

UNIVERSIDADE BANDEIRANTE DE SÃO PAULO  
BENEDITO JOSÉ SANTOS

PLOTADOR SENSORIAL PARA ESTUDANTES CEGOS:  
REPRESENTAÇÕES GRÁFICAS PARA A EXPLORAÇÃO DE  
FUNÇÕES POLINOMIAIS REAIS DO PRIMEIRO GRAU

SÃO PAULO  
2012

BENEDITO JOSÉ SANTOS  
MESTRADO EM EDUCAÇÃO MATEMÁTICA

PLOTADOR SENSORIAL PARA ESTUDANTES CEGOS:  
REPRESENTAÇÕES GRÁFICAS PARA A EXPLORAÇÃO DE  
FUNÇÕES POLINOMIAIS REAIS DO PRIMEIRO GRAU

Dissertação apresentada como exigência parcial à Banca Examinadora da Universidade Bandeirante de São Paulo – UNIBAN, para obtenção do título de Mestre em Educação Matemática, sob a orientação da Prof<sup>a</sup> D<sup>ra</sup>. Janete Bolite Frant.

SÃO PAULO  
2012

S235p Santos, Benedito José  
Plotador sensorial para estudantes cegos. ./ Benedito José Santos. - São Paulo, 2012.  
133 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado - Área de concentração; Educação Matemática) – Universidade Bandeirantes de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática.

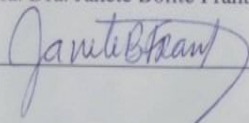
“Orientação: Professora Dr<sup>a</sup>. Janete Bolite Frant”

1. Educação matemática. 2. Inclusão. 3. Alunos cegos. 4. Representação sensorial. 5. Ferramentas Hápticas. I. Título.

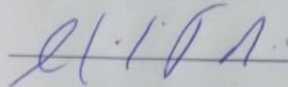
CDD: 371.9

**BANCA EXAMINADORA**

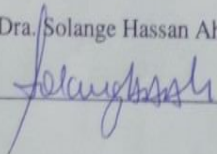
Profa. Dra. Janete Bolite Frant (Presidente)

  
\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Alberto José da Costa Tornaghi- UNESA (1º Membro Titular Externo)

  
\_\_\_\_\_

Profa. Dra. Solange Hassan Ahmad Ali Fernandes- UNIBAN (2º Membro Titular Interno)

  
\_\_\_\_\_

Dedico este trabalho aos meus pais, Cícero (*in memoriam*) e Maria.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela misericórdia e amor.

Aos meus pais Cícero e Maria, pelo incentivo e apoio constante.

À minha esposa Eunice, pelo seu amor e carinho tão importante nos momentos mais difíceis.

À minha irmã Andréia, pelo incentivo, paciência e compreensão.

À minha primeira professora, Maria de Lourdes.

Ao Centro de Educação Tecnológica Paula Souza – CEETEPS pela bolsa de estudos concedida, sem a qual esta pesquisa não seria concluída.

Aos Auxiliares Rogério e Anderson, da Escola Técnica Estadual Doutor Celso Charuri, pela ajuda técnica nas operações com fresa e torno.

À Professora Rita de Cássia Milani Ribeiro Miranda pela criteriosa revisão do texto.

A todos os professores do programa de pós-graduação em Educação Matemática da Universidade Bandeirante de São Paulo (UNIBAN) pelas explicações e carinho com que me acolheram.

Aos colegas do curso pela amizade e em especial ao Laerte Perali.

Ao professor Doutor Alberto Tornaghi pelas sugestões pertinentes e enriquecedoras dadas na qualificação.

À professora Doutora Solange Fernandes pelo carinho, sugestões e ajuda na finalização deste trabalho.

À professora Doutora Lulu Healy, pelo incentivo, críticas e sugestões valiosas.

À minha orientadora, professora Doutora Janete Bolite Frant, por sua amizade, carinho, dedicação e apoio total para que este trabalho fosse concluído.

Os olhos são cegos.

É preciso ver com o coração...

Antoine-Jean-Baptiste-Marie-Roger Foscolombe de Saint-Exupéry

(1900-1944)

## RESUMO

---

O objetivo deste trabalho foi elaborar uma ferramenta háptica capaz de criar uma representação dinâmica do gráfico de uma função real polinomial do primeiro grau de modo que os alunos cegos ou de baixa visão pudessem interagir com os demais alunos e o professor. Essa ferramenta foi intitulada plotador sensorial. Nosso objetivo, com o plotador sensorial, é contribuir para a retirada deste aluno do isolamento em sala de aula e torná-lo mais participativo, atuante e integrante do processo de aprendizagem. A metodologia utilizada baseou-se no *design-based research*, que permite redefinir novas conjecturas e características ao longo da elaboração. Nossos estudos preliminares indicaram que, apesar dos avanços tecnológicos atuais, pouco se tem produzido no sentido de criar ferramentas que possam incluir alunos deficientes visuais, na sala de aula de Matemática. Com a ajuda da mecatrônica e dos estudos sobre o sistema háptico, construímos o plotador sensorial e um programa de computador que permite três formas de representação de funções: gráfica, tabular e algébrica.

Palavras-chave: Educação Matemática. Inclusão. Alunos cegos. Representação sensorial. Ferramentas Hápticas.

## ABSTRACT

---

The aim of this work is to elaborate a haptic tool with could serve as a tactile dynamic representation of a first degree polynomial so that students who are blind or low vision could interact with other students and the teacher. This tool was entitled sensorial plotter. Our aim, with the sensorial plotter, is to contribute to the inclusion of blind students in Mathematics classrooms and to turn school Mathematics into a more participative, active and integral part of the learning process. The methodology used was based on the design-based research that allows redefinition of new conjectures and characteristics along its elaboration. Our preliminary studies indicated that, in spite of the current technological advances, little has been produced in order to create tools that can include visually impaired students, in the Mathematics classroom. With the help of mechatronics and of the studies on the haptic system, we built the sensorial plotter and a computer program that allows three forms of representing functions: graph, tabular and algebraic.

Keywords: Mathematics Education. Inclusion. Blind students. Sensory representation. Haptic tools.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Cella Braille.....	27
Figura 1.2 - Alfabeto em Braille .....	28
Figura 1.3 - Representação geométrica da reta r.....	29
Figura 1.4 - Reta escrita em Braille.....	30
Figura 1.5 - Reta r escrita em Braille.....	30
Figura 2.6 - Esquema apresentando S = estímulo, R = resposta e X = elo intermediário ou elemento mediador.....	36
Figura 2.7 - Reglete e punção .....	41
Figura 2.8 - Máquina de escrever Braille.....	42
Figura 2.9 - Soroban de 5 contas e 15 casas, precursoras do soroban moderno .....	42
Figura 2.10 - Sólidos geométricos.....	43
Figura 2.11 – Optacon.....	44
Figura 2.12 - Display Braille .....	44
Figura 2.13 - Interface do T3.....	45
Figura 3.14 - Ciclo geral do <i>design</i> (CGD) .....	48
Figura 4.15 - Ciclos da pesquisa .....	58
Figura 4.16 - Esquema funcional do plotador sensorial.....	59
Figura 4.17 - Matriz de leds.....	61
Figura 4.18 - Matriz de bobinas .....	62
Figura 4.19 - Base de pinos .....	63
Figura 4.20 - Base de pinos com botões e linhas guia verticais .....	64
Figura 4.21 - Sistema de posicionamento utilizando fuso e guia.....	65
Figura 4.22 - Sistema de posicionamento utilizando roldanas e cordas .....	66
Figura 4.23 - Sistema de posicionamento utilizando correia sincronizada .....	67
Figura 4.24 - Programa versão 0.01 .....	69
Figura 4.25 - Programa versão 0.05 .....	70
Figura 4.26 - Programa versão 0.06 .....	71
Figura 4.27 - Programa versão 0.07 .....	72
Figura 4.28 - Programa versão 0.08 .....	73
Figura 4.29 - Programa versão 0.09 .....	74
Figura 4.30 - Passos para construção de um gráfico no plotador sensorial.....	76
Figura 4.31 - Plotador sensorial com a função $y=2$ em destaque.....	78
Figura 4.32 - Localizando o eixo y.....	80
Figura 4.33 - Descobrimdo o valor de y.....	82
Figura 4.34 - Descobrimdo o valor de x.....	83
Figura 4.35 - Apagando o plotador sensorial.....	84
Figura 4.36 - Função $y=2$ na tela do computador.....	85
Figura 4.37 - Início da plotagem da função $y=2$ no plotador sensorial.....	86
Figura 4.38 - Contato com o plotador sensorial durante a plotagem.....	87
Figura 4.39 - Movimento das mãos para identificar os eixos x e y.....	91
Figura 4.40 - Susto inicial.....	93
Figura 4.41 - Movimento das mãos de Bernardo para localizar o gráfico da função.....	94
Figura 4.42 - Base de pinos com as linhas guia horizontais e verticais.....	100
Figura 4.43 - Susto inicial de Daniel.....	105
Figura 4.44 - Detalhes dos pinos do plotador (revestidos com tinta à base de borracha de cor vermelha) .....	109

Figura 4.45 - Alteração da velocidade da fala.....	109
Figura 4.46 - Plotador sensorial após as alterações .....	110
Figura 4.47 - Tela Principal do plotador sensorial versão 0.18 .....	111
Figura 4.48 - Painel de Controles do plotador sensorial versão 0.18.....	112
Figura 4.49 - Folha de funções do plotador sensorial versão 0.18.....	112
Figura 4.50 - Folha de programação do plotador sensorial versão 0.18.....	113
Figura 4.51 - Folha de desenho do plotador sensorial versão 0.18.....	113
Figura 4.52 - Gráfico da função $y=0,5x+2$ na tela do computador.....	115
Figura 4.53 - Susto inicial de Alice .....	116
Figura 4.54 - Alice localizando a reta.....	117
Tabela 3.1 - Perfil dos sujeitos da pesquisa.....	54
Tabela 3.2 - Locais da pesquisa.....	54
Tabela 4.3 - Teclas e funções do programa gráfico do plotador sensorial .....	75
Tabela 4.4 - Teclas e funções do programa gráfico do plotador sensorial .....	101
Tabela A.5 - Medidas da cela Braille.....	133
Quadro 3.1 - Ciclos da pesquisa .....	50
Quadro 3.2 - Dados coletados .....	56
Quadro 4.3 - Resumo das observações e propostas de solução após o experimento 1 .....	89
Quadro 4.4 - Resumo das observações e propostas de solução após o experimento 2 .....	99
Quadro 4.5 - Resumo das observações e propostas de solução após o experimento 3 .....	108
Quadro 4.6 - Resumo das observações e propostas de solução após os experimentos do ciclo 2.....	119
Quadro 4.7 - Resumo das observações e proposta de solução implementada no Ciclo 2 que necessitam de melhorias .....	120

