino (Figura 44). No entanto percebe-se que, para os homens, a diferença entre a faixa etária dos 30 aos 55 anos e as demais seja visualmente mais acentuada.

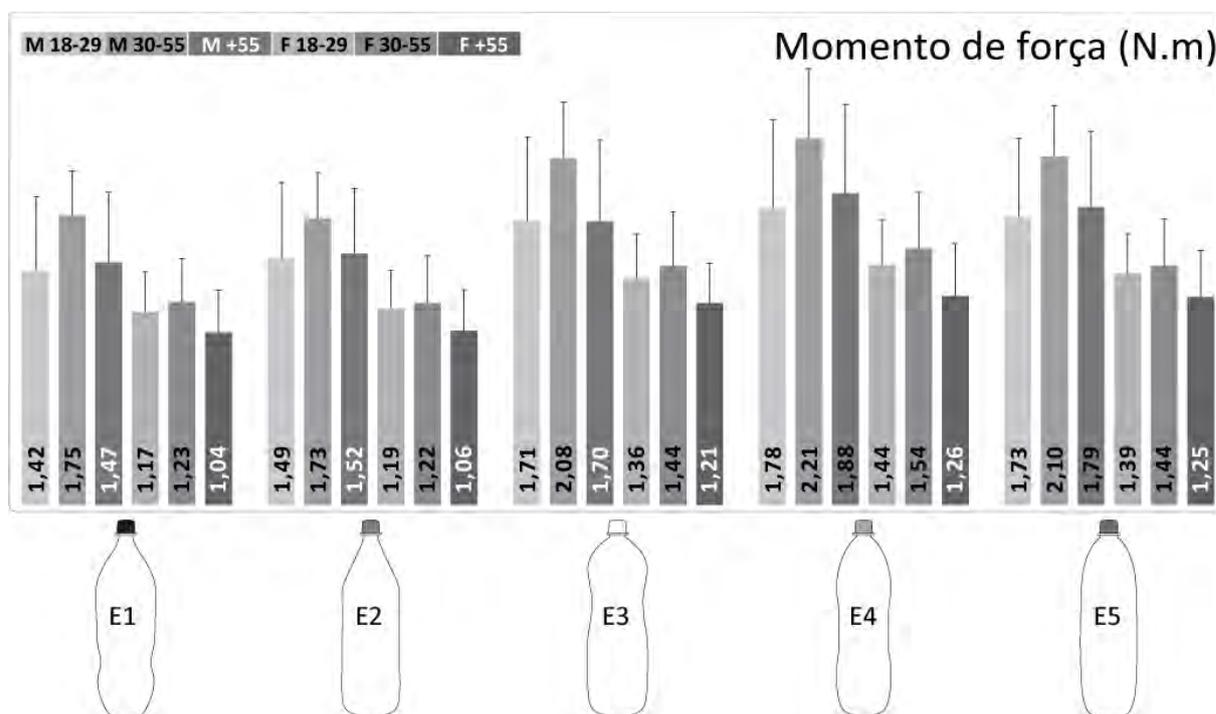


Figura 44. Valores máximos de momentos de força exercidos pelos grupos em cada modelo.

Pode-se perceber também que o padrão de alteração de forças com o avanço da idade parece ser diferente para os homens, em relação às mulheres. Os indivíduos do gênero masculino com idade entre 18 e 29 anos exerceram forças semelhantes, ou até menores do que aquelas do grupo de idosos. Já para as mulheres parece ser o inverso, o grupo de jovens exerceu forças similares ou sutilmente maiores que o grupo de idosos,

No que se refere ao comportamento dos valores máximos de momento de força segundo os designs dos modelos analisados, também se percebe um padrão semelhante ao mencionado para as análises globais. Os modelos E1 e E2 não diferem entre si, mas sim em relação ao demais (Tabela 03). É notável que os modelos E3, E4 e E5 também não diferem entre si em nenhuma situação.

A observação da Tabela 03 permite notar uma aparente divisão dos modelos de embalagens em dois grupos: o primeiro contendo os modelos E1 e E2, que possuem características formais próximas, incluindo a utilização do mesmo modelo de tampa (tampa 1); e um segundo grupo com os demais modelos (E3, E4 e E5), caracterizados por formas ogivais na região do ombro, e que também utilizam o mesmo modelo de tampa (tampa 2 - diferente do primeiro grupo).

	E1					E2					E3					E4									
	M 18 a 29 anos	M 30 a 55 anos	M + 55 anos	F 18 a 29 anos	F 30 a 55 anos	F + 55 anos	M 18 a 29 anos	M 30 a 55 anos	M + 55 anos	F 18 a 29 anos	F 30 a 55 anos	F + 55 anos	M 18 a 29 anos	M 30 a 55 anos	M + 55 anos	F 18 a 29 anos	F 30 a 55 anos	F + 55 anos	M 18 a 29 anos	M 30 a 55 anos	M + 55 anos	F 18 a 29 anos	F 30 a 55 anos	F + 55 anos	
E5	N						N						N						N						
		S						S						N						N					
			S						N						N						N				
				S						S						N						N			
					N						S						N						N		
						S						S						N						N	
E4	S							N						N											
		S						S						N											
			S						S						N										
				S						S						N									
					N						S						N								
						S						S						N							
E3	N						N																		
		S						S																	
			N						N																
				S						N															
					N						S														
						N						N													
E2	N																								
		N																							
			N																						
				N																					
					N																				
						N																			

Tabela 03. Tabela de comparações estatísticas entre os momentos de força aplicados nos modelos de embalagens por grupo de usuários (N – Não significativo; S – Significativo).

Quanto às estimativas, para efetuar a comparação entre as forças necessárias para a abertura dos produtos e os valores obtidos na coleta de dados com os participantes do estudo, foram considerados os maiores valores da coleta (efetuados com a mão dominante). Essa escolha reflete a pressuposição de maior proximidade com a capacidade real de produção de força de um sujeito, indicando o sucesso ou falha na abertura do produto. Para o cálculo dessas probabilidades, assumiu-se que todos os grupos têm distribuição normal.

Os resultados dessa análise permitem estimar que os indivíduos do gênero feminino estão entre os mais propensos às dificuldades no processo de abertura (Figura 45). Para o grupo das mulheres de 18 a 29 anos, cerca de 35% dos indivíduos teriam dificuldades ou não conseguiriam abrir esse tipo de embalagem, enquanto que para os homens dessa faixa etária a parcela seria de 20%. Para a faixa de 30 a 55 anos, 27% das mulheres teriam dificuldades, contra apenas 2% dos homens nessa idade.

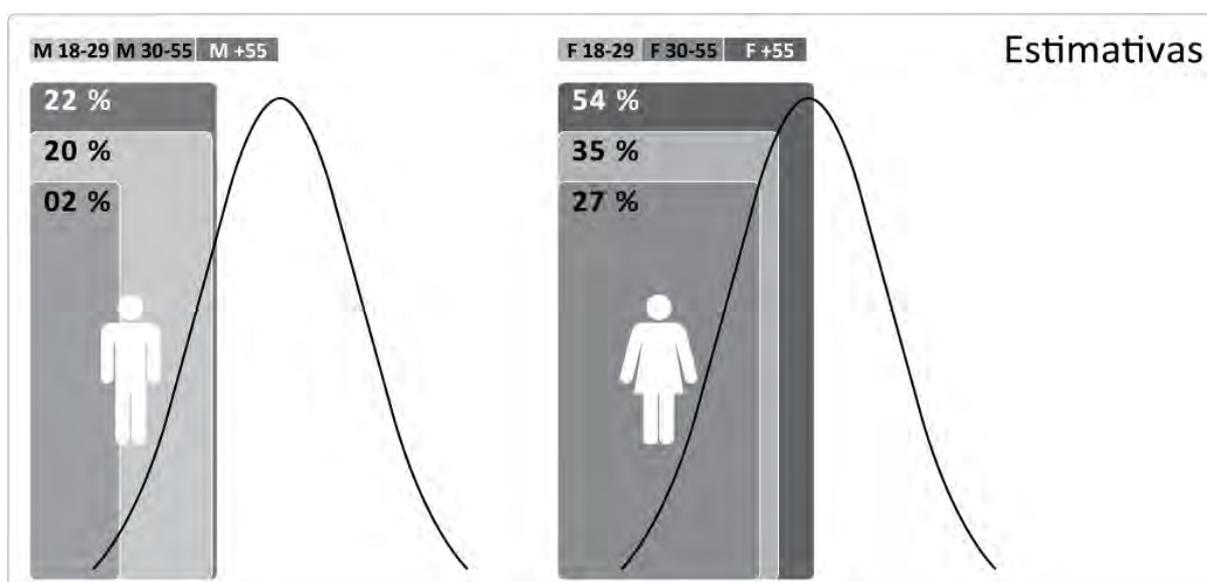


Figura 45. Estimativas de parcelas da população que teriam dificuldades para abrir as embalagens de refrigerante, por grupo.

Quando os dados do grupo de idosos foram analisados, foi possível notar que cerca de 54% das mulheres acima de 55 anos teriam dificuldades ou não conseguiriam abrir esse tipo de embalagem. Para os homens acima de 55 anos, a proporção também foi alta, aproximadamente 22% da população.

## 5.5 Percepção de dificuldade

Quanto à percepção de dificuldade associada às embalagens (Figura 46), o modelo E4 proporcionou significativamente ( $p \leq 0,05$ ) o melhor resultado (menor índice – 2,47), em relação aos demais. Os modelos E5 (2,70) e E3 (2,90) não apresentaram diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre si. Já o modelo E2 (3,02), não apresentou diferença significativa ( $p > 0,05$ ) com o modelo E3, mas apresentou-se significativamente diferente ( $p \leq 0,05$ ) do modelo E1 (3,13).

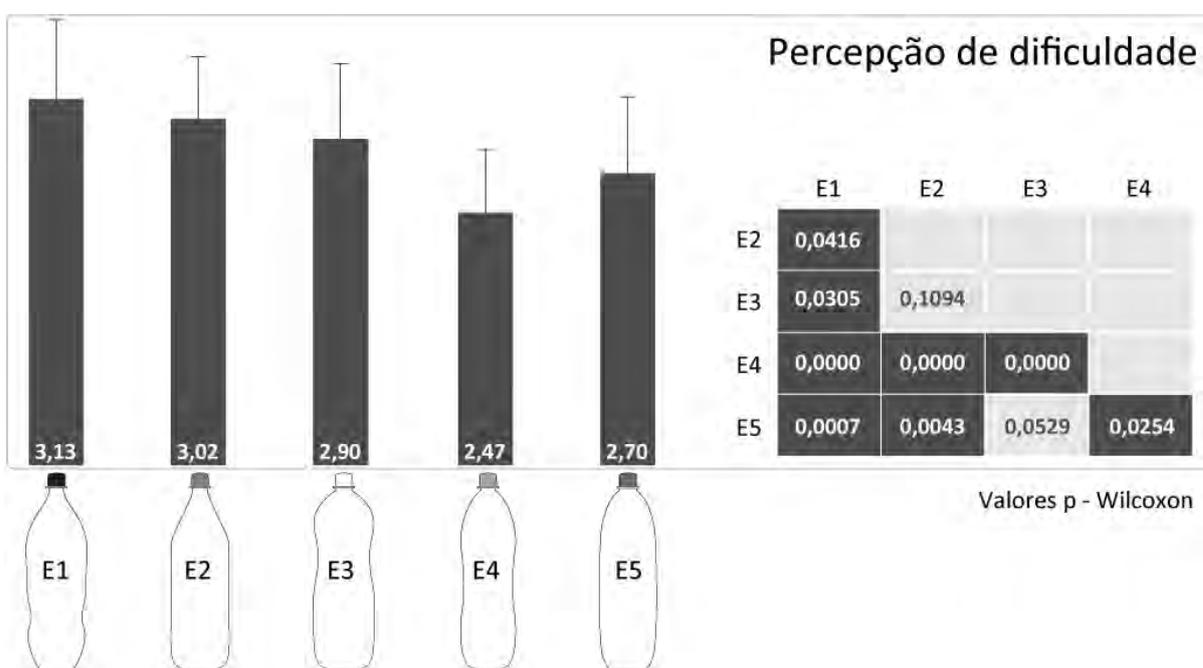


Figura 46. Nível de dificuldade e níveis descritivos (valores-p) para cada modelo de embalagem.