## SUMÁRIO

---

INTRODUÇÃO .....	13
CAPÍTULO 1 .....	22
PROBLEMATIZAÇÃO .....	22
1.1 A deficiência visual .....	22
1.2 Estudos precedentes.....	25
1.3 O problema de pesquisa .....	33
CAPÍTULO 2 .....	35
ESTUDOS NORTEADORES .....	35
2.1 Defectologia de Vygotsky .....	35
2.2 O sistema háptico.....	38
CAPÍTULO 3 .....	47
METODOLOGIA DA PESQUISA .....	47
3.1 A Metodologia do <i>Design-Based Research</i> .....	47
3.2 Sujeitos da Pesquisa .....	50
3.3 Locais da Pesquisa .....	54
3.3 Procedimentos para a Coleta de Dados.....	55
3.5 Procedimentos para a Análise dos Dados.....	56
CAPÍTULO 4 .....	58
OS CICLOS E AS ANÁLISES .....	58
4.1 Parâmetros, Concepção e a Construção do Plotador Sensorial .....	59
4.2 Ciclo 2 - Experimentos .....	76
4.2.1 Experimento 1 – Alice.....	77
4.2.2 Experimento 2 – Bernardo e Carlos .....	90
4.2.3 Experimento 3 – Daniel .....	101
4.2.4 Experimento 4 – Alice.....	113
4.3 Ciclo 3 – Proposta de um novo design.....	118
CAPÍTULO 5 .....	121
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	121
REFERÊNCIAS.....	126
ANEXOS .....	133

## INTRODUÇÃO

---

Gráficos cartesianos de funções reais têm sido tema de diversas pesquisas, a título de exemplo citamos Nemirovsky et al (1998), Zuffi (2001), Radford et al (2003), Bolite Frant (2006) e Sales (2009). No entanto, pesquisas sobre este tema com foco em alunos cegos ou com baixa visão são poucas.

Esta pesquisa busca elaborar um plotador para alunos cegos ou de baixa visão, de maneira que seja possibilitado aos mesmos compreender a representação gráfica de modo sensorial múltiplo, isto é, tato, som e cinestésico.

Tecemos, antes, algumas considerações gerais atuais sobre a situação dos cegos e deficientes visuais em nível internacional e nacional.

As estatísticas da Organização Mundial de Saúde (OMS) indicam que em 2011 existiam no mundo 285 milhões de pessoas deficientes visuais, sendo que dessas, 39 milhões cegas e 246 milhões com baixa visão. Cerca de 90% dos deficientes visuais do mundo vivem em países em desenvolvimento, como o Brasil.

As estatísticas brasileiras indicam a existência de um número expressivo de deficientes. O relatório<sup>1</sup> do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, intitulado: "No Brasil, 14,5% da população são pessoas com deficiência", revela a amplitude da questão, aumentando ainda mais a responsabilidade de todos os envolvidos no processo de inclusão:

Os resultados do Censo 2000 mostram que, aproximadamente, 24,6 milhões de pessoas, ou 14,5% da população total, apresentaram algum tipo de incapacidade ou deficiência. São pessoas com ao menos alguma dificuldade de enxergar, ouvir, locomover-se ou alguma deficiência física ou mental.

---

<sup>1</sup> Nesta pesquisa usamos os dados do Censo 2000, pois os resultados da amostra do Censo 2010 sobre deficiência serão divulgados em Junho de 2012, conforme cronograma publicado em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/calendarioresul.php> e acessado em 11/03/2012 as 10:17 horas.

Entre 16,6 milhões de pessoas com algum grau de deficiência visual, quase 150 mil se declararam cegos. Já entre os 5,7 milhões de brasileiros com algum grau de deficiência auditiva, um pouco menos de 170 mil se declararam surdos. [...] (BRASIL, 2010).

Na escola, o aumento da atenção dada à questão dos alunos com necessidades educacionais especiais pode ser sentido pelo número de matrículas na Educação Especial. Fernandes (2008) destaca essa atenção e apresenta dados do Censo escolar.

Os números da Educação Especial são expressivos [...]. De acordo com dados do Censo escolar: 1998 a 2006 (MEC/INEP), a evolução das matrículas na Educação Especial tanto em Escolas Especiais como em Escolas Regulares passou de 337.326 em 1998 para 700.624 em 2006. (FERNANDES, 2008, p.19).

O crescimento em mais de cem por cento no número de matrículas na Educação Especial, num período de oito anos, indica claramente que de alguma maneira, os deficientes estão, hoje, em maior número presentes nas escolas.

Muitos desafios surgem, quando pensamos nas diversas faces que envolvem a educação dos cegos. E estes desafios estão relacionados a diversos fatores, dentre os quais destacamos: **a família, a sociedade, a medicina, a tecnologia e a escola.**

Algumas pessoas cegas ou com visão subnormal enfrentam o preconceito na própria **família**, necessitando de esforço dobrado para superarem essa situação. Nesta pesquisa, apresentamos o depoimento de uma deficiente visual que viu a discriminação nascer dentro do próprio lar.

A **sociedade** também apresenta, de forma silenciosa, muitas maneiras de dizer não ao cego, quando seus direitos de cidadão não são respeitados e que, face a suas próprias limitações sente-se impotente.

Os deficientes têm seus direitos assegurados por Lei Federal, pois em seu artigo 23, Capítulo II, a Constituição determina que “é competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios cuidar da saúde e assistência públicas, da proteção e garantia das pessoas portadoras de deficiências”. Em 24 de outubro de 1989, foi criada a Lei n.º 7.853/89, dispondo sobre o apoio às pessoas com deficiência, sua

integração social, sobre a Coordenadoria para a Integração da Pessoa Portadora de Deficiência – CORDE, instituindo a tutela jurisdicional de interesses coletivos ou difusos dessas pessoas, disciplinando a atuação do Ministério Público, definindo crimes, e dando outras providências. O Art. 2º, parágrafo único, da Lei n.º 7.853/89, estabelece no inciso I, atenção especial à área da educação:

Art. 2º Ao Poder Público e seus órgãos cabe assegurar às pessoas portadoras de deficiência o pleno exercício de seus direitos básicos, inclusive dos direitos à educação, à saúde, ao trabalho, ao lazer, à previdência social, ao amparo à infância e à maternidade, e de outros que, decorrentes da Constituição e das leis, propiciem seu bem-estar pessoal, social e econômico.

Parágrafo único. Para o fim estabelecido no caput deste artigo, os órgãos e entidades da administração direta e indireta devem dispensar, no âmbito de sua competência e finalidade, aos assuntos objetos esta Lei, tratamento prioritário e adequado, tendente a viabilizar, sem prejuízo de outras, as seguintes medidas:

I - na área da educação:

a) a inclusão, no sistema educacional, da Educação Especial como modalidade educativa que abranja a educação precoce, a pré-escolar, as de 1º e 2º graus, a supletiva, a habilitação e reabilitação profissionais, com currículos, etapas e exigências de diplomação próprios;

b) a inserção, no referido sistema educacional, das escolas especiais, privadas e públicas;

c) a oferta, obrigatória e gratuita, da Educação Especial em estabelecimento público de ensino;

d) o oferecimento obrigatório de programas de Educação Especial a nível pré-escolar, em unidades hospitalares e congêneres nas quais estejam internados, por prazo igual ou superior a 1 (um) ano, educandos portadores de deficiência;

e) o acesso de alunos portadores de deficiência aos benefícios conferidos aos demais educandos, inclusive material escolar, merenda escolar e bolsas de estudo;

f) a matrícula compulsória em cursos regulares de estabelecimentos públicos e particulares de pessoas portadoras de deficiência capazes de se integrarem no sistema regular de ensino; (BRASIL, 1989).

No cenário mundial, outras ações refletem a preocupação com os deficientes, como a ocorrida em Salamanca<sup>2</sup> (1994), e que, na opinião de

---

<sup>2</sup> A Conferência Mundial sobre Necessidades Educativas Especiais: Acesso e qualidade, realizada pela UNESCO, em Salamanca (Espanha), em junho de 1994.

Guijarro (2005), apresenta um novo desafio aos sistemas escolares vigentes.

O princípio fundamental do Marco de Ação da Conferência Mundial sobre Necessidades Especiais (Salamanca, 1994) é que 'todas as escolas devem acolher a todas as crianças, independentemente de suas condições pessoais, culturais ou sociais; crianças deficientes e superdotados/altas habilidades, crianças de rua, minorias étnicas, lingüísticas ou culturais, de zonas desfavorecidas ou marginalizadas, o qual traça um desafio importante para os sistemas escolares. As escolas inclusivas representam um marco favorável para garantir a igualdade de oportunidades e a completa participação, contribuem para uma educação mais personalizada, fomentam a solidariedade entre todos os alunos e melhoram a relação custo-benefício de todo o sistema educacional'. (GUIJARRO, 2005, p.9).

Em 26 de junho de 2009, pela Lei 11.958 e Decreto 6.980, de 13 de outubro de 2009, o CORDE passa a ser a atual Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência (SNPD) órgão da Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República (SDH/PR) responsável pela articulação e coordenação das políticas públicas voltadas para as pessoas com deficiência.

Apesar das iniciativas existentes no setor, as pessoas com deficiência ainda encontram muitas barreiras impostas pela própria sociedade. Alguns projetos originam-se a partir destas dificuldades e tentam mudar este quadro. O projeto "Assino Embaixo" é um exemplo, pois segundo Sá et. al. (2007,p.41), o projeto foi desenvolvido a partir do fato de que alguns deficientes visuais assinavam pela impressão digital, isto é, utilizando almofada tintada e o polegar. Usuárias do Centro de Apoio Pedagógico às Pessoas com Deficiência Visual de Belo Horizonte – CAP/BH, essas pessoas afirmam serem tratadas como analfabetas, quando não conseguem assinar um documento, o que as leva ao constrangimento.

Tratando da evolução da Educação Especial no Brasil, Mantoan (2005, p.27) explica que o convívio recente com pessoas deficientes é o fato gerador de muita apreensão nas escolas, e que o preconceito justificaria o nosso afastamento dessas pessoas. Por isso, tem comprometida, a convivência com seus colegas de turma sem deficiência. Nossas pesquisas apontam para outras justificativas como, por exemplo, no caso dos cegos e

peças com baixa visão, a necessidade de ampliação de recursos adaptados e acessíveis, política educacional mais inclusiva com professores e escolas bem preparados.

Quando olhamos para as ações e atitudes mais recentes de governos e sociedades, notamos que uma realidade que pensa o deficiente visual como ser presente e atuante parece estar, mesmo que timidamente, cada vez mais próxima.

Os problemas da visão há muito tempo são objetos de estudos da **medicina** e muitas foram as contribuições para melhorar a qualidade de vida destes deficientes visuais. Os desenvolvimentos na área de Bioengenharia são muitos, como os apresentados por Bonatti et al. (2007) da Clínica Oftalmológica do Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo, entretanto os problemas mais sérios como a cegueira ainda não têm uma solução definitiva.

O avanço da **tecnologia** tem criado oportunidades reais de inclusão e tirado do isolamento social um grupo considerável de pessoas. O exemplo mais simples desta mudança está na própria internet, cujas características permitem que pessoas apresentando diversos tipos de deficiências possam participar e interagir em salas de bate-papo (chat), de listas de discussão, de cursos e de outras atividades diversas.

Outro exemplo interessante está no uso, cada vez mais freqüente, de aparelhos celulares dotados de programas que falam. Esses aparelhos facilitam muito a vida dos deficientes visuais, permitindo o acesso rápido à informação, além da interação e integração com outros grupos.

Segundo Lírio (2006), o uso dos computadores representa uma alternativa a mais para a independência e autonomia acadêmica dos estudantes cegos.

Algumas iniciativas ilustram ações públicas para auxiliar **escolas** e professores na construção de uma realidade mais inclusiva. Em entrevista concedida (INCLUSÃO - Revista da Educação Especial - Out/2005), a

Secretária de Educação Especial, Cláudia Pereira Dutra, apresenta-nos dois projetos na área da educação inclusiva.

O foco do primeiro projeto é voltado para o professor e o sistema educacional brasileiro. Intitulado “Programa Educação Inclusiva” e tem como objetivo a transformação do sistema educacional, através de uma ação colaborativa que envolve 144 (cento e quarenta e quatro) municípios de todos os estados do Brasil, chamados de municípios-pólo. Estes enviam à capital federal seus representantes para participarem dos seminários nacionais. Retornando aos municípios, os representantes funcionam como multiplicadores elaborando cursos regionais. O programa dos seminários aborda questões filosóficas, organizacionais, de gestão e participação na escola.

O segundo projeto discute a escola e a formação do professor inclusivo. Intitulado “Educar na Diversidade”, tem como foco as necessidades especiais dos alunos. Contando com a participação de, aproximadamente, quinze mil professores, oferece subsídios teóricos visando a construção de estratégias inclusivas na escola.

Mantoan (2005) defende que a nossa história de Educação Especial começou no século dezenove e foi inspirada em experiências norte-americanas e européias. Adotando um modelo assistencialista e separativo cujo domínio quase sempre esteve nas mãos de pessoas ligadas a movimentos particulares, beneficentes, de atendimento às deficiências, e até hoje detém muito poder sobre as famílias e a opinião pública brasileira.

A Educação Inclusiva de direito existe há muito, entretanto, a de fato, parece estar distante, principalmente quando pensamos no muito que ainda precisamos fazer.

A Educação Inclusiva é atualmente um dos maiores desafios do sistema educacional. Criados na década de 70, os pressupostos da Educação Inclusiva fundamentam vários programas e projetos da educação. (CRE-MARIO COVAS, 2011).

Para Rodrigues (2008, p. 13), o objetivo da Educação Inclusiva é alterar as práticas tradicionais, valorizando as diferenças entre os alunos pela eliminação das barreiras à aprendizagem.

Guijarro (2005, p. 9), afirma que a educação Inclusiva busca efetivar o direito à educação, à igualdade de oportunidades e à participação.

Ainscow (2005) apresenta três níveis necessários ao efetivo processo de inclusão: o primeiro é a presença ou o estar na escola; o segundo é a participação, pois além de presente o aluno precisa participar ativamente; o terceiro é a aquisição de conhecimentos, isto é estar aprendendo.

Diversos fatores dificultam o efetivo processo de inclusão dos deficientes visuais nas aulas de Matemática como pobreza e distribuição de renda (Guijarro, 2005), preconceito (Mantoan, 2005), conhecimento tecnológico, pedagógico e de conteúdo (Palis, 2010), entre outros.

Além da inclusão de pessoas deficientes, o presente trabalho de pesquisa se insere no contexto da Educação Matemática, tendo o foco nas representações gráficas de funções polinomiais reais de primeiro grau.

O uso das representações gráficas remonta aos primórdios da espécie humana, quando se faziam desenhos em cavernas. Nas escolas, ela está presente em todas as áreas do conhecimento, como enfatiza Sá et al. (2007):

A linguagem, a comunicação e as múltiplas formas de expressão cultural ou artística constituem-se de imagens e apelos cada vez mais complexos e sofisticados. Os conteúdos escolares privilegiam a visualização em todas as áreas de conhecimento, de um universo permeado de símbolos gráficos, imagens, letras e números. Assim necessidades decorrentes de limitações visuais não devem ser ignoradas, negligenciadas ou confundidas com concessões ou necessidades fictícias. Para que isso não ocorra, devemos ficar atentos em relação aos nossos conceitos, preconceitos, gestos, atitudes e posturas com abertura e disposição para ver as práticas convencionais, conhecer, reconhecer e aceitar diferenças como desafios positivos e expressão natural das potencialidades humanas.

Desta forma, será possível criar, descobrir e reinventar estratégias e atividades pedagógicas condizentes com as necessidades gerais e específicas de todos e de cada um dos alunos. (SÁ et. al., 2007, p.13).

O plotador sensorial permite construir numa matriz de pinos o gráfico de uma função real polinomial do primeiro grau, previamente gerada num microcomputador PC.

Acreditamos que o plotador sensorial colabore nas aulas de gráficos de funções reais de primeiro grau, de maneira interativa e dinâmica, proporcionando novas formas de representação gráfica e favoreça a participação ativa dos alunos sem acuidade visual dentro dos padrões normais nas aulas de matemática.

O acompanhar a plotagem de um gráfico qualquer permite ao aluno perceber a construção deste gráfico ponto a ponto, o que difere, por exemplo, das situações estáticas em que o aluno recebe o gráfico pronto e impresso em relevo no papel. Outras plotagens, cuja necessidade apareça durante uma sessão de ensino, podem ser feitas e refeitas pelo aluno no plotador. Soma-se a estas características a possibilidade de sobrepor a plotagem, assim o gráfico plotado anteriormente permanece, enquanto um novo está sendo feito.

Nossas expectativas apontam para um plotador sensorial como instrumento de mediação na Matemática Inclusiva, conforme sugere Fernandes (2008):

Nossos resultados indicam, por um lado, que as práticas atuais nem sempre permitem uma participação ativa dos deficientes visuais e, por outro lado, mostram um possível caminho para criar uma Educação Matemática mais inclusiva. Este caminho envolve uma abordagem atenta para o papel de vários instrumentos de mediação (materiais e semióticos) e atividades de exploração e negociação de conceitos matemáticos de tal forma que os aprendizes tenham a oportunidade de capitalizar todo seu campo perceptivo. (FERNANDES, 2008, p.9).

A contribuição esperada do plotador sensorial para o crescimento da inclusão em Educação Matemática é que permita a participação mais ativa dos deficientes visuais e promova maior interação destes com os demais alunos e o professor.

Este trabalho apresenta, no capítulo um, a Problemática envolvendo a Deficiência Visual, uma breve Revisão Bibliográfica e o Problema de Pesquisa.

No capítulo dois, a Fundamentação Teórica com Vygotsky, o Sistema Háptico, e a Tecnologia Assistiva e seus impactos na Educação Matemática Inclusiva.

No capítulo três, o *Design Based Research* (DBR) como a metodologia adotada para a pesquisa.

No capítulo quatro, os ciclos e as análises.

No capítulo cinco, as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 1

---

### PROBLEMATIZAÇÃO

#### 1.1 A deficiência visual

Alguns autores, como Gil (2000), afirmam que entre os canais de relacionamento do indivíduo com o mundo exterior, a visão é o mais importante. Para nós, isso acontece porque a população de videntes é muito maior que a de deficientes visuais, e a realidade na qual vivemos tem seu foco principal voltado para a maioria.

A visão possibilita aos seres humanos obter informações sobre os objetos e sua posição no espaço, ter acesso à leitura e escrita (OCHAÍTA e ESPINOSA, 1995) e é fundamental para o estabelecimento das relações com os outros (TREVARTEN, 1998). Desde os primeiros meses de vida, somos estimulados a estabelecer uma comunicação visual com o mundo exterior (SÁ et al., 2007).

A deficiência visual é resultado da falta, insuficiência ou imperfeição da resposta visual, acarretando na diminuição ou perda da visão (FERNANDES, 2008).

Os deficientes visuais formam um conjunto bastante heterogêneo de pessoas, resultado da peculiaridade de suas deficiências. Alguns deficientes visuais, dependendo da causa de suas deficiências, apresentam capacidades diversas que lhes permitem ver em cores ou não, vultos ou imagens deformadas, as quais variam em função da distância em que está o objeto.

A deficiência visual pode ser classificada de diversas maneiras, em função do nível de comprometimento do sistema sensorial visual. De acordo

com a Classificação Internacional de Doenças -10 (CID-10, Atualização e Revisão de 2006), existem quatro níveis de função visual: visão normal, deficiência visual moderada, deficiência visual grave e cegueira (OMS,2012). A deficiência visual moderada combinada com a deficiência visual grave forma a baixa visão. Juntas, a baixa visão e a cegueira representam toda a deficiência visual.

Segundo Fernandes (2008) as classificações mais usuais para a deficiência visual são: Visão Normal; Visão Subnormal ou Baixa Visão e Cegueira. A visão é considerada Normal quando os dois olhos, juntos, projetam sobre a retina uma imagem nítida de objetos próximos ou distantes. A visão Subnormal ou Baixa Visão compreende a classe de deficientes visuais que, apesar da limitação visual, é capaz de utilizar a visão para planejar ou executar tarefas, ou ainda, possuem um grau de percepção luminosa que não interferem ou limitam a execução dessas tarefas. Na classe da Cegueira estão as pessoas que possuem perda total da visão ou perda da percepção de luz.