Nota-se que a percepção de dificuldade foi inversamente proporcional à capacidade de aplicação de forças nas embalagens, fato corroborado por meio de correlação significativa entre os conjuntos de dados (*Spearman*  $R = -0,2446$  /  $p = 0,0025$ ). Esse aspecto é um bom indício de que os indivíduos compreenderam corretamente o funcionamento da escala de percepção. Também é relevante notar que, a despeito de uma possível identificação de marca, os sujeitos de fato classificaram-nas de acordo com a experiência vivida durante o experimento.

Quanto à dificuldade percebida para os modelos analisados, pode ser observado um padrão para as duas primeiras embalagens (E1 e E2), no qual a percepção de dificuldade diminui com o avanço da idade, para ambos os gêneros (Figura 47). Para o modelo E3 esse padrão pareceu se inverter, caracterizando um aumento de dificuldade percebida com o avanço da idade, novamente para ambos os gêneros. Já para os modelos E4 e E5 o comportamento geral foi irregular.

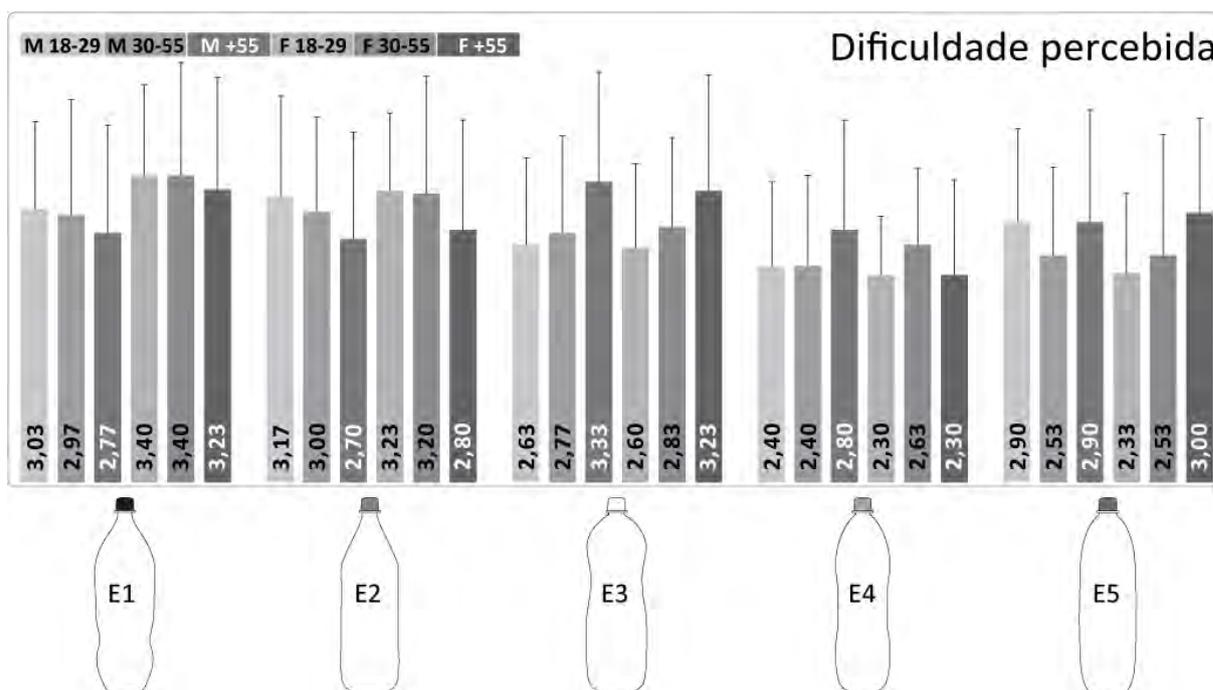


Figura 47. Nível de dificuldade percebida pelos grupos em cada modelo analisado.

Nesse ponto é preciso destacar que os dados da percepção dos participantes possuem médias relativamente próximas e uma variabilidade elevada, como pode ser notado pelos desvios indicados no gráfico da Figura 47. Com isso, as comparações dos valores atribuídos pelos grupos à dificuldade percebida não revelaram nenhuma diferença significativa, em todas as situações analisadas.

## 5.6 Correlações com as dimensões das mãos

Quanto às dimensões das mãos, não houve diferenças significativas entre as mãos direita e esquerda. As correlações entre as dimensões e força aplicada não foram significativas na maioria das variáveis analisadas. Apenas o comprimento do polegar (DM03) exibiu correlação significativa para os modelos E2 e E3 (Tabela 04).

Correlações entre as dimensões e força	Embalagem	E1	E2	E3	E4	E5
	<b>DM01</b>	-0,1204	-0,1957	-0,0553	-0,2121	-0,1696
	<i>p</i>	0,5260	0,3000	0,7720	0,2600	0,3700
	<b>DM02</b>	0,0065	-0,0366	0,0766	-0,1513	-0,0766
	<i>p</i>	0,9730	0,8480	0,6880	0,4250	0,6870
	<b>DM03</b>	-0,3106	-0,4128	-0,3921	-0,2794	-0,3502
	<i>p</i>	0,0950	0,0230	0,0320	0,1350	0,0580
	<b>DM04</b>	-0,2561	-0,3921	-0,2346	-0,2512	-0,3122
	<i>p</i>	0,1720	0,0320	0,2120	0,1810	0,0930
<b>DM05</b>	-0,2460	-0,3468	-0,1961	-0,2498	-0,2498	
<i>p</i>	0,1900	0,0600	0,2990	0,1830	0,1830	
<b>DM06</b>	-0,2169	-0,3249	-0,1733	-0,2652	-0,2528	
<i>p</i>	0,2500	0,0800	0,3600	0,1570	0,1780	
<b>DM07</b>	-0,1765	-0,2682	-0,1671	-0,3018	-0,2908	
<i>p</i>	0,3510	0,1520	0,3780	0,1050	0,1190	
<b>DM08</b>	-0,0388	-0,0701	-0,0040	-0,0995	-0,0401	
<i>p</i>	0,8390	0,7130	0,9830	0,6010	0,8330	

Tabela 04. Correlações (R Pearson) entre as dimensões das mãos e o momento de força máximo.

Correlações significativas entre a percepção de dificuldade e antropometria das mãos foram observadas para as dimensões do comprimento da mão (DM01) e comprimento palmar (DM02) para o modelo E1. O modelo E2 exibiu correlações significativas para quase todas as dimensões coletadas, exceto a largura metacarpal (DM08). Os demais modelos não exibiram correlações expressivas (Tabela 05).

Correlações entre as dimensões e dificuldade	Embalagem	E1	E2	E3	E4	E5
	<b>DM01</b>	-0,4399	-0,5363	0,0390	0,0013	-0,1251
	<i>p</i>	0,0150	0,0022	0,8377	0,9944	0,5100
	<b>DM02</b>	-0,4684	-0,4333	0,0128	0,0175	-0,0834
	<i>p</i>	0,0090	0,0168	0,9465	0,9268	0,6612
	<b>DM03</b>	-0,2250	-0,4367	0,0045	-0,1415	0,0271
	<i>p</i>	0,2319	0,0158	0,9812	0,4556	0,8868
	<b>DM04</b>	-0,2912	-0,5181	0,0677	0,0171	-0,0224
	<i>p</i>	0,1185	0,0034	0,7221	0,9286	0,9064
<b>DM05</b>	-0,3442	-0,5375	0,0179	-0,0692	-0,1052	
<i>p</i>	0,0625	0,0022	0,9250	0,7164	0,5802	
<b>DM06</b>	-0,3270	-0,6055	0,0411	-0,2233	-0,0662	
<i>p</i>	0,0778	0,0004	0,8295	0,2356	0,7284	
<b>DM07</b>	-0,0866	-0,3869	0,1411	-0,0308	0,0229	
<i>p</i>	0,6492	0,0347	0,4570	0,8717	0,9045	
<b>DM08</b>	-0,0950	-0,2973	0,1813	0,0939	0,1137	
<i>p</i>	0,6177	0,1106	0,3378	0,6216	0,5497	

Tabela 05. Correlações (R Spearman) entre dimensões das mãos e percepção de dificuldade.

Na comparação entre as variáveis antropométricas das mãos e percepção, as correlações significativas (destacadas na Tabela 05) exibem coeficientes negativos, sugerindo que maiores dimensões das mãos resultaram em menores (melhores) valores de dificuldade percebida. Com isso, presume-se que indivíduos com mãos de maiores dimensões qualificaram essas embalagens com menores índices de dificuldade de abertura.

## **6 DISCUSSÃO**

Diversos estudos apontam a necessidade da observância de inúmeras variáveis que influenciam a capacidade de produção e aplicação de forças de preensão e de torque manual. Nesse sentido, a anatomia e biomecânica dos membros superiores (particularmente da mão humana), e suas variações segundo o gênero e a idade permitem um entendimento satisfatório da complexidade da manipulação de objetos. Muitos fenômenos típicos da manipulação e produção de forças manuais são influenciados por esses aspectos, como foi mencionado anteriormente.

Embora não haja consenso em todos os casos, as variáveis que influenciam a produção de forças incluem a lateralidade ou dominância manual; a antropometria; a fadiga muscular; as posturas (com destaque para a preensão utilizada); o gênero; a idade; e o design da interface. O gênero e a idade são os fatores mais frequentemente associados à variabilidade nas capacidades biomecânicas. Inúmeras causas podem responder por essas discrepâncias, incluindo variações ou alterações anatômicas, e suas decorrentes habilidades específicas.

No que diz respeito aos dados antropométricos das mãos dos sujeitos, apenas para a embalagem E2 houve um grande número de correlações expressivas entre as dimensões das mãos e a percepção de dificuldade. Os dados indicam uma associação inversamente proporcional (dimensões maiores implicaram em menores índices de dificuldade, e vice versa). No entanto, assim como o estudo de Razza (2007), para a grande maioria das análises não houve correlações significativas com a força aplicada. Também não houve correlações entre as dimensões das mãos e percepção de dificuldade para maioria das embalagens analisadas.