Em outras palavras, cegueira é a incapacidade de ver (OMS, 2012). Para Ochaíta e Espinosa (1995), a cegueira se caracteriza por prejudicar, total ou seriamente, o sistema visual de coleta de informações das pessoas.

Várias são as causas da cegueira, como as apresentadas por OMS (2012), Gil (2000), Verdugo (1995) e Rosa (1993). Segundo a OMS (2012), catarata, glaucoma, degeneração macular relacionada à idade, opacidades corneanas, retinopatia diabética, tracoma e doenças oculares em crianças (por exemplo, causada por deficiência de vitamina A) são as principais causas da cegueira. Outro dado importante é que três quartos de toda cegueira pode ser prevenida ou tratada, e que a cegueira relacionada com a idade está aumentando em todo mundo. (OMS, 2012).

Os deficientes visuais podem, em alguns casos, ter somado às suas deficiências, outras diversas que contribuem ainda mais para agravar o seu quadro sensorial. Por exemplo, os alunos surdo-cegos têm comprometidas as capacidades sensoriais da audição e visão, e, além dessas, a de

expressar-se verbalmente fica também bastante prejudicada ou desaparece por completo.

A cegueira pode ser congênita (desde o nascimento) ou adquirida (GIL, 2000). Nos estudos de Ochaíta e Espinosa (1995) com foco no desenvolvimento e intervenção educativa nas crianças cegas ou deficientes visuais, três dimensões distintas e importantes são propostas para diferenciá-los: o momento da aparição dos problemas visuais, a forma de aparição e o grau de perda de visão.

Há muita diferença no desenvolvimento e aprendizagem entre a pessoa que nasça cega e aquela que perdeu a visão em etapas posteriores da vida. A forma da aparição, se gradual ou repentina, também é muito importante. O grau de visão perdido pode determinar uma possível via alternativa no desenvolvimento do deficiente (OCHAÍTA e ESPINOSA, 1995).

Quando o deficiente visual possui visão residual e é tratado como totalmente cego, perdem-se os benefícios que o seu uso traria ao desenvolvimento e a qualidade de vida do deficiente (GIL, 2000). Outras características como o nível socioeconômico e instrucional dos pais, lugar onde mora, trabalha e estuda, e as relações sociais que desenvolve com as pessoas, também influenciam no desenvolvimento e aprendizagem do deficiente visual.

O deficiente visual, apesar das restrições impostas pela limitação sensorial, pode ter uma vida "normal", isto é, igual à das pessoas que têm visão normal. Este pensamento está presente nos programas de atendimento a pessoas com deficiência visual sob o nome de Atividades da Vida Diária (AVD). O programa de Atividades da Vida Diária é uma preparação para a vida; capacita para o prazer da autossuficiência, liberta da ajuda e da proteção excessivas e motiva para o crescimento pessoal, por meio de atitudes e valores positivos (GIL, 2000).

Felizmente, pesquisas mais recentes na área de deficiência visual alimentam nossas esperanças futuras.

A divulgação de mais uma inovação tecnológica digna da ficção científica alimentou as esperanças de milhares de vítimas de doenças oculares degenerativas na semana passada. Pela primeira vez na história, um implante digital foi capaz de restaurar parte da visão de três vítimas de distrofia hereditária da retina, um mal que leva progressivamente à cegueira. O feito foi alcançado por pesquisadores da Universidade de Tübingen (Alemanha) e envolve a aplicação de um chip equipado com 1.500 receptores de luz. Eles são capazes de processar imagens digitalmente e de transformá-las em impulsos depois direcionados ao nervo óptico e ao cérebro. (GOMES, 2010, p.102).

O avanço da nanotecnologia, biotecnologia e estudos afins têm proporcionado inúmeras conquistas. A capacidade de trabalhar em escala nanoscópica possibilita a construção de chips cada vez menores e desvenda um horizonte de alternativas, antes inimagináveis.

## **1.2 Estudos precedentes**

Para a presente pesquisa, fizemos uma revisão de literatura sobre: a deficiência visual isolada ou combinada a outras limitações sensoriais; a escrita em Braille e a escrita Matemática em Braille; alguns estudos sobre o processo de ensino-aprendizagem dos deficientes visuais; representações gráficas de funções matemáticas e alguns trabalhos relacionados à construção e uso de ferramentas no contexto da Educação Inclusiva.

### **1.2.1 A importância dos sentidos humanos**

O mundo em que vivemos sofre constantes mutações, tudo se transforma pela ação do tempo. Nesse pensar, talvez Heráclito de Éfeso tenha razão na frase a ele atribuída de que “um homem não toma banho duas vezes no mesmo rio”, porque nem o homem nem o rio serão os mesmos.

São os diferentes sentidos humanos responsáveis por informar ao cérebro a ocorrência de tais mudanças e é por meio dos sentidos (audição,

tato, olfato, paladar e visão) que conhecemos o mundo. Todos esses sentidos são importantes à percepção do mundo, entretanto, algumas pessoas, nascem ou no decorrer da vida, perdem um ou mais desses sentidos e passam a perceber o mundo usando os canais perceptivos preservados.

Segundo Gil (2000) a visão é o canal mais importante de relacionamento do indivíduo com o mundo, no entanto, Belarmino (2009) constata que esta perspectiva de mundo, que elimina ou coloca num patamar inferior os sentidos do olfato e do tato, é dominante na cultura ocidental. Para ela, a ciência tradicional tem o olho e o ouvido como sentidos prioritários nas indagações que fazemos sobre o mundo e na produção do conhecimento sobre a realidade. O que é confirmado por Restrepo (1998, p. 31):

Frente a uma percepção mediada pelo tato, gosto ou olfato, o Ocidente preferiu o conhecimento dos exteroceptores, ou receptores à distância, como são a vista e o ouvido. Nossa cultura é uma cultura audiovisual. Condicionante tão certo que os Padres da Igreja e o próprio Santo Tomás conceberam o céu como um paraíso visual onde teríamos por toda a eternidade a visão beatífica de Deus, excluindo a possibilidade de um céu tátil, sentido que também haviam censurado na terra.

A realidade difícil e dura da história de vida da maioria dos deficientes visuais está apontada em diversos trabalhos (BELARMINO, 2009, 2004; BORGES, 2009, 2003; STADELMAN, 2003; LEMOS, 1981).

Mas retornando às considerações sobre os sentidos humanos, no caso dos deficientes visuais, os sentidos remanescentes são importantes e necessários para o seu desenvolvimento e aprendizagem (OCHAIA e ESPINOZA, 1995) e, quando estimulados por necessidade e treinados através da educação, podem substituir, até certo ponto, a função da visão (STADELMAN, 2003).

Dos sentidos remanescentes, o tato e a audição ocupam lugar de destaque entre os deficientes visuais, e suas peculiaridades permitem traçar paralelos a algumas características presentes no sentido da visão. Por exemplo, sabemos que a visão permite perceber objetos que estão distante

do observador. Com a ajuda da audição, entretanto, o deficiente visual pode perceber objetos distantes se estes emitirem algum som.

Fernandes (2008) dedica um capítulo do seu trabalho de pesquisa ao estudo filosófico e psicológico decorrentes das sensações fornecidas pelos órgãos do sentido e conclui que os indivíduos cegos têm potencial para um desenvolvimento cognitivo normal atribuindo aos educadores a responsabilidade de buscar estímulos e instrumentos adequados para tal, e que a atividade cognitiva não se limita apenas ao cérebro, mas a todo nosso corpo.

Nesta direção, o plotador sensorial utiliza um sistema de pontos para a representação gráfica de funções, de forma semelhante ao usado no Braille. Deste modo, o estímulo oferecido às mãos oferece diferentes percepções dos elementos que compõem os gráficos cartesianos permitindo que o deficiente visual os reconheça.

### 1.2.2 A escrita em Braille

O Braille constitui-se num importante sistema de pontos em relevo para a escrita e leitura tátil. O método foi apresentado em 1829 pelo francês Louis Braille e representa uma evolução na codificação pontográfica. Belarmino (2004) chama a codificação pontográfica de escrita pontográfica. Para ela, o método representa um alfabeto autônomo e novo, em que o traço, estrutura básica da escrita manuscrita, é substituído pelo ponto.

Um conjunto de seis pontos distribuídos matricialmente em 3 linhas e duas colunas compõem a célula ou cela Braille, Figura 1.1.

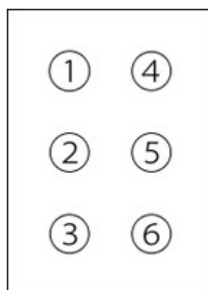


Figura 1.1 - Cela Braille

O alfabeto, Figura 1.2, é construído a partir da combinação dos pontos da cela Braille que permite representar até 64 sinais, inclusive o espaço em branco.

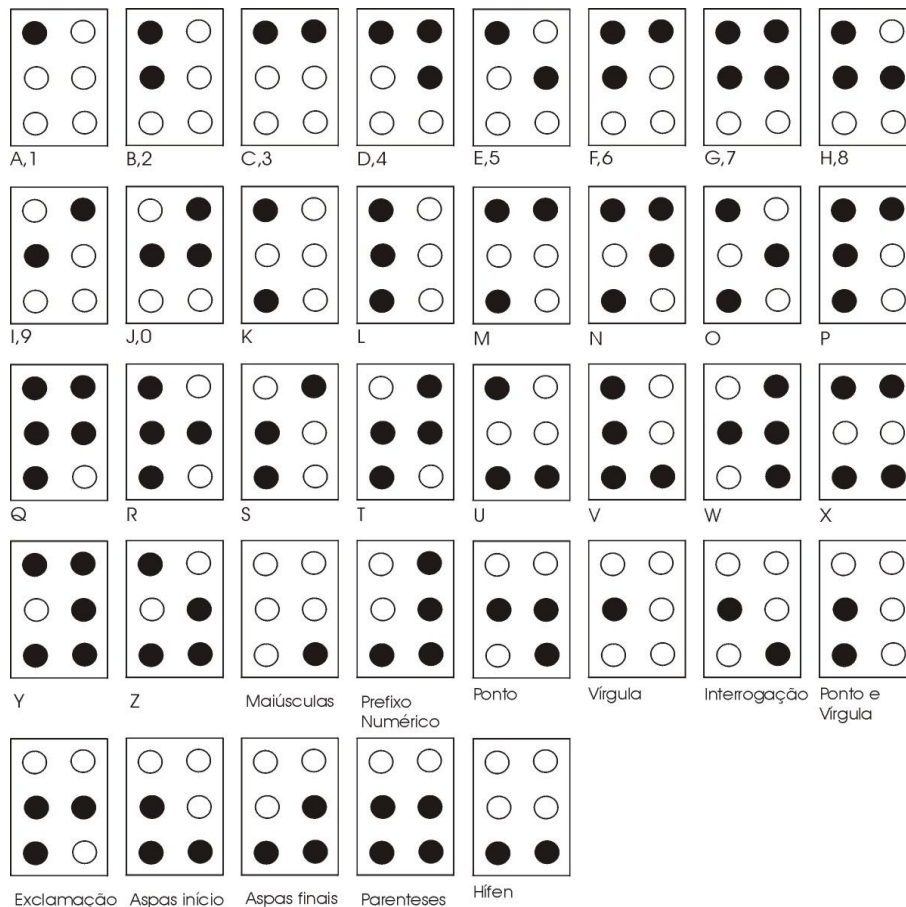


Figura 1.2 - Alfabeto em Braille

No Brasil, a portaria nº 2.678 de 24 de setembro de 2002 do MEC, aprova diretrizes e normas para o uso, o ensino, a produção e a difusão do sistema Braille em todas as modalidades de ensino, compreendendo o projeto da Grafia Braille para a Língua Portuguesa e a recomendação para o seu uso em todo o território nacional (MEC/SEESP, 2007).

Quanto às medidas utilizadas na construção das celas Braille, não existe um padrão mundial, como apresentado na Tabela A.5 (ANEXO - A).

As diferenças podem revelar um fator negativo, quando se pensa em estabelecer padrões. Várias normas especificam e regulam o uso das celas

Braille (ANSI A117.1, 1998; Australian Building Codes Board, 2007; California Building Standard Code, Title 24, 2007 - Section 1117B.5.6; DIN 32976, 2007; Directive 2001/83/EC, Article 56a).

Além do Braille de seis pontos, contamos com uma variação, Braille de oito pontos, em que a cela passa a ter mais uma linha de dois pontos. Nessa configuração, o ponto 7 fica abaixo do ponto 3 e o ponto 8 fica abaixo do ponto 6. Esta ampliação tem o objetivo de aumentar o número de símbolos representados por uma única cela de 64 para 256 – incluso o espaço em branco.

### 1.2.3 A escrita Matemática em Braille

O Braille permite também a tradução de outros sistemas linguísticos como a pauta musical, a linguagem matemática e os sinais físico-químicos (BELARMINO, 2011).

Marcelly e Penteado (2011) apresentam no artigo “a escrita matemática em Braille”, alguns símbolos em Braille e evidenciam a complexidade dessa escrita. Afirmam ainda que, apesar da complexidade, o código Braille é atualmente o mais apropriado para um cego ler e escrever.

O conhecimento da escrita Braille é considerada como fundamental nas aulas de Matemática Inclusiva (SANTOS et al., 2012; MARCELLY e PENTEADO, 2011). Seu uso favorece a aprendizagem e o desenvolvimento da autonomia dos deficientes visuais e dos professores envolvidos.

Algumas representações geométricas elementares, como a reta  $r$ , são feitas como mostrada na Figura 1.3.



Figura 1.3 - Representação geométrica da reta  $r$

Para o mesmo exemplo, apresentamos a seguir a combinação Braille (5)(25)(2) que representa uma reta, Figura 1.4.

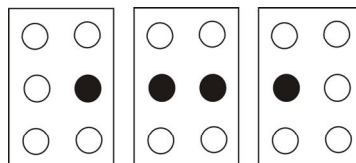


Figura 1.4 - Reta escrita em Braille

Assim, representar a reta  $r$ , devemos acrescentar a letra  $r$  à sequência de combinação Braille acima, que resulta na combinação (5)(25)(2)(1235), conforme mostra a Figura 1.5:

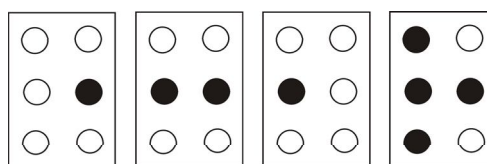


Figura 1.5 - Reta  $r$  escrita em Braille

#### 1.2.4 Estudos realizados sobre o processo de ensino-aprendizagem dos cegos

Descrevemos, a seguir, alguns trabalhos realizados sobre o processo de ensino-aprendizagem dos cegos.

O estudo de Fernandes (2004) investigou os processos de apropriação dos conceitos matemáticos de simetria e reflexão por alunos cegos. As ideias de Vygotsky de que os aprendizes cegos têm o mesmo potencial que os videntes para apropriarem-se de noções ligadas a esses conceitos matemáticos são utilizadas como fundamentação teórica. A pesquisa tem como sujeitos dois alunos cegos, um congênito e outro adquirido. O método utilizado foi o da dupla estimulação de Vygotsky e entrevistas baseadas em tarefas de Goldin. A conclusão desse estudo revela que a evolução dos significados associados à simetria e à reflexão por aprendizes cegos acontece de maneira similar ao dos aprendizes videntes e destaca a percepção tátil nesse processo.

A pesquisa de Andrezzo (2005) investigou a compreensão da sequência de padrões figurativos no estudo de objetos algébricos. As tarefas realizadas contaram com a participação de cinco sujeitos sem acuidade visual, que com o tato, percebiam os diversos padrões de sequência dos ímãs de várias formas geométricas arranjados em pranchas metálicas. As ideias de Vygotsky são a base da argumentação nesta pesquisa, pois a pesquisadora afirma que crianças, com deficiência, são capazes de aprender se lhes são oferecidas condições apropriadas (adaptadas) de ensino.

Ferreira (2006) investigou as dificuldades apresentadas por alunos videntes e sem acuidade visual quanto à representação gráfica de função de primeiro grau. O estudo foi desenvolvido com alunos do Ensino Fundamental e Médio. A fundamentação do trabalho tem como ponto de origem o processo de mediação de Vygotsky. A ferramenta proposta, desenvolvida e utilizada nos experimentos permitiu afirmar seu papel mediador na compreensão de representações gráficas de funções.

Lírio (2006) pesquisou o uso de computadores por duas estudantes cegas no estudo da matemática, mais especificamente, na Geometria. O objetivo era conhecer as limitações e possibilidades oferecidas pelo uso de tecnologias informáticas. A metodologia utilizada foi a qualitativa baseada em experimentos de ensino. O desenhador vox, parte integrante do sistema DOSVOX, foi usado nos experimentos. Os resultados apontam para a importância da familiarização prévia com o *software*, exploração tátil de modelos e localização de pontos no plano cartesiano.

A necessidade desta familiarização aparece durante os experimentos com o plotador sensorial, conforme descrevemos na seção 4.2 Ciclo 2 – Experimentos.

Calore (2008) pesquisou o papel da etnomatemática na inclusão de pessoas com deficiência visual. A coleta de dados aconteceu em duas instituições de ensino: a primeira de ensino regular teve a participação de seis alunos e uma professora; a segunda de atendimento especializado

para deficientes visuais teve a participação de dezessete alunos. Sua pesquisa mostra a maneira diferente de pensar e resolver problemas, fruto da convivência dos sujeitos nos diferentes ambientes. A conclusão da autora aponta para a existência de uma ligação entre a maneira de pensar e a cultura do meio em que os sujeitos vivem.

Em sua tese, Fernandes (2008) pesquisou a relação corpo-cognição em sujeitos sem acuidade visual. O foco principal foi analisar o processo de ensino e aprendizagem de alunos em uma escola regular de São Paulo, quando o conteúdo matemático está relacionado à Geometria. A pesquisa utilizou nas tarefas matemáticas, ferramentas materiais e semióticos com o propósito de compreender como essas ferramentas podem ser usadas na construção de novas práticas e explorar a importância da percepção sensorial na produção de conhecimentos. Renshaw, McNeill e Radford sustentam as análises feitas. Os resultados obtidos indicaram que as práticas atuais, raramente, permitem a participação ativa dos deficientes visuais e que atentar ao uso dos vários instrumentos de mediação (materiais e semióticos) e às atividades de exploração e negociação de conceitos matemáticos constitui-se em um possível caminho para criar uma Educação Matemática mais inclusiva.

Oliveira (2010) verificou como os alunos deficientes visuais podem aprender o conceito de função através de uma sequência de exercícios e avaliou como o uso da planilha eletrônica PLANIVOX em computadores contribuem nesse processo de aprendizagem. Atividades propostas em livros foram adaptadas para alunos com deficiência visual. A pesquisa mostrou que os alunos deficientes visuais podem usar um mesmo conjunto de exercícios elaborados para alunos sem deficiência, desde que a adaptação permita o acesso ao conteúdo.

Oliveira (2010) aponta ser o uso de gráfico uma das principais dificuldades ao ensinar funções, independentemente do aluno ser ou não deficiente visual, e afirma ainda que é comum entre os alunos a crença de que um gráfico é o resultado de uma função e que “os alunos, muitas vezes,

não associam o gráfico de uma função à própria função, mesmo sendo capazes de traçar gráficos simples” .

Talvez o uso do plotador sensorial possa colaborar para a superação dessa dificuldade, por tratar-se de uma ferramenta de representação tátil gráfica dinâmica, isto é, que permite ao aluno deficiente acompanhar a construção do gráfico ponto a ponto, usando os dedos das mãos, a palma das mãos ou ambos.

Outra dificuldade apontada por Oliveira (2010) advém da utilização de figuras, setas e gráficos em atividades e exercícios com funções.

### **1.3 O problema de pesquisa**

Nossos estudos preliminares indicam que, apesar dos avanços tecnológicos atuais, pouco se tem produzido no sentido de criar ferramentas que possam incluir alunos cegos ou demais deficientes visuais na sala de aula de matemática. Fator que se agrava, quando o professor, na lousa, esboça gráficos cartesianos ou desenha figuras geométricas. Dada a crescente importância do tema, tal inclusão apresenta pela ótica pedagógica um desafio novo e complexo para este professor.

Contudo, o problema reside em que **os alunos com comprometimento da acuidade visual não veem a construção do gráfico da função, quando feita pelo professor de matemática**. E, por este motivo, estes alunos têm prejudicado seus processos de aprendizagem.