Os resultados apontaram que a lateralidade influencia significativamente a capacidade de produção de forças manuais de torque. Nota-se que a mão dominante teve desempenho superior à mão não dominante em todos os grupos de sujeitos envolvidos, para todas as embalagens analisadas. Esses resultados corroboram estudos anteriores, que afirmam que a mão dominante proporciona melhores capacidades biomecânicas ao indivíduo (IMRHAN; LOO, 1989; CROSBY *et al.*, 1994; O'DRISCOLL *et al.*, 1992; IMRHAN; JENKINS, 1999; RAZZA, 2007; PASCHOARELLI, 2009).

Deve-se ressaltar que estudos envolvendo produtos e sistemas utilizados em muitas AVD ainda são incipientes, porém os dados deste e de outros estudos apontam que a variável lateralidade é de interesse do design. Embora a embalagem analisada não se privilegie o uso de determinada mão, como ocorre em muitas outras situações, a mão não dominante exerceu 77% da força realizada com a mão dominante. Assim, fica evidente a necessidade de considerar as recomendações de Paschoarelli (2009), ao afirmar que é necessário privilegiar o uso da mão preferencial ao desenvolver produtos e interfaces manuais.

Quanto às diferenças entre gêneros, as mulheres exerceram cerca de 73% da força dos homens. Esse resultado encontra-se muito próximo aos de outros estudos, como o de Razza (2007), ao afirmar que o gênero feminino exerce forças correspondentes a 77% do gênero masculino ou ao de Sanders e McCormick (1993), que apontam que as mulheres exercem 67% da força dos homens. Houve diferenças significativas entre gêneros em todas as embalagens analisadas, sendo que os homens exerceram as maiores forças em todas as ocasiões.

As comparações entre as faixas etárias revelaram que o grupo com idade entre 30 e 55 anos exerceu os momentos de força mais elevados. Porém, de forma análoga ao estudo de Shinohara *et al.* (2003b), não houve diferenças entre os momentos de força exercidos pelo grupo de jovens e idosos. No estudo de Paschoarelli (2009), um resultado similar foi obtido apenas para um dos modelos analisados, sendo que todos os demais apresentaram diferenças entre jovens e idosos. Campos (2010), também afirmou que a ocorrência de diferenças entre faixas etárias dependeu do modelo analisado.

No entanto, as análises dos grupos etários individuais, para homens e mulheres, revelaram similaridades quando se comparam os modelos de embalagens analisados, uma vez que a flutuação das forças segundo os modelos foi proporcional. Assim como nas análises globais, ficou evidente que a embalagem E4 apresentou os melhores índices de produção de forças, seguida das embalagens E5, E3, E2 e, por fim, E1. Esse fato foi corroborado pelos menores índices de dificuldade percebida, que exibiram comportamento inverso para os modelos mencionados, novamente destacando o modelo E4 como mais adequado.

Mesmo assim, a percepção de dificuldade dos grupos individuais não revelou qualquer diferença entre os modelos, embora alguns padrões possam ser observados. Para os modelos E1 e E2 a dificuldade percebida pareceu diminuir com o avanço da idade. Para o modelo E3, no entanto, o padrão pareceu se inverter, e o avanço da idade acarretou maiores índices de dificuldade percebida. Esses comportamentos foram similares tanto para sujeitos do gênero masculino quanto do feminino. Para os demais modelos o comportamento pareceu ser aleatório.

Quanto às diferenças ocorridas entre os diferentes designs, percebe-se que o padrão de ordenamento dos modelos se manteve inalterado para todos os grupos de sujeitos, conforme mencionado anteriormente (E4, E5, E3, E2 e E1). Campos (2010) e Paschoarelli (2009), embora também apontem diferenças entre os diferentes designs dos produtos analisados, ressaltam que essas diferenças foram, em alguns casos, acentuadas pelo modelo analisado. Nesse caso, presume-se que o design da embalagem E4 proporcionou as melhores condições biomecânicas e perceptivas, independentemente do grupo analisado.

Porém, tanto as análises globais quanto as dos grupos individuais exibiram diferenças significativas entre os diferentes modelos analisados. Esses resultados são similares ao de Dahrouj (2009), ao afirmar que o design das tampas influenciou a aplicação de forças pelos sujeitos. Peebles e Norris (2003) também apontam que a simples utilização de ranhuras, um dos atributos do design de uma tampa, pode influenciar as forças aplicadas. Assim como o estudo de Lu et al. (2008), percebe-se aqui que o design do produto é um fator decisivo nas capacidades biomecânicas e desempenho dos usuários.

De acordo com essas capacidades, também podem ser efetuadas estimativas sobre parcelas da população que teriam dificuldades no processo de abertura dessas embalagens. Nesse aspecto, uma vez que as embalagens apresentaram relativa uniformidade nos momentos de força necessários para abertura, o valor 1,37 N.m foi tomado como padrão para todos os modelos. Com isso, os resultados apresentados anteriormente corresponderam a estimativas gerais, independentemente de marca, sabor, volume ou design da embalagem.

Essas análises, assim como as de Yoxall et al. (2006), revelaram que grande quantidade de usuários pode ser incapaz de abrir esse tipo de embalagem. As predições são especialmente preocupantes para as mulheres, desde as jovens, dentre as quais 35% teriam dificuldades, passando para 27% na faixa entre 30 e 55 anos, até atingir 54% da população acima de 55 anos. Para os homens, embora as condições sejam melhores, a situação também é preocupante, uma vez que 20% dos jovens e 22% dos idosos também sejam potencialmente prejudicados.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As embalagens PET para refrigerantes possuem características de fabricação que, aparentemente, privilegiam aspectos de engenharia do produto, como a barreira aos gases, resistência a impactos e conservação do alimento em seu interior. Porém, devido à própria liberdade que o material polimérico confere ao processo, diversos designs podem ser explorados, permitindo uma grande variação nas formas e cores dessas embalagens. No entanto, esses diferentes designs estão, aparentemente, voltados a aspectos mercadológicos, como a diferenciação no ponto de venda e a identidade da marca.

A participação desses produtos nas Atividades da Vida Diária (AVD) é expressiva, uma vez que os dados apresentados sobre o consumo desse tipo de bebida apontam o Brasil como um grande consumidor. Isso implica que a interface da população com esse tipo de embalagem ocorre rotineiramente e em grandes quantidades, tanto por indivíduos de ambos os gêneros, quanto por diversas faixas etárias. Até o momento, foram realizados diversos estudos envolvendo o rompimento de lacres e sistemas de fechamento, porém não se conhece nenhum estudo que tenha abordado as capacidades biomecânicas desses grupos de usuários na utilização dessa embalagem.

A escolha do tipo de embalagem para avaliação se deu por sua abrangência junto ao público consumidor. As bebidas refrigerantes são amplamente consumidas por indivíduos de várias idades e ambos os gêneros. A falta de uma abordagem sistemática desses produtos é uma lacuna que esse estudo busca preencher. Para isso, foi elaborada uma estrutura que permitisse a identificação tanto das forças de torque necessárias para a abertura das embalagens (ensaio das embalagens), quanto da capacidade média da população (coleta junto à comunidade).

Os métodos adotados foram experimentais e transversais, com abordagem dos sujeitos junto à comunidade local. Houve a preocupação ética, característica de estudos envolvendo seres humanos, incluindo a sua submissão e aprovação por um Comitê de Ética em Pesquisa local. Entre equipamentos utilizados estavam embalagens especialmente adaptadas para permitir uma maior agilidade nos procedimentos. Essas embalagens permitiram interfaces bem próximas à da situação real, uma vez que suas características não foram alteradas.

A altura de trabalho utilizada no estudo é intermediária entre a altura padrão de mesas (780 a 800 mm) e a altura padrão de pias de cozinha (920 mm). Embora essa altura possa não ser ideal para todos os sujeitos, esse estudo, como muitos outros experimentos envolvendo AVD, buscou condições de interação próximas às reais. Com isso, independentemente das dimensões corporais dos indivíduos, foi oferecida a mesma condição a todos.

Os dados biomecânicos e a análise estatística forneceram resultados expressivos para o entendimento de como as variáveis mencionadas influenciam o processo de abertura. É necessário reforçar a consideração das variáveis lateralidade, gênero e idade, uma vez que elas influenciam significativamente as capacidades biomecânicas dos sujeitos. Os parâmetros levantados nesse estudo (Apêndice H) podem ser utilizados para os sistemas de fechamento e design desses produtos.

Todos esses dados e análises corroboram que o design pode oferecer melhores condições de usabilidade e acessibilidade para esses produtos. A configuração formal da embalagem E4, embora não seja tão ímpar em relação aos modelos E5 e E3, proporcionou as melhores condições biomecânicas e perceptivas para os sujeitos. A utilização da tampa 2 parece ser preferível à tampa 1, visto que

proporciona uma maior área de contato, distribuindo melhor a pressão e proporcionando maior conforto aos sujeitos.

Os dados sobre a percepção de dificuldade dos usuários complementaram as informações anteriores, à medida que foram correlacionadas com sucesso a muitas atividades. Porém, é necessário destacar que avaliações subjetivas podem, e comumente apresentam variabilidade muito alta. Isso pode ser atribuído a diversos fatores, inclusive ao reconhecimento da marca do produto avaliado, uma vez que algumas embalagens apresentam formatos icônicos, facilmente reconhecíveis para alguns sujeitos.

A abordagem também forneceu uma excelente oportunidade para os usuários expressarem seu contentamento ou descontentamento com essas embalagens. Muitos participantes passaram a observar criticamente esses produtos apenas a partir de sua participação nesse estudo. Mesmo assim, grande parte deles relatou a ocorrência de atritos, anteriores ao instante da coleta. Também foi possível registrar os artifícios utilizados para abrir o produto, incluindo esforços extremos, o pedido de ajuda a outros, ou a utilização de panos e até ferramentas para abrir o produto.

Merecem destaque também os comentários dos voluntários, relatando suas experiências passadas com o produto. Muitos deles relataram dificuldades, uso de artifícios extraordinários para abrir essas embalagens, e houve até mesmo um relato recente de incapacidade de abertura. Além disso, foram mencionados também ferimentos causados durante o processo de abertura, por arestas no anel de segurança das tampas.

É preciso destacar que esse estudo se propôs apenas a verificar se o design influencia nas capacidades biomecânicas dos indivíduos (particularmente as forças de torque) para abrir as embalagens. Uma vez que foram constatadas diferenças, faz-se necessário aprofundar o estudo nas características de design que causaram essa variação.

Quando os grupos foram analisados separadamente, os dados apontaram uma clara diferenciação entre os modelos que utilizaram a tampa 1 e os modelos que utilizaram a tampa 2, indicando uma possível influência do design desse componente. Quando se alcança essa conclusão, novas questões são apresentadas, por exemplo: essa variação nas forças seria ocasionada pela área de contato da tampa (menor na tampa 1), ou seria influência da ranhura utilizada?