O objetivo deste trabalho de pesquisa é **projetar e construir um sistema computadorizado que possa plotar gráficos táteis de funções de primeiro grau – plotador sensorial – e favoreça o acesso de sujeitos com comprometimento da acuidade visual aos conceitos matemáticos de gráficos**.

No capítulo 2 apresentamos alguns pontos da teoria de Vygotsky, o sistema háptico e a tecnologia assistiva como fundamentos que pautaram a construção e as análises sobre o uso do plotador sensorial.

## CAPÍTULO 2

### ESTUDOS NORTEADORES

Nossa fundamentação teórica baseia-se na interação e mediação proposta por Vygotsky em seus estudos sobre Defectologia<sup>3</sup>, nas novas concepções sobre o funcionamento do cérebro humano apresentadas pelo pesquisador e neurocientista António Damásio, e nas respostas produzidas pelo sistema háptico humano.

#### 2.1 Defectologia de Vygotsky

Vygotsky, com seus trabalhos, abriu na psicologia um enorme campo para o desenvolvimento das ciências na tentativa de compreender o funcionamento das funções psicológica superiores. Suas contribuições para o estudo de pessoas com deficiências são muitas e foram registradas em suas pesquisas sobre a Defectologia.

Fernandes (2008) apresenta Vygotsky como uma escolha natural nos estudos que envolvam deficientes, principalmente quando as relações e o meio sócio-cultural são mediados.

“Eleger Vygotsky quando se pretende desenvolver pesquisas que envolvam aprendizes com necessidades educacionais especiais nos parece uma escolha natural. Assumindo uma postura prospectiva em relação às pessoas portadoras de deficiências, Vygotsky desenvolveu seus estudos na área de Defectologia centrando-se em compreender de que forma as relações das pessoas com deficiência e seu meio sócio-cultural podem ser mediadas.” (FERNANDES, 2008, p.205).

A mediação e a compensação são dois conceitos defendidos por Vygotsky que alicerçam nossos estudos para a construção e uso do plotador sensorial.

Para entendermos melhor estes dois conceitos precisamos refletir sobre definições ainda mais elementares usadas por Vygotsky em seus escritos, como, por exemplo, instrumentos e signos.

Segundo Vygotsky (1984, p. 61),

---

<sup>3</sup> “Ciência destinada a estudar os processos de desenvolvimento de crianças que apresentavam deficiências físicas, mentais ou múltiplas.” (Fernandes, 2008, p.44)

“as distinções entre os instrumentos como um meio de trabalho para dominar a natureza, e a linguagem como um meio de interação social, dissolvem-se no conceito geral de artefatos, ou adaptações artificiais.”

Nessas palavras destacamos a conotação dada aos instrumentos como um meio de trabalho frente à natureza. Uma faca ou um serrote intermedeiam o homem no seu trabalho de cortar ou serrar, melhorando e ampliando o resultado final.

Os signos para Vygotsky (1984, p. 59-60), têm a seguinte característica:

“A invenção e o uso de signos como meios auxiliares para solucionar um dado problema psicológico (lembrar, comparar coisas, relatar, escolher, etc.) é análoga à invenção e uso de instrumentos, só que agora no campo psicológico. O signo age como um instrumento da atividade psicológica de maneira análoga ao papel de um instrumento no trabalho.”

Dessa forma, Vygotsky transporta para o campo psicológico o conceito de instrumento utilizado nas tarefas do dia a dia do ser humano.

A diferença que Vygotsky faz entre instrumentos e signos é fundamental para a compreensão das relações entre o organismo e o meio, e permite a introdução de um novo conceito: a mediação.

Para compreendermos a mediação, recorreremos à definição apresentada por Vygotsky (1984, p. 45), “[...] o processo simples de estímulo-resposta é substituído por um ato complexo, mediado, que representamos da seguinte forma:”

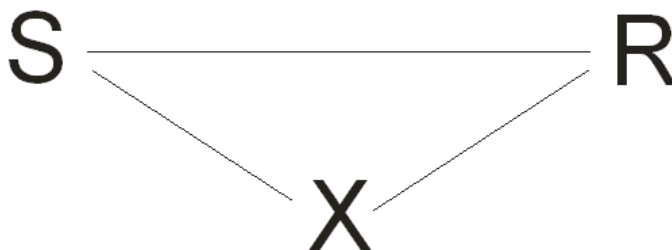


Figura 2.6 - Esquema apresentando S = estímulo, R = resposta e X = elo intermediário ou elemento mediador

A mediação acontece quando a relação entre o estímulo e a resposta deixa de ser direta e passa a ser mediada pelo elemento intermediário.

Pensado como instrumento de mediação, o plotador sensorial gera uma resposta gráfico-tátil-sonora, à qual, esperamos, seja possível associar o signo da reta, e sua representação cartesiana no plano.

Vygotsky (1997, p.17), apresenta o conceito de compensação das crianças cegas ou surdas que contempla a lei de transformação:

“A criança cega ou surda pode conquistar o mesmo desenvolvimento que a normal, mas as crianças com defeito a conquistam de modo diferente, por um caminho diferente, com outros meios e para o professor é importante conhecer a peculiaridade do caminho pelo qual deve conduzir a criança. A chave da peculiaridade contempla a lei de formação do menos do defeito no mais da compensação.” (Tradução nossa).

A compensação do “defeito” promovida pelos sentidos preservados do deficiente visual e que o auxilia no seu desenvolvimento. Tal pensamento de Vygotsky sugere a plasticidade no cérebro ao equiparar o desenvolvimento da criança cega ou surda à dita normal.

Além das contribuições de Vygotsky para a psicologia educacional, consideramos neste trabalho, também, os estudos de Damásio, que apresenta significados diferentes para termos bastante utilizados na neurociência.

Damásio define o termo imagem como sinônimo de padrão mental e não para denotar padrão de atividades neurais como é usado atualmente pela neurociência.

Quando emprego o termo imagem, refiro-me sempre a imagem mental. Um sinônimo de imagem é padrão mental. Não uso a palavra imagem para denotar o padrão de atividades neurais que pode ser encontrado, pelos métodos atuais da neurociência, em córtices sensoriais ativadas - por exemplo, nos córtices auditivos em correspondência com um percepto auditivo; ou nos córtices visuais, em correspondência com um percepto visual. Quando me refiro ao aspecto neural do processo, emprego termos como padrão neural ou mapa. (DAMÁSIO, 2000, p.401).

Nas palavras de Damásio, “as imagens podem ser conscientes ou inconscientes [...]”, além disso, “as imagens conscientes podem ser acessadas somente da perspectiva de primeira pessoa (minhas imagens, suas imagens)”, enquanto que “as imagens inconscientes nunca são acessíveis diretamente”.

Os estudos de Damásio apresentam também algumas conclusões sobre a importância das emoções no comportamento humano. Em

entrevista<sup>4</sup> concedida à RTP<sup>5</sup>, o pesquisador afirma: “[...] as emoções no fundo têm uma certa razão. As emoções são uma forma de inteligência: a inteligência emocional.”, destacando o papel desempenhado pelas emoções na razão.

## 2.2 O sistema háptico

Gil (2000) ao apontar a importância das mãos para o deficiente visual compara-as aos olhos dos videntes e afirma ainda que seu uso deva ser incentivado, estimulado e aprimorado sempre.

Segundo Gibson (1996) apud Ochaíta e Espinosa (2004) o tato é diferenciado entre passivo e ativo (sistema háptico). No tato passivo as informações são recebidas de modo não intencional, enquanto que o tato ativo é decorrente de atos exploratórios que ocorrem durante a manipulação de objetos com o objetivo de perceber formas, texturas, tamanhos, movimentos, forças etc. (CALVE e MAUERBERG-DECASTRO, 2006).

O sistema cutâneo e cinestésico são dois subsistemas hápticos. O sistema cutâneo fornece informações capturadas na superfície da pele. Um exemplo de informação fornecida pelo sistema cutâneo é a sensação que sentimos de calor ou do vento em nosso corpo. O sistema cinestésico fornece informações capturadas pelos receptores presentes nos músculos, articulações e pele. Um exemplo de informação cinestésica está na sensação de peso que temos ao segurar um objeto.

Visão e tato usam as mesmas estratégias para observar a geometria das superfícies que podem ser planas ou curvadas. (KENNEDY apud OLIVEIRA, COWAN e FANG), o que também é defendido por Ochaíta e Espinosa (2004) ao afirmarem que:

---

<sup>4</sup> Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=4ROab8foIGU&NR=1>>

<sup>5</sup> Rádio e Televisão Portuguesa.

“As mãos, como os olhos, embora de forma mais lenta e sucessiva, movem-se de forma intencional para buscar as peculiaridades da forma e poder, assim, obter uma imagem dela.” (OCHAÍTA e ESPINOSA, 2004, p.185)

Siaoulis (apud Lirio 2006, p. 8) destaca que o processamento adequado do aprendizado de conceitos como tamanho, forma, causalidade e pensamento lógico matemático entre outros, requer que o uso de materiais pedagógicos possam ser assimilados pelos outros sentidos: tátil-cinestésico, auditivo e olfativo.

### **2.3 A tecnologia assistiva e seus impactos na Matemática inclusiva**

A evolução natural do mundo e das ciências gera novos termos e nomenclaturas para designar algo novo. Isto se faz presente na área da inclusão que tem sido objeto de muitas discussões e estudo. Neste estudo, apresentamos dois termos relacionados diretamente à atividade inclusiva e que podem gerar dúvidas ou controvérsias quanto ao significado que possuem. São eles: tecnologia de acessibilidade e tecnologia assistiva.

A acessibilidade é uma palavra de significado bastante amplo que engloba todos os esforços para permitir o acesso de todos a tudo. A tecnologia de acessibilidade estuda e pretende estabelecer os critérios que tornam este objetivo possível. É por causa da acessibilidade que os produtos e serviços são criados, com o propósito de atender a maior gama possível de pessoas, sejam elas deficientes ou não.

Graças à tecnologia assistiva, pessoas com diversos tipos de deficiências podem realizar tarefas que seriam muito difíceis ou impossíveis sem ela. A tecnologia assistiva contribui muito na inclusão de pessoas deficientes ao criar produtos e serviços. Segundo o CAT<sup>6</sup>, a tecnologia assistiva é:

“[...] uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade

---

<sup>6</sup> Comitê de Ajudas Técnicas instituído em 16 de novembro de 2006 pela Secretaria Especial dos Direitos Humanos da Presidência da República – SEDH-PR, portaria nº 142.

reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social.”

O Decreto 3.298, de 20 de dezembro de 1999, que Promulga a Convenção Interamericana para a Eliminação de Todas as Formas de Discriminação contra as Pessoas Portadoras de Deficiência, define o termo ajudas técnicas e estabelece uma classificação:

“Art. 19. Consideram-se ajudas técnicas, para os efeitos deste Decreto, os elementos que permitem compensar uma ou mais limitações funcionais motoras, sensoriais ou mentais da pessoa portadora de deficiência, com o objetivo de permitir-lhe superar as barreiras da comunicação e da mobilidade e de possibilitar sua plena inclusão social.

Parágrafo único. São ajudas técnicas:

I - próteses auditivas, visuais e físicas;

II - órteses que favoreçam a adequação funcional;

III - equipamentos e elementos necessários à terapia e reabilitação da pessoa portadora de deficiência;

IV - equipamentos, maquinarias e utensílios de trabalho especialmente desenhados ou adaptados para uso por pessoa portadora de deficiência;

V - elementos de mobilidade, cuidado e higiene pessoal necessários para facilitar a autonomia e a segurança da pessoa portadora de deficiência;

VI - elementos especiais para facilitar a comunicação, a informação e a sinalização para pessoa portadora de deficiência;

VII - equipamentos e material pedagógico especial para educação, capacitação e recreação da pessoa portadora de deficiência;

VIII - adaptações ambientais e outras que garantam o acesso, a melhoria funcional e a autonomia pessoal; e

IX - bolsas coletoras para os portadores de ostomia.”

O plotador sensorial pode ser classificado como ajuda técnica VII, por tratar-se de equipamento pedagógico especial para educação.

Vários recursos atuais visam auxiliar professores e alunos nas aulas de Matemática. Destacamos, a seguir, alguns pela pertinência e relevância para essa pesquisa.

A régua e a fita métrica adaptada são dois bons exemplos de recursos inclusivos simples, que podem ser utilizados nas aulas de matemática, para

auxiliar professores e alunos cegos ou portadores de baixa visão na solução de problemas que envolvam, principalmente, medições.

O reglete e punção, Figura 2.7, permitem a escrita em papel do código Braille. Sua utilização é lenta e complexa, na medida em que o cego ou portador de baixa visão escreve a folha pelo verso e para ler precisa evidentemente virá-la.

A reglete é uma régua de madeira, metal ou plástico com um conjunto de celas Braille dispostas em linhas horizontais sobre uma base plana. O punção é um instrumento em madeira ou plástico no formato de pêra ou anatômico, com ponta metálica, utilizado para a perfuração dos pontos na cela Braille. O movimento de perfuração deve ser realizado da direita para a esquerda para produzir a escrita em relevo de forma não espelhada. Já a leitura é realizada da esquerda para a direita. Esse processo de escrita tem a desvantagem de ser lento devido à perfuração de cada ponto, exige boa coordenação motora e dificulta a correção de erros. (SÁ et. al., 2007, p.24).



Figura 2.7 - Reglete e punção  
Fonte: BRASIL (2006)

A máquina de escrever em Braille, Figura 2.8, quando comparada ao reglete e punção, permite uma escrita mais rápida, no entanto outras habilidades são necessárias para seu manuseio.

A máquina de escrever tem seis teclas básicas correspondentes aos pontos da cela Braille.

O toque simultâneo de uma combinação de teclas produz os pontos que correspondem aos sinais e símbolo desejados. É um mecanismo de escrita mais rápido, prático e eficiente. (SÁ et. al., 2007, p.24).



Figura 2.8 - Máquina de escrever Braille  
Fonte: BRASIL (2006)

O soroban, Figura 2.9, é o nome dado pelos japoneses ao instrumento de cálculo trazido ao Japão pelos chineses. Esse instrumento é reconhecidamente rápido para a realização de cálculos aritméticos.

Desde o início do século XX, o Japão já vinha promovendo campeonatos que visavam mostrar a importância do soroban para o desenvolvimento mental. Porém, o campeonato decisivo, considerado de vida ou morte para o reconhecimento do soroban, foi realizado no dia 11 de novembro de 1946. Esse confronto aconteceu no teatro Anipail, de Tóquio, em que a máquina de calcular teve como operador o norte-americano tenente William Wood, e o soroban teve como operador o senhor Kiyoshi Matsuzaki. Nesse campeonato o soroban foi vitorioso e os americanos reformularam seu conceito sobre este instrumento, embora sem grande divulgação. No entanto sabe-se que nos Estados Unidos tem boa aceitação e uso pelos cegos. (BRASIL, 2006, p.19).

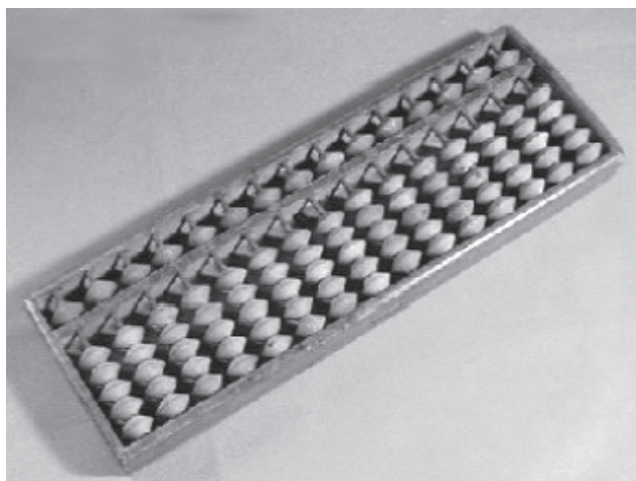


Figura 2.9 - Soroban de 5 contas e 15 casas, precursoras do soroban moderno  
Fonte: BRASIL (2006)

Os sólidos geométricos, Figura 2.10, permitem trabalhar diversos assuntos relacionados à matemática. A escolha desses objetos deve atentar para características importantes como, por exemplo, o tamanho, no reconhecimento dos detalhes.

Na Educação Matemática, quando o professor tem por objetivo explorar formas geométricas, recomenda-se iniciar com formas tridimensionais para em seguida trabalhar com as bidimensionais. Não se deve partir de regras prontas, pois trata-se do desenvolvimento de noções geométricas e não da memorização de regras. (BRASIL, 2006, p.49).



Figura 2.10 - Sólidos geométricos  
Fonte: BRASIL (2006)

A impressora Braille é o primeiro recurso criado pela tecnologia informática para auxiliar, especificamente, os cegos ou portadores de deficiência visual. No entanto, seu alto custo de aquisição, manutenção e de suprimentos a tornam um artigo de luxo, quando comparada às demais impressoras de mercado.

Optacon, Figura 2.11, é um sistema de representação tátil em que uma câmera, acoplada, copia o gráfico que é enviado para uma matriz de pontos vibrantes. Então, o usuário pode sentir com o dedo a vibração gráfica correspondente. Assim, textos impressos são transformados em imagens táteis. Na área dos produtos assistivos é considerado um dispositivo pioneiro. Construído em 1970, o *Optical Tactile Converter* (Optacon), atualmente não é mais fabricado, entretanto ainda possui usuários.

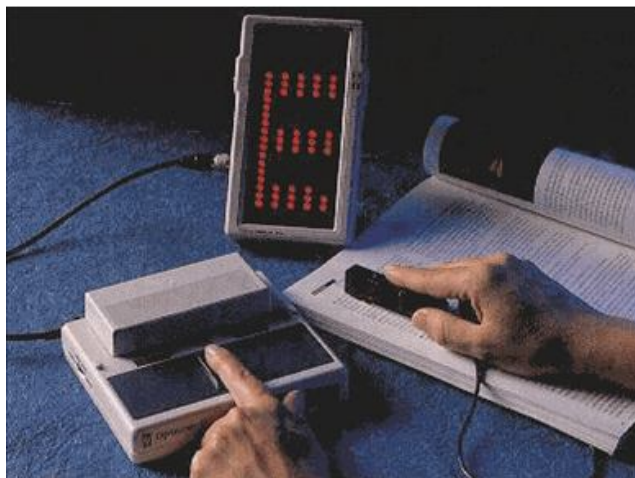


Figura 2.11 – Optacon  
Fonte: FREEDOM SCIENTIFIC

O display Braille ou linha Braille, Figura 2.12, é um dispositivo que, acoplado ao computador, converte uma linha de texto para o Braille. Por meio de um sistema eletro-mecânico os conjuntos de pontos são acionados para representarem uma linha de texto em Braille. Assim, a informação da tela do computador é representada no display Braille.



Figura 2.12 - Display Braille  
Fonte: BENGALA LEGAL

O T3, Figura 2.13, é um dispositivo multi-sensorial, sensível ao toque e que proporciona respostas de áudio ao contatar imagens. Esta combinação de toque e imagem modifica a maneira como pessoas com ou sem deficiências acessam informações gráficas. Como ferramenta inclusiva, pode ser usada por portadores de diversos tipos de deficiência. O produto é comercializado no Reino Unido, pelo *Royal National College for the Blind*.



Figura 2.13 - Interface do T3

Fonte: ROYAL NATIONAL COLLEGE FOR THE BLIND (2010)

Os gravadores são muito úteis aos cegos ou portadores de baixa visão, porque a capacidade de gravar o som de uma conversa e depois reproduzir novamente, quantas vezes quiser, alterar a ordem, o volume ou velocidade de leitura, proporciona flexibilidade e controle sobre o que está sendo falado de maneira que o ouvinte pode adequar melhor às suas necessidades específicas.

Os telefones celulares modernos, dotados de diversos recursos adicionais, estão presentes no dia a dia da maioria dos cegos. Eles permitem gravar sons, definir diferentes tipos de toques ou enviar mensagens audíveis o que proporciona versatilidade no uso e reverte-se em grande ajuda.

Data Vision é um programa interessante, desenvolvido por Harry Erwin Mossa, capaz de traduzir automaticamente textos do português para Braille. O texto traduzido, depois de impresso, deve ser perfurado num reglete por uma pessoa que enxerga.

Os leitores de tela são programa de computadores capazes de converterem o texto apresentado na tela do computador em som. Dessa maneira o usuário cego pode ouvir a tela. Nessa categoria de programas encontramos o DOSVOX, JAWS e o NVDA, entre outros.

O DosVox é resultado do trabalho conjunto do professor Antônio Borges da Universidade Federal do Rio de Janeiro e seu aluno cego

Marcelo Pimentel. O software brasileiro é gratuito e possui outras vantagens.