Porém, quando os dados foram analisados de uma forma global, surgiram diferenças entre os modelos E3, E4 e E5, os quais utilizam o mesmo modelo de tampa. Esse é um indicativo de que uma amostra com essa quantidade de indivíduos foi capaz de identificar os nuances entre os diferentes designs na região do corpo da embalagem, particularmente na região da interface com as mãos, denominada ombro da garrafa. Propõem-se então novos questionamentos para o que teria ocasionado essas diferenças: as diferentes ogivas na região do ombro dessas embalagens (particularmente a questão do diâmetro), ou seriam apenas estrias, texturas e outras características de acabamento superficial?

A pesquisa em design para avaliar as condições de acesso aos produtos do cotidiano ainda está em desenvolvimento. Há a necessidade primordial de comprovar que o design influencia nas condições de acesso dos produtos. Esse estudo é uma contribuição nesse sentido, uma vez que os produtos analisados são amplamente consumidos em todo território nacional. Portanto, considera-se que o objetivo proposto anteriormente foi alcançado.

Os resultados indicam que há uma variação ocasionada pelas características das embalagens na capacidade de abertura e, com isso, abre espaço para novos questionamentos e novos estudos que demonstrarão quais as características desejáveis numa embalagem dessa natureza. Com a aplicação desses parâmetros, a acessibilidade desses produtos poderia ser aprimorada, de forma a atender a maior parcela possível de usuários, em particular aqueles com menores capacidades biomecânicas.

Conclui-se que o design ergonômico de produtos – com destaque para as embalagens – depende de parâmetros biomecânicos expressivos para promover a acessibilidade dos mais diversos grupos de usuários. Neste estudo foram utilizados métodos de avaliação que podem, e devem ser expandidos para outros tipos de embalagens, como alimentos diversos, bebidas, medicamentos, entre outros. Por fim, os resultados obtidos e as estimativas efetuadas indicam a necessidade de melhorar o design de embalagens PET para refrigerantes, tornando esses produtos mais acessíveis, práticos e funcionais.

## 8 REFERÊNCIAS

- ABERGO. Norma ERG BR 1002 - Código de Deontologia do Ergonomista Certificado. **Associação Brasileira de Ergonomia**, 2003. Disponível em: <[http://www.abergo.org.br/arquivos/Norma% 20ERG%20 BR%201002%20-%20Deontologia.pdf](http://www.abergo.org.br/arquivos/Norma%20ERG%20BR%201002%20-%20Deontologia.pdf)>. Acesso em: 08 agosto 2005.
- ABIPET. Notícias. **Site da Associação Brasileira da Indústria de PET**, 2010. Disponível em: <[http://www.abipet.org.br/noticias/vencedor\\_2000\\_B.doc](http://www.abipet.org.br/noticias/vencedor_2000_B.doc)>. Acesso em: 29 Setembro 2010.
- ANDERSEN, L. Closure Encounters. **Soft Drinks Management International**, London, Dezembro 1991. p.22.
- ANNET, M. A classification of hand preference by association analysis. **The British Journal of Psychology**, 61, n. 03, 1970. p.303-321.
- AOKI, T.; NIU, X.; LATASH, M. L.; ZATSIORSKY, V. M. Effects of friction at the digit-object interface on the digit forces in multi-finger prehension. **Experimental Brain Research**, 172, 2006. p.425–438.
- ARAÚJO, M. P.; ARAÚJO, P. M. P.; CAPORRINO, F. A.; FALOPPA, F.; ALBERTONI, W. M. Estudo populacional das forças das pinças polpa-a-polpa, tripode e lateral. **Revista Brasileira de Ortopedia**, 37, n. 11/12, 2002. p.496-504.
- BASTOS, H. B. **Avaliação de sistemas de fechamento para embalagens de polietileno tereftalato (PET) na retenção de CO2** [Dissertação de Mestrado]. UNICAMP. Campinas, 2006, 116p.
- BERNS, T. The handling of consumer packaging. **Applied Ergonomics**, 12, n. 03, 1981. p.153-161.
- BLASS, A. **Processamento de Polímeros**. 2ª. ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2001.
- BOUERI FILHO, J. J. **Antropometria Aplicada à Arquitetura, Urbanismo e Desenho Industrial**. São Paulo: FAU-USP, 1991.
- BURSTEDT, M. K.; EDIN, B. B.; JOHANSSON, R. S. Coordination of fingertip forces during human manipulation can emerge from independent neural networks controlling each engaged digit. **Experimental Brain Research**, 117, 1997. p.67–79.
- BURSTEDT, M. K.; FLANAGAN, J. R.; JOHANSSON, R. S. Control of grasp stability in humans under different frictional conditions during multidigit manipulation. **Journal of Neurophysiology**, 82, 1999. p.2393–2405.
- CALDWELL, L. S.; CHAFFIN, D. B.; DUKES-BOBOS, F. N.; KROEMER, K. H. E.; LAUBACH, L. L.; SNOOK, S. H.; WASSERMAN, D. E. A proposed standard

procedure for static muscle strength testing. **American Industrial Hygiene Association Journal**, n. 35, 1974. p.201-206.

CAMPOS, L. F. A. **Avaliação de forças manuais em atividades simuladas com indivíduos adultos brasileiros de diferentes gêneros e faixas etárias: aspectos do design ergonômico** [Dissertação de Mestrado]. UNESP. Bauru, 2010, 135p.

CAPORRINO, F. A.; FALOPPA, F.; SANTOS, J. B. G.; RÉSSIO, C.; SOARES, F. H. C.; NAKACHIMA, L. R.; SEGRE, N. G. Estudo populacional da força de preensão palmar com dinamômetro Jamar. **Revista Brasileira de Ortopedia**, 33, n. 02, 1998. p.150-154.

CARUS, D. A.; GRANT, C.; WATTIE, R.; PRIDHAM, M. S. Development and Validation of a technique to measure and compare the opening characteristics of tamper-evident bottle closures. **Packaging Technology and Science**, n. 19, 2006. p.105-118.

CHAFFIN, D. B.; ANDERSON, G. B. J. **Biomecânica Ocupacional**. Belo Horizonte: Ergo Editora, 2001. 579 p.

CHAO, E. Y.; OPGRANDE, J. D.; AXMEAR, F. E. Three dimensional force analysis of finger joints in selected isometric hand functions. **Journal of Biomechanics**, 09, 1976. p.387-396.

COUGHLIN, G.; SCHAMBONY, S. New UV absorber for PET packaging: better protection with less discoloration. **Journal of Plastic film & Sheeting**, Los Angeles, 24, Julho 2008. p.227-238.

CROSBY, C. A.; WEHBÉ, M. A.; MAWR, B. Hand strength: normative values. **The Journal of Hand Surgery**, 19A, n. 04, 1994. p.665-670.

CSI. Alu-Star. **Closure Systems International South America**, 2011a. Disponível em: <<http://www.csiclosures.com/csi/catalog/pdf/Especiais%20AlustarPort.pdf>>. Acesso em: 05 Janeiro 2011. Catálogo.

CSI. Wing Lok. **Closure Systems International South America**, 2011b. Disponível em: <<http://www.csiclosures.com/csi/catalog/pdf/Wing%20Lok%20Port.pdf>>. Acesso em: 05 Janeiro 2011. Catálogo.

DAHROUJ, L. S. **Avaliação de força de torção manual infantil: O design ergonômico aplicado ao desenvolvimento de tampas seguras para embalagens de domissanitários** [Dissertação de Mestrado]. UNESP. Bauru, 2009, 82p.

DANION, F.; LATASH, M. L.; LI, Z. M.; ZATSIORSKY, V. M. The effect of fatigue on multifinger co-ordination in force production tasks in humans. **Journal of Physiology**, 523, 2000. p.523-532.

- DOMALAIN, M.; VIGOUROUX, L.; DANION, F.; SEVREZ, V.; BERTON, E. Effect of object width on precision grip force and finger posture. **Ergonomics**, Londres, 51, n. 08, 2008. p.1441 - 1453.
- EDGREN, C. S.; RADWIN, R. G.; IRWIN, C. B. Grip force vectors for varying handle diameters and hand sizes. **Human Factors**, 46, n. 02, 2004. p.244-251.
- EDIN, B. B.; WESTLING, G.; JOHANSSON, R. S. Independent control of human finger-tip forces at individual digits during precision lifting. **Journal of neurophysiology**, 450, 1992. p.547-564.
- ERGONOMI DESIGN GRUPPEN. **Shaping success** [Catálogo]. Ergonomi Design Gruppen. Bromma, 1997. Catálogo.
- FERREIRA, P. Tecnologia de tampas plásticas para bebidas carbonatadas. In: **Seminário Sistemas de fechamento para embalagens rígidas**. Campinas: [s.n.], 1996. p. 67-70.
- FLANAGAN, J. R.; WING, A. M.; ALLISON, S.; SPENCELEY, A. Effects of surface texture on weight perception when lifting objects with a precision grip. **Perceptual Psychophys**, 57, 1995. p.282-290.
- FRANSSON, C.; WINKEL, J. Hand Strength: the influence of grip span and grip type. **Ergonomics**, 34, n. 07, 1991. p.881-892.
- GLICENSTEIN, J.; DARDOUR, J. The pulp: anatomy and physiology. In: TUBIANA, R. (Ed.) **The hand**. Philadelphia: W. B. Saunders, 1981. p. 116-120.
- GONÇALVES-DIAS, S. L. F. Há vida após a morte: um (re)pensar estratégico para o fim da vida das embalagens. **Gestão & Produção**, 13, Março 2006. p.463-474.
- GOODWIN, W. A.; WHEAT, E. H. Magnitude estimation of contact force when objects with different shapes. **Somatosensory & motor research**, 09, 1992. p.339-344.
- GORDON, A.; FORSSBERG, H.; JOHANSSON, R.; WESTLING, G. Visual size cues in the programming of manipulative forces during precision grip. **Experimental Brain Research**, 83, 1991. p.477-482.
- GUBOLINO, S. I. F. **Qualidade físico-química e microbiológica de refrigerantes sabor guaraná em embalagens PET - 2000mL e ocorrência de leveduras** [Dissertação de Mestrado]. UNESP. São José do Rio Preto, 2007, 71p.
- HANTEN, W. P.; CHEN, W.; AUSTIN, A. A.; BROOKS, R. E.; CARTER, H. C.; LAW, C. A.; MORGAN, M. K. Maximum grip strength in normal subjects from 20 to 64 years of age. **Journal of Hand Therapy**, 12, 1999. p.193-200.
- HANTEN, W. P.; CHEN, W.; AUSTIN, A. A.; BROOKS, R. E.; CARTER, H. C.; LAW, C. A.; MORGAN, M. K.; SANDERS, D. J.; SWAN, C. A.; VANDERSLICE, A. L.

- Maximum grip strength in normal subjects from 20 to 64 years of age. **Journal of Hand Therapy**, 12, 1999. p.193-200.
- HÄRKÖNEN, R.; PIIRTOMAA, M.; ALARANTA, H. Grip strength and hand position of the dynamometer in 204 finnish adults. **Journal of Hand Surgery (British and European volume)**, 18B, n. 01, 1993. p.129-132.
- HAZELTON, F. T.; SMIDT, G. L.; FLATT, A. E.; STEPHENS, R. I. The influence of wrist position on the force produced by the finger flexors. **Journal of Biomechanics**, 08, 1975. p.301-306.
- HENDRIK, H. W. Macroergonomics: a new approach for improving productivity, safety and quality of work life. In: **Anais do VI Congresso Brasileiro e II Congresso Latino-americano de Ergonomia**. Florianópolis: ABERGO, 1993. p. 39-58.
- IIDA, I. **A Ergonomia do manejo** [Tese de Doutorado]. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1971, 83p.
- IMRHAN, S. N. Muscular strength in the elderly – Implications for ergonomic design. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 13, 1994. p.125-138.
- IMRHAN, S. N. Two-handed static grip strengths in males: the influence of grip width. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 31, 2003. p.303-311.
- IMRHAN, S. N.; JENKINS, G. K. Flexion-extension hand torque strengths: applications in maintenance tasks. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 23, n. 04, 1999. p.359-371.
- IMRHAN, S. N.; LOO, C. H. Trends in finger pinch strength in children, adults and elderly. **Human Factors**, 31, n. 06, 1989. p.689-701.
- IMRHAN, S. N.; SUNDARARAJAN, K. An investigation of finger pull strengths. **Ergonomics**, 35, n. 03, 1992. p.289-299.
- JENMALM, P.; GOODWIN, A. W.; JOHANSSON, R. S. Control of grasp stability when humans lift objects with different surface curvatures. **Journal of Neurophysiology**, 79, 1998. p.1643–1652.
- KAPLAN, A. **Modern Plastics Encyclopedia**. Highstown: McGraw-Hill Book Company, 1998.
- KAPUR, S.; ZATSIORSKY, V. M.; LATASH, M. L. Age-related changes in the control of finger force vectors. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, 109, n. 07, 2010. p.1827 - 1841.
- KIM, C.; KIM, T. Maximum torque exertion capabilities of Korean at varying body postures with common hand tools. In: **Proceedings of the International Ergonomics Association**. San Diego: IEA, 2000. CD-ROM.

- KINOSHITA, H.; BACKSTROM, L.; FLANAGAN, J. R.; JOHANSSON, R. S. Tangential torque effects on the control of grip forces when holding objects with a precision grip. **Journal of Neurophysiology**, 78, 1997. p.1619–1630.
- KINOSHITA, H.; FRANCIS, P. R. A comparison of prehension force control in young and elderly individuals. **Journal of Applied Physiology**, 74, 1996. p.450–460.
- KINOSHITA, H.; KAWAI, S.; IKUTA, K. Contributions and coordination of individual fingers in multiple finger prehension. **Ergonomics**, 38, 1995. p.1212–1230.
- KINOSHITA, H.; MURASE, T.; BANDO, T. Grip posture and forces during holding cylindrical objects with circular grips. **Ergonomics**, 39, 1996. p.1163–1176.
- KONG, Y. K.; LOWE, B. D. Evaluation of handle diameters and orientations in a maximum torque task. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 35, 2005. p.1073-1084.
- KOZIN, S. H.; PORTER, S.; CLARK, P.; THODER, J. The contribution of the intrinsic muscles to grip and pinch strength. **The Journal of Hand Surgery**, 24A, n. 01, 1999. p.64-72.
- KROEMER, K. H. E. Coupling the hand with the handle: an improved notation for touch grip and grasp. **Human Factors**, 28, 1986. p.337-339.
- LATASH, M. L.; LI, Z. M.; ZATSIORSKY, V. M. A principle of error compensation studied within a task of force production by a redundant set of fingers. **Experimental Brain Research**, 122, 1998. p.131–138.
- LI, Z. M.; LATASH, M. L.; NEWELL, K. M.; ZATSIORSKY, V. M. Motor redundancy during maximal voluntary contraction in fourfinger tasks. **Experimental Brain Research**, 122, n. 01, 1998a. p.71–78.
- LI, Z. M.; LATASH, M. L.; ZATSIORSKY, V. M. Force sharing among fingers as a model of the redundancy problem. **Experimental Brain Research**, 119, 1998b. p.276–286.
- LIMA, A. M. F. **Estudo da cadeia produtiva do polietileno tereftalato na região metropolitana de Salvador como subsídio para análise do ciclo de vida** [Monografia de especialização]. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2001.
- LU, M. L.; JAMES, T.; LOWE, B.; BARRERO, M.; KONG, Y. K. An investigation of hand forces and postures for using selected mechanical pipettes. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 38, 2008. p.18–29.
- MACKINNON, S. E.; NOVAK, C. B. Repetitive strain in the workplace. **Journal of Hand Surgery**, 22A, n. 01, 1997. p.02-18.

- MAMANSARI, D. U.; SALOKHE, V. M. Static strength and physical work capacity of agricultural labourers in the central plain of Thailand. **Applied Ergonomics**, 27, n. 01, 1996. p.53-60.
- MANO, E. B. **Introdução a polímeros**. São Paulo: Edgard Blücher, 1985.
- MATHIOWETZ, V.; RENNELLS, C.; DONAHOC, L. Effect of elbow position on grip and key pinch strength. **The Journal of Hand Surgery**, 10A, n. 05, 1985. p.694-697.
- MATHIOWETZ, V.; WIEMER, D. M.; FEDERMAN, S. M. Grip and pinch strength: norms for 6 to 19-year-olds. **The American Journal of Occupational Therapy**, 40, n. 10, 1986. p.705-711.
- MITAL, A. Effect of body posture and common hand tools on peak torque exertion capabilities. **Applied Ergonomics**, 17, n. 02, 1986. p.87-96.
- MITAL, A.; KUMAR, S. Human muscle strength definitions, measurement, and usage: Part I – Guidelines for the practitioner. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 22, 1998. p.101-121.
- MITAL, A.; SANGHAVI, N. Comparison of maximum volitional torque exertion capabilities of males and females using common hand tools. **Human Factors**, 28, n. 03, 1986. p.283-294.
- MITCHELL, A. J. **Formulation and production of carbonated soft drinks**. New York: AVI Blackie Glasgow, 1990. 358 p.
- MONTOYE, H. J.; LAMPHIYER, D. E. Grip and arm strength in males and females, age 10 to 69. **The Research Quarterly**, 48, n. 01, 1977. p.107-120.
- MORAES, A.; FRISONI, B. C. **Ergodesign: produtos e processos**. Rio de Janeiro: ZAB, 2001. 206 p.
- MUNIZ, F.; CAMPOS, L. F. A.; SILVA, D. C.; LANUTTI, J. N. L.; PASCHOARELLI, L. C.; SILVA, J. C. P. Técnica de biofotogrametria e antropometria das mãos: acuracidade nos estudos ergonômicos. In: **Anais do 10º Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano-Tecnologia: Produto, Informações, Ambiente Construído e Transporte**. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2010.
- MURALIDHAR, A.; BISHU, R. R.; HALLBECK, M. S. The development and evaluation of an ergonomic glove. **Applied Ergonomics**, 30, n. 06, 1999. p.555-563.
- NAPIER, J. The prehensile movements of the human hand. **Journal of Bone and Joint Surgery**, 38B, n. 04, 1956. p.902-913.

- NORRIS, B.; WILSON, J. R. **Designing safety into products – making ergonomics evaluation a part of the design process**. Nottingham: Institute for Occupational Ergonomics / University of Nottingham, 1997. 30 p.
- O'DRISCOLL, S. W.; HORII, E.; NESS, R.; RICHARDS, R. R.; AN, K. The relationship between wrist position, grasp size, and grip strength. **Journal of Hand Surgery**, 17A, n. 01, 1992. p.169-177.
- OHTSUKI, T. Inhibition of individual fingers during grip strength exertion. **Ergonomics**, 24, n. 01, 1981. p.21-36.
- OLDFIELD, R. C. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. **Neuropsychologia**, 09, 1971. p.97-113.
- PASCHOARELLI, L. C. **Usabilidade aplicada ao design ergonômico de transdutores de ultra-sonografia: uma proposta metodológica para avaliação e análise do produto** [Tese de Doutorado]. UFSCAR. São Carlos, 2003, 143p.
- PASCHOARELLI, L. C. **Design Ergonomico: Metodologias para a avaliação e análise de instrumentos manuais na interface humano tecnologia** [Relatório científico de projeto de auxílio à Pesquisa]. UNESP. Bauru, 2007.
- PASCHOARELLI, L. C. **Design Ergonômico: avaliação e análise de instrumentos manuais na interface usuário x tecnologia** [Tese de Livre Docência]. UNESP. Bauru, 2009, 166p.
- PASCHOARELLI, L. C.; GIL COURY, H. J. C. Aspectos ergonômicos e de usabilidade no design de pegas e empunhaduras. **Estudos em Design**, Rio de Janeiro, 08, n. 01, 2000. p.79-101.
- PASCHOARELLI, L. C.; GIL COURY, H. J. C. Avaliação preliminar dos movimentos de punho presentes nas atividades simuladas de ultra-sonografia de mama. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Ergonomia**. [S.I.]: ABERGO, 2002. CD-ROM.
- PASCHOARELLI, L. C.; GIL COURY, H. J. C. Amplitudes angulares seguras para avaliação de movimentos da extremidade do membro superior durante atividades: uma revisão. In: **Anais do Congresso da Associação Brasileira de Ergonomia**. [S.I.]: ABERGO, 2004. CD-ROM.
- PASCHOARELLI, L. C.; RAZZA, B. M.; FALCÃO, F. S.; LUCIO, C. C. Análise das variáveis de forças de preensão digital: a contribuição da biomecânica ao design ergonômico. In: **Anais do 12º Congresso Brasileiro de Biomecânica**. Rio Claro: [s.n.], 2007. p. 907-912.
- PASCHOARELLI, L. C.; RAZZA, B. M.; LUCIO, C. C.; FALCÃO, F. S. Avaliação de forças de preensão digital pulpo-lateral em universitários: influência do gênero.