Programa que transforma o que é digitado em som, sendo popular devido ao seu baixo custo de aquisição e por rodar em plataformas DOS, podendo ser utilizado em computadores que possuem baixo custo de aquisição. (PAVANI, 2002, p.54).

Outras características do DosVox são descritas por LIRIO, 2006:

O sistema DOSVOX é uma tecnologia totalmente nacional e tem distribuição gratuita pela Internet. Sua base de interação com o usuário é a síntese de voz, todas as mensagens do sistema são gravadas ou sintetizadas, e toda entrada é feita através do teclado, com feedback sonoro, permitindo assim que uma pessoa cega o utilize sem maiores problemas. É composto por uma série de programas, entre eles um que permite ao usuário construir figuras através de coordenadas cartesianas que é denominado desenhador vox. (LIRIO, 2006, p.1).

O JAWS é um programa leitor de telas considerado como software proprietário, isto é, o usuário precisa pagar pela licença para poder usá-lo o que torna o acesso bastante difícil.

O NVDA (*NonVisual Desktop Access*, em português: Acesso Não-Visual ao Ambiente de Trabalho) é um programa leitor de tela bastante conhecido pelos cegos. É gratuito e roda em ambiente Windows.

Os sistemas de reconhecimento de voz constituem um grande avanço no uso e aplicação de computadores. Seus benefícios podem ser sentidos pelos usuários cegos ou deficientes visuais.

Um bom exemplo dessa tecnologia está presente no aplicativo Siri<sup>7</sup>, considerado como um assistente pessoal para o iOS da Apple® Inc. Por meio desse aplicativo o usuário pode obter respostas às questões feitas pelo telefone à uma central que usa recursos de inteligência artificial e processamento de linguagem natural para o reconhecimento de voz. O Siri além de responder a questões, pode fazer tarefas como, por exemplo, reservar passagens aéreas, restaurantes ou encontrar filmes para o usuário, sem que seja necessário digitar uma única letra.

---

<sup>7</sup> Mais informações podem ser obtidas diretamente do site da Apple Inc. em: <<http://www.apple.com/iphone/>>, acessado em 21 de junho de 2012.

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGIA DA PESQUISA

“Como a situação escolar é um processo permanentemente em movimento, e a transformação é justamente o resultado desejável desse processo, métodos de pesquisa que permitam captar transformações são os métodos mais adequados para a pesquisa educacional.” (OLIVEIRA, 1998, p.65).

#### 3.1 A Metodologia do *Design-Based Research*

A metodologia escolhida para nossa pesquisa é o *Design-Based Research* (DBR). Essa escolha advém das características apresentadas pela metodologia, as quais são descritas mais adiante, neste mesmo capítulo.

O termo design possui vários significados como desígnio, projeto, intento, esquema, plano, escopo, fim, motivo, desenho, esboço, modelo, invenção artística etc.

Vaishnavi e Kuechler (2008) propõem o modelo ilustrado na Figura 3.14 para mostrar, de forma generalizada, o fluxo do conhecimento e as etapas e saídas do processo. O nome do modelo proposto é ciclo geral do *design* (CGD) e uma das suas peculiaridades, a cíclica, fica evidente nesta representação.

O processo inicia pela etapa **Problema** com o reconhecimento do problema. A saída deste processo é a proposta formal ou informal que gera um novo esforço de pesquisa (Vaishnavi e Kuechler, 2008, p.20).

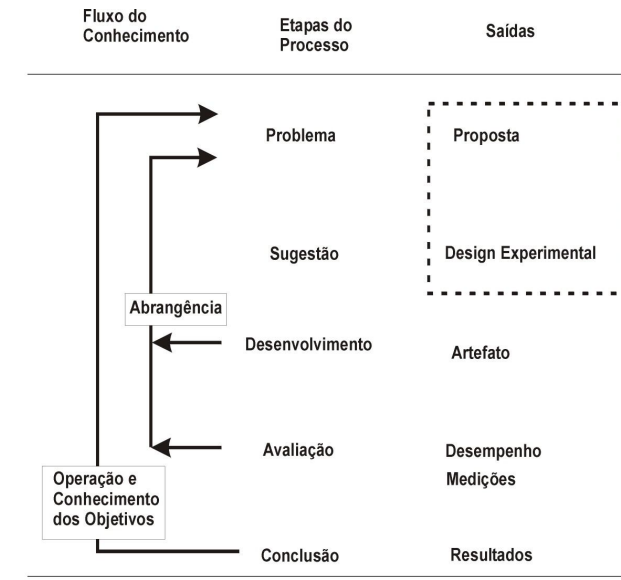


Figura 3.14 - Ciclo geral do *design* (CGD)  
Fonte: Adaptado de Vaishnavi e Kuechler (2008)

**Sugestão** é a etapa seguinte e apresenta a característica de estar muito ligada à proposta. A linha pontilhada que envolve a Proposta e o Design Experimental (que é saída da etapa Sugestão) indica a estreita relação que existe entre elas. A etapa de Sugestão é caracterizada pela criatividade e influenciada pelas inovações e descobertas.

Na etapa de **Desenvolvimento** o Design Experimental é desenvolvido e implementado, o que exige bastante esforço criativo. As técnicas de implementação variam conforme o artefato a ser construído Vaishnavi e Kuechler (2008, p.20). O desenvolvimento do plotador sensorial envolverá o uso de técnicas de implementação de hardware e software.

Na etapa de **Avaliação**, os critérios definidos na Proposta são utilizados para avaliar o artefato construído. Os desvios detectados, sejam qualitativos ou quantitativos, são analisados em detalhes. Assim, a etapa de Avaliação possui uma sub-etapa Analítica em que hipóteses são construídas sobre o comportamento do artefato. Raramente as hipóteses iniciais são completamente satisfeitas. Ao contrário, a etapa de Avaliação resulta em informações adicionais à construção do artefato, as quais realimentam a etapa de Sugestão. A hipótese é reformulada para atender às novas observações. Resultando em um novo design, normalmente precedido da revisão bibliográfica indicada pelos desvios em relação ao

desempenho esperado. Este novo ciclo é designado por Cobb (2003) e Collins (1992) como *redesign*.

A etapa de **Conclusão** é a final de um trabalho de pesquisa. Normalmente o resultado é satisfatório; isto é, embora ainda existam desvios no comportamento do artefato, os diversos redesign permitem um ajuste “bom o suficiente” para responder ao problema formulado inicialmente.

O DBRC (2003) argumenta que a pesquisa baseada no *design*, mistura pesquisa educacional empírica com as orientadas por teoria no *design* de ambientes de aprendizagem, e é uma metodologia importante para entender por que, quando e como as inovações educacionais funcionam na prática.

Drisostes (2005, p.38) afirma que a atividade de design envolve a construção de artefatos e objetos, que podem ser concretos ou abstratos (uma escultura, uma tese, um programa de computador, uma atividade educacional ou uma *web site*).

Cinco características estão presentes na metodologia do *Design Experiment*. A primeira é que o propósito da experimentação é desenvolver uma classe de teorias tanto para o processo de aprendizagem quanto para as formas de mediação projetadas para suportar essa aprendizagem. Essas teorias podem se desenvolver, por exemplo, a partir da aprendizagem individual de alunos, da classe ou de toda a escola. Cobb et al (2003) interpretam o processo de aprendizagem de forma ampla para englobar o que é tipicamente pensado como conhecimento. As formas de mediação projetadas para dar suporte a aprendizagem englobam, entre outras, as possibilidades e limitações dos artefatos materiais, práticas de ensino e aprendizagem, e normas vigentes.

A segunda característica dessa metodologia é sua alta natureza intervencionista. Os estudos de design são tipicamente camas de teste para a inovação. O objetivo é investigar as possibilidades para a melhoria educacional promovendo o estudo de novas formas de aprendizagem (COBB et al, 2003). O *design experiment* deve basear-se nos resultados empíricos e teóricos de pesquisas anteriores.

A terceira característica baseia-se nas duas primeiras e constitui-se nas faces prospectiva e reflexiva da metodologia. No lado prospectivo, o *design* é implementado com processos de aprendizagem baseados em hipóteses. No lado reflexivo encontramos os diversos testes de conjecturas os quais são frequentemente analisados em diversos níveis. O primeiro *design* é uma conjectura para uma forma particular de aprendizagem que se pretende testar. Com o desenvolvimento do estudo, conjecturas mais especializadas são desenvolvidas e testadas.

A quarta característica, chamada *design* cíclico, é resultado das faces prospectivas e reflexivas da metodologia. A criação de conjecturas que depois de testadas, às vezes são descartadas, gera um processo cíclico de invenção e revisão. Para realizar o *design* cíclico é necessário ter atenção sistemática às evidências de aprendizagem, o que pode significar a criação de métricas que indiquem mudanças na ecologia da aprendizagem<sup>8</sup>.

A quinta característica da metodologia do *design experiment* vem das suas raízes pragmáticas. As teorias geradas durante o processo de experimentação são modestas, não apenas pelo motivo de estarem restritas ao domínio específico do processo de aprendizagem, mas também, por suas ligações às atividades de *design* e deve fazer um trabalho real.

Nossa pesquisa está dividida em três ciclos, conforme Quadro 3.1.

<b>Ciclo</b>	<b>Descrição</b>
1º	Parâmetros, concepções e a construção do plotador sensorial
2º	Experimentos
3º	Proposta de um novo design

Quadro 3.1 - Ciclos da pesquisa

### 3.2 Sujeitos da Pesquisa

<sup>8</sup> Cobb et al (2003), definem ecologia da aprendizagem como um sistema complexo e interativo envolvendo múltiplos elementos de diferentes tipos e níveis.

A caracterização dos sujeitos, para efeito de análise nessa pesquisa, é de vital importância porque permite estabelecer relações, definir consequências e fazer inferências.

Nessa pesquisa optamos por utilizar nomes fictícios para os sujeitos.

O primeiro e o quarto experimento tiveram a participação de uma jovem de 21 anos de nome Alice que possui formação acadêmica em Letras. Ela é deficiente visual e nasceu com Síndrome de Peters, que é definida como uma anomalia congênita que acomete ambos os olhos, resultando em grande redução da visão.

Em decorrência deste fato, não enxerga com o olho esquerdo e apresenta apenas 3% de visão no olho direito.

Com esta capacidade visual, consegue distinguir a um metro de distância pelo vulto se, por exemplo, é um homem ou uma mulher, ou se é novo ou