- In: **Anais do Congresso Brasileiro de Ergonomia**. [S.l.]: ABERGO, 2006. CD-ROM.
- PEEBLES, L.; NORRIS, B. Strength data for designers. In: **Proceedings of the International Ergonomics Association 14**. San Diego: IEA, 2000.
- PEEBLES, L.; NORRIS, B. Filling 'gaps' in strength data for design. **Applied Ergonomics**, 34, 2003. p.73-88.
- RAMOS, M. Y. **Impactos organizacionais da adoção de normas ISO 9000 : estudos de casos na cadeia de embalagens PET para bebidas** [Dissertação de Mestrado]. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004, 233p.
- RAZZA, B. M. **Avaliação de forças manuais em atividades funcionais cotidianas: uma abordagem ergonômica** [Dissertação de Mestrado]. UNESP. Bauru, 2007, 136p.
- ROEBUCK, J. A. J.; KROEMER, K. H. E.; THOMSON, W. G. **Engineering anthropometry methods**. New York: Wiley-Intersciencie, 1975.
- SÁDECKÁ, J.; POLOMSKY, J. Eletrophoretic methods in the analysis of beverages. **Journal of Chromatography A**, 880, 2000. p.266.
- SANDERS, M. S.; MCCORMICK, E. J. **Human factors in engineering and design**. New York: McGraw-Hill, 1993.
- SANDVIK COROMANT. **Sandvik's 11-point programme. The scientific way to develop better hand tools** [Catálogo]. Sandvik. West Midlands, 1997.
- SANTELLI, M.; SOECHTING, J. F. Force synergies for multifingered grasping. **Experimental Brain Research**, 133, 2000. p.457-467.
- SHIH, Y. C.; WANG, M. J. J. Hand/tool interface effects on human torque capacity. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 18, 1996. p.205-213.
- SHIH, Y. C.; WANG, M. J. J. Evaluating the effects of interface factors n the torque exertion capabilities of operating handwheels. **Applied Ergonomics**, 28, n. 05, 1997. p.375-382.
- SHIM, J. K.; LAY, B. S.; ZATSIORSKY, V. M.; LATASH, M. L. Age-related changes in finger coordination in static prehension tasks. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, 94, n. 03, 2004. p.213 - 224.
- SHINOHARA, M.; LATASH, M. L.; ZATSIORSKY, V. M. Age effects on force produced by intrinsic and extrinsic hand muscles and finger interaction during MVC tasks. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, 95, n. 03, 2003a. p.1361 - 1369.
- SHINOHARA, M.; LI, S.; KANG, N.; ZATSIORSKY, V. M.; LATASH, M. L. Effects of age and gender on finger coordination in MVC and submaximal force-matching tasks. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, n. 94, 2003b. p.259 - 270.

- SILVA, D. C.; PASCHOARELLI, L. C.; CAMPOS, L. F. A.; LANUTTI, J. N. L.; MUNIZ, F. J.; SILVA, J. C. P. Avaliação de forças de torque empregadas nas tampas embalagens de conserva: acessibilidade e usabilidade. In: **Anais X Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano-Tecnologia**. Rio de Janeiro: LEUI - PUC-Rio, 2010.
- SILVA, D. C.; PASCHOARELLI, L. C.; RAZZA, B. M.; SILVA, J. C. P. Uma revisão sobre os padrões de preensão da mão humana. In: **Anais do 8º Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade**. São Luiz: ERGODESIGN, 2008.
- SILVA, K. R. I. **Biodegradação de polietileno tereftalato (PET) por fungos ligninolíticos** [Dissertação de Mestrado]. UNICAMP. Campinas, 2009, 193p.
- SMITH, S.; NORRIS, B.; PEEBLES, L. **Strength data for design safety**. Nottingham: Institute for Occupational Ergonomics / University of Nottingham, 2000. 69 p.
- TORTORA, G. J.; GRABOWSKI, S. R. **Princípios de Anatomia e Fisiologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002. 1047 p.
- TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. Rio de Janeiro: LTC, 1999.
- TWEDE, D. Commercial Amphoras: The Earliest Consumer Packages? **Journal of Macromarketing**, 22, June 2002. p.98-108.
- VIDRICH FILHO, H. **Avaliação da força de preensão palmar plena e pulpo-lateral: relação com a antropometria da mão e posições de trabalho** [Dissertação de Mestrado]. UNESP. Bauru, 2005, 154p.
- VOORBIJ, A. I. M.; STEENBEKKERS, L. P. A. The composition of a graph on the decline of total strength with age based on pushing, pulling, twisting and gripping force. **Applied Ergonomics**, 32, 2001. p.287-292.
- VOORBIJ, A. I. M.; STEENBEKKERS, L. P. A. The twisting force of aged consumers when opening a jar. **Applied Ergonomics**, 33, 2002. p.105-109.
- WINDER, B.; RIDGWAY, K.; NELSON, A.; BALDWIN, J. Food and drink packaging: who is complaining and who should be complaining. **Applied Ergonomics**, 33, 2002. p.433-438.
- WINGES, S. A.; SANTELLO, M. From Single Motor Unit Activity to Multiple Grip Forces: Mini-review of Multi-digit Grasping. **Integrative and Comparative Biology**, 45, 2005. p.679-682.
- YOXALL, A.; JANSON, R. Fact or friction: a Model for understanding the openability of wide mouth closures. **Packaging Technology and Science**, 21, 2008. p.137-147.

- YOXALL, A.; JANSON, R.; BRADBURY, S. R.; LANGLEY, J.; WEARN, J.; HAYES, S. Openability: Product design limits for consumer packaging. **Packaging Technology and Science**, 19, 2006. p.219-225.
- ZATSIORSKY, V. M.; GREGORY, R. W.; LATASH, L. M. Force and torque production in static multifinger prehension: biomechanics and control II. **Biological Cybernetics**, 87, 2002. p.40–49.
- ZATSIORSKY, V. M.; LI, Z. M.; LATASH, M. L. Coordinated force production in multi-finger tasks: finger interaction and neural network modeling. **Biological Cybernetics**, 79, 1998. p.139–150.

## GLOSSÁRIO

**Atividades da Vida Diária (AVD).** Diz-se das atividades rotineiras, como manusear utensílios de cozinha durante a preparação de alimentos, limpeza do lar, etc.

**Contração Isométrica Voluntária Máxima (CIVM).** Esforço máximo obtido com a contração muscular voluntária, em situação onde não ocorre movimento articular.

**Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT).** Alterações físico-patológicas que antecedem ou caracterizam uma lesão relacionada ao trabalho.

**Força de torque.** Ver momento de força.

**Mão Dominante (MD).** Mão preferencial utilizada por um indivíduo para executar determinadas tarefas. Em geral, pessoas destros preferem realizar atividades com a mão direita e pessoas canhotas preferem a mão esquerda.

**Mão Não dominante (MN).** Mão não preferencial de um indivíduo para realizar tarefas. Em geral, a mão não dominante é associada a uma menor habilidade ou menores capacidades biomecânicas.

**Momento de força.** Produto de um vetor força (em Newton) por um braço de alavanca (em metros) e o seno do ângulo entre o eixo da alavanca e a direção da força aplicada. Nesse estudo, forças de torque, e torque manual referem-se aos momentos de força exercidos pelos indivíduos ao tentar abrir os modelos de embalagens (dados em N.m).

**Pega.** Ver preensão.

**Poli Tereftalato de Etileno (PET).** Trata-se de um polímero da família dos poliésteres. É o principal polímero utilizado para a fabricação de embalagens para refrigerantes e outros produtos envasados em garrafas.

**Preensão.** Também referido como pega ou ato preênsil, é a manipulação de um objeto com o envolvimento anatômico das mãos.

**Refrigerante.** Nesse estudo refere-se às bebidas carbonatadas (gaseificadas) não alcóolicas e de aromas diversos, comercializadas em embalagens plásticas (PET).

**Torque.** Ver momento de força.

## APÊNDICES

### Apêndice A

#### Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE



### Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

(Terminologia obrigatória em atendimento à Resolução 196/96 – CNS-MS)

As informações contidas nesta declaração têm por objetivo firmar um acordo por escrito, no qual o sujeito autoriza sua participação, bem como a utilização dos dados que serão obtidos, para fins exclusivamente acadêmicos e científicos, com pleno conhecimento da natureza da pesquisa, com a capacidade de livre arbítrio e sem qualquer coação.

O objetivo desse estudo é realizar uma avaliação biomecânica com indivíduos adultos brasileiros, de diferentes gêneros e faixas etárias, simulando a abertura de tampas de garrafas plásticas de refrigerantes. Com isso, será possível analisar a influência do formato das embalagens na aplicação de forças manuais necessárias para sua abertura e seu nível de usabilidade e acessibilidade.

Não são previstos desconfortos e/ou riscos, uma vez que os procedimentos simulados correspondem às Atividades da Vida Diária. Além disso, todas as variáveis da pesquisa serão esclarecidas antes, durante, e após sua execução. O sujeito poderá se recusar a participar ou retirar o seu consentimento a qualquer momento, sendo garantida e assegurada a privacidade da identificação do mesmo.

Eu, \_\_\_\_\_ RG \_\_\_\_\_ - SSP/\_\_\_\_  
estou de acordo em participar como voluntário deste estudo/pesquisa, autorizando a divulgação dos dados, única e exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, conforme proposto para levantamento.

Este “Termo de Consentimento Livre e Esclarecido” atende a Resolução 196/96–CNS-MS e o “Código de Deontologia do Ergonomista Certificado – Norma ERG BR 1002 – ABERGO”.

Bauru, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2011.

Voluntário

\_\_\_\_\_

Danilo Corrêa Silva  
(Pesquisador)

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli  
(Pesquisador responsável)

## Apêndice B

### Protocolo de Identificação



### Protocolo de Identificação

Dados Pessoais	Código
Nome completo: _____	
Natural de: _____	Data de Nascimento: / / _____
Ocupação: _____	Gênero: <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F
Lateralidade: <input type="checkbox"/> Destro <input type="checkbox"/> Canhoto <input type="checkbox"/> Ambidestro	

#### Contatos (opcional)

Telefone: \_\_\_\_\_ E-mail: \_\_\_\_\_

#### Informações Adicionais

Já teve dificuldades em abrir embalagens PET para refrigerantes?  Não  Sim

Se sim, qual foi a solução encontrada?

Realizar mais força

Pedir ajuda a outra pessoa

Outro \_\_\_\_\_

Apresenta ou apresentou no último ano algum sintoma músculo esquelético nos membros superiores, direito e/ou esquerdo?  Não  Sim

Se sim, qual?

Dor constante;

Restrição de movimento;

Formigamento ou dormência;

Outro: \_\_\_\_\_

#### Observações

Danilo Corrêa Silva  
danilo@idemdesign.net  
Telefone: (14) 81413745

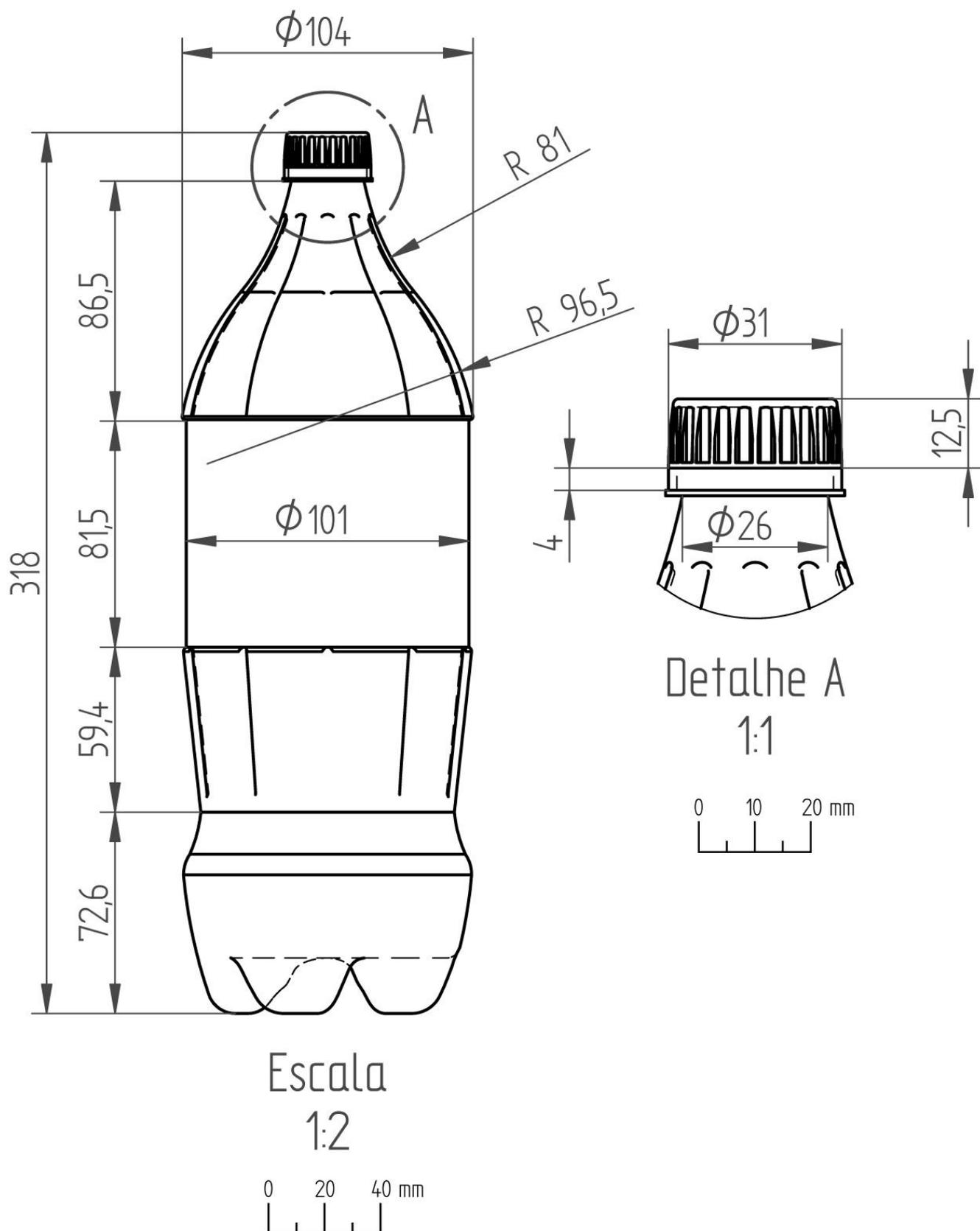
Luís Carlos Paschoarelli  
paschoarelli@faac.unesp.br  
Telefone: (14) 9793 6217

Laboratório de Ergonomia e Interfaces  
Av. Eng. Luiz E. C. Coube, 14-01 Bauru – SP - CEP: 17033-360  
Telefone: (14) 3103 6143

Laboratório de Ergonomia e Interfaces

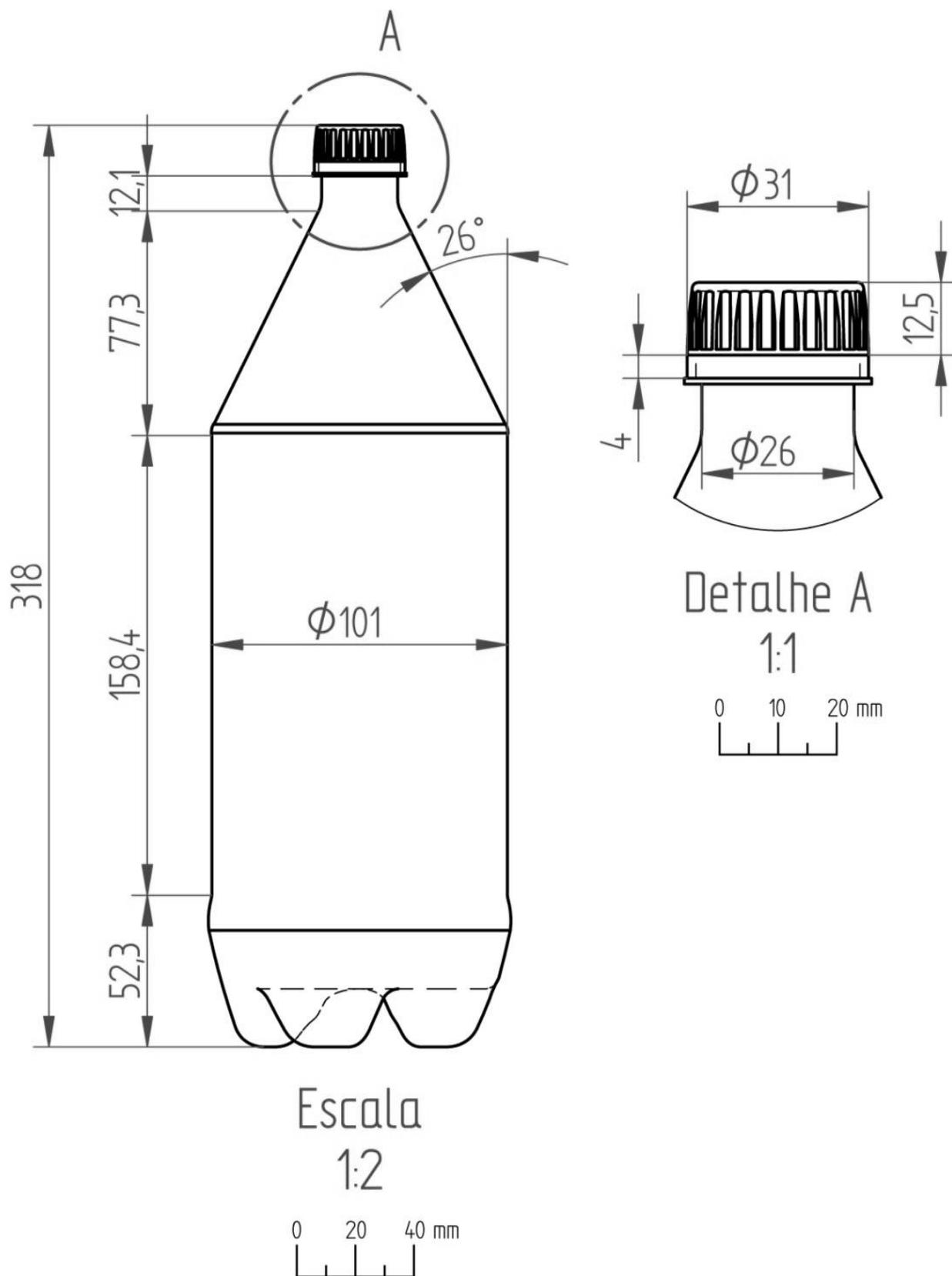
## Apêndice C

### Detalhamento Técnico da Embalagem 01 (E1)



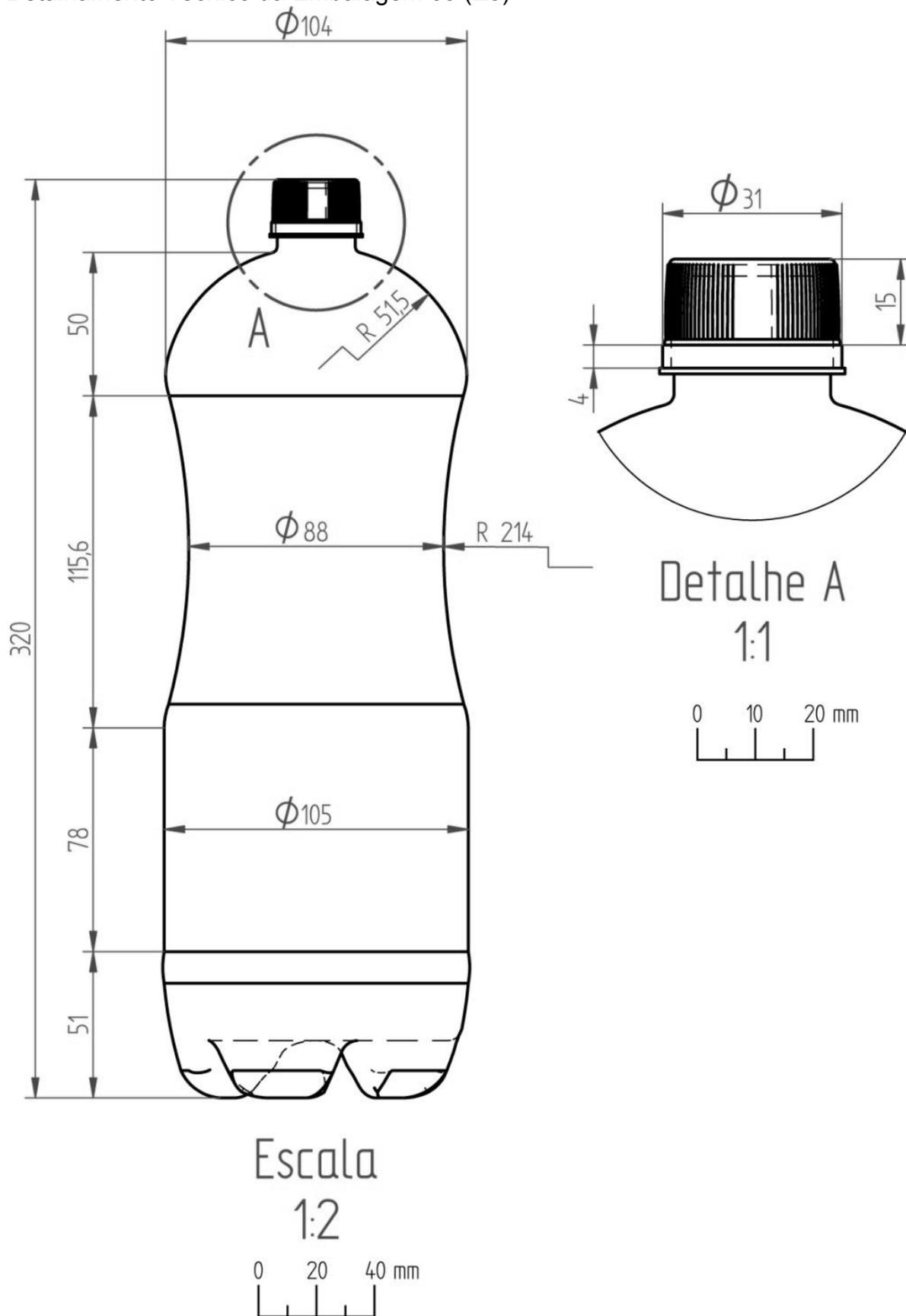
## Apêndice D

Detalhamento Técnico da Embalagem 02 (E2)



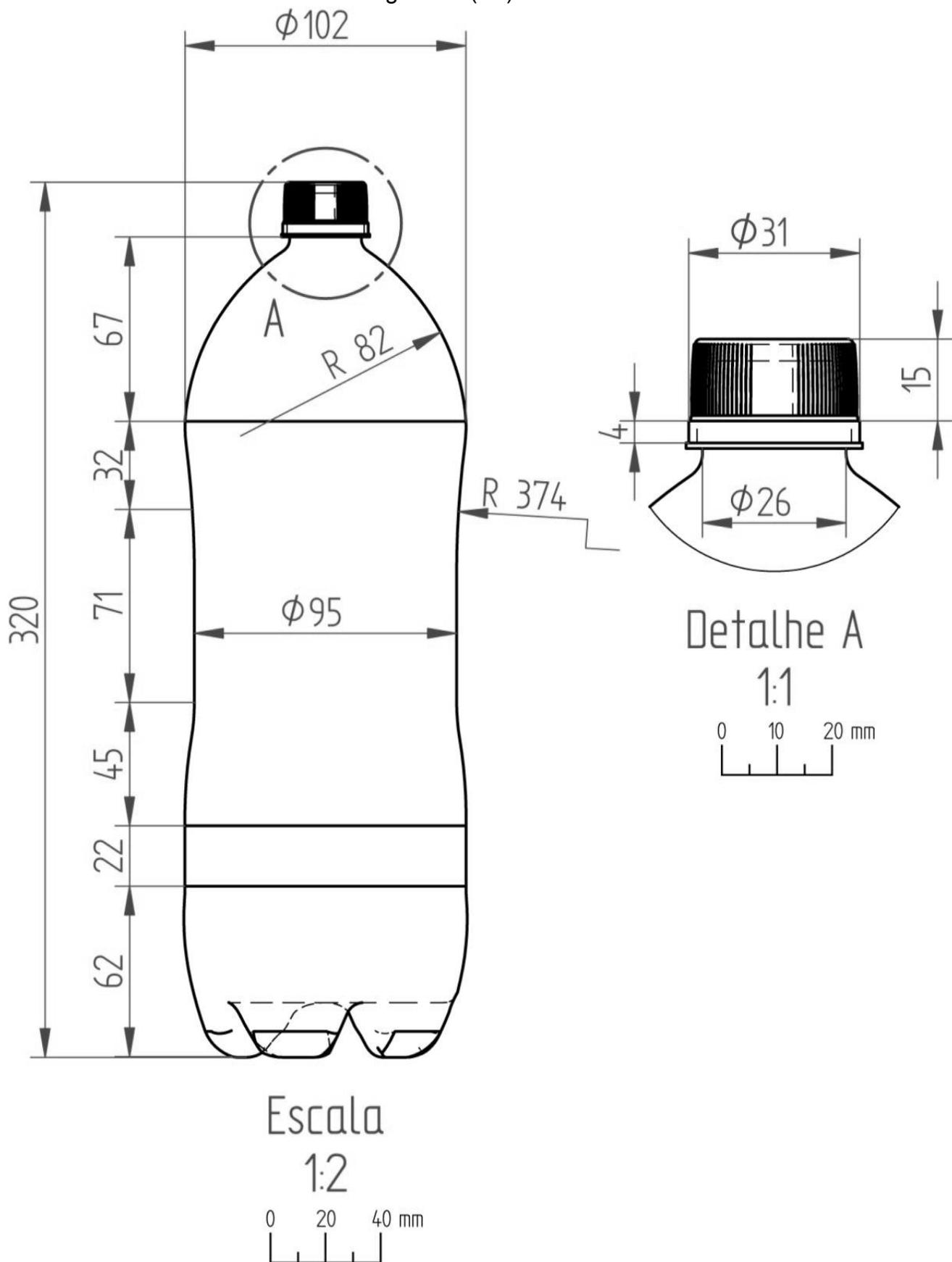
## Apêndice E

### Detalhamento Técnico da Embalagem 03 (E3)



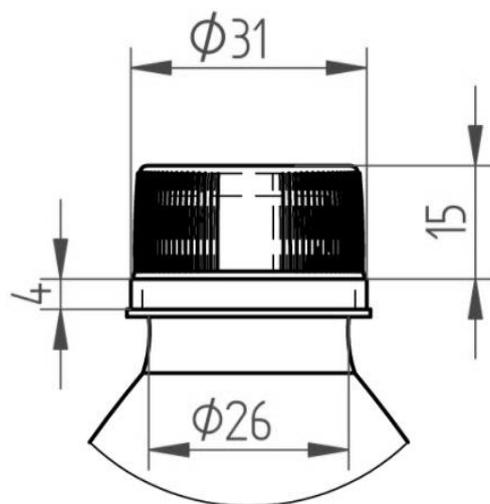
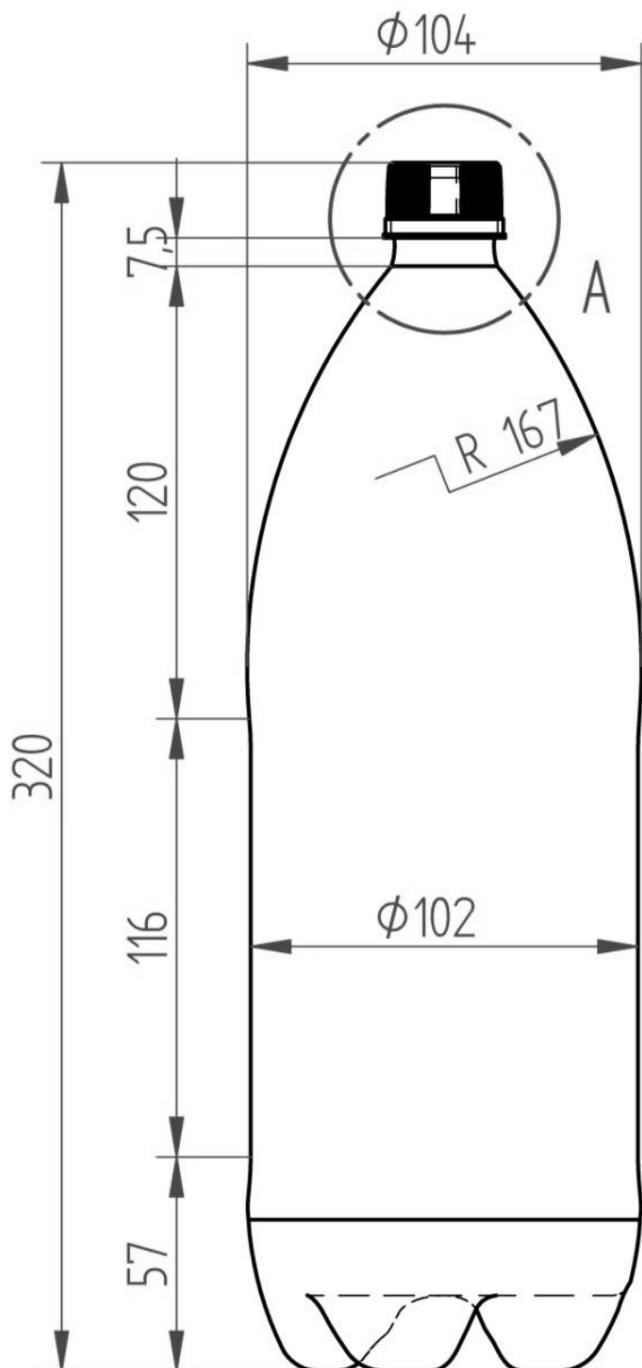
## Apêndice F

Detalhamento Técnico da Embalagem 04 (E4)



## Apêndice G

Detalhamento Técnico da Embalagem 05 (E5)



Detalhe A

1:1



Escala

1:2



## Apêndice H

Forças de torque por grupo (MD = mão dominante e MN = mão não dominante).

Modelo		E1		E2		E3		E4		E5		
		MD	MN	MD	MN	MD	MN	MD	MN	MD	MN	
<b>Fem 18 - 29</b>	Momento	N.m	1,35	0,99	1,35	1,04	1,56	1,16	1,64	1,25	1,58	1,20
		D.P.	0,32	0,24	0,30	0,23	0,38	0,28	0,36	0,30	0,31	0,28
	Percepção	Média	3,40		3,23		2,60		2,30		2,33	
		D.P.	1,00		0,86		0,93		0,65		0,88	
		Mediana	3,5		3,0		2,5		2,0		2,0	
<b>Fem 30 - 55</b>	Momento	N.m	1,43	1,03	1,42	1,03	1,69	1,19	1,82	1,27	1,67	1,21
		D.P.	0,34	0,24	0,37	0,24	0,41	0,29	0,46	0,30	0,36	0,26
	Percepção	Média	3,40		3,20		2,83		2,63		2,53	
		D.P.	1,25		1,30		0,99		0,85		1,33	
		Mediana	3,5		3,0		3,0		3,0		2,0	
<b>Fem + 55</b>	Momento	N.m	1,19	0,90	1,18	0,93	1,40	1,03	1,46	1,05	1,45	1,05
		D.P.	0,36	0,23	0,33	0,22	0,36	0,20	0,44	0,26	0,38	0,25
	Percepção	Média	3,23		2,80		3,23		2,30		3,00	
		D.P.	1,25		1,21		1,28		1,06		1,05	
		Mediana	3,0		3,0		4,0		2,0		3,0	
<b>Mas 18 - 29</b>	Momento	N.m	1,59	1,25	1,71	1,27	1,96	1,46	2,02	1,55	1,96	1,50
		D.P.	0,51	0,43	0,55	0,43	0,62	0,46	0,63	0,49	0,54	0,48
	Percepção	Média	3,03		3,17		2,63		2,40		2,90	
		D.P.	0,96		1,12		0,96		0,93		1,03	
		Mediana	3,0		3,0		2,0		2,0		3,0	
<b>Mas 30 - 55</b>	Momento	N.m	1,96	1,54	1,99	1,48	2,38	1,79	2,50	1,91	2,40	1,79
		D.P.	0,40	0,29	0,36	0,30	0,47	0,37	0,55	0,38	0,43	0,33
	Percepção	Média	2,97		3,00		2,77		2,40		2,53	
		D.P.	1,27		1,05		1,07		1,00		0,97	
		Mediana	3,0		3,0		3,0		2,0		2,0	
<b>Mas + 55</b>	Momento	N.m	1,54	1,40	1,62	1,42	1,82	1,59	2,04	1,71	1,90	1,69
		D.P.	0,49	0,44	0,47	0,39	0,57	0,53	0,59	0,54	0,52	0,48
	Percepção	Média	2,77		2,70		3,33		2,80		2,90	
		D.P.	1,19		1,18		1,21		1,21		1,24	
		Mediana	3,0		3,0		3,0		3,0		3,0	

## ANEXOS

### Anexo A

Parecer do Comitê de ética em Pesquisa da Universidade do Sagrado Coração -  
USC - Bauru – SP

**USC** UNIVERSIDADE  
SAGRADO  
CORACÃO

**PRPPG**  
Pró-reitoria  
de Pesquisa e  
Pós-graduação

**COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA**  
Protocolo n.º 121/09

**Título do Projeto:**

A INFLUENCIA DO DESIGN NA APLICAÇÃO DE FORÇAS MANUAIS PARA A ABERTURA DE EMBALAGENS PLÁSTICAS DE REFRIGERANTES

**Pesquisador (a) Responsável:** LUIS CARLOS PASCHOARELLI

**Comitê de Ética:**

O CEP analisou, baseado em parecer competente, o presente projeto e o considerou aprovado.

**Data:** 25/9/2009

**Assinatura do Presidente:**



**Prof. Dr. Marcos da Cunha Lopes Virmond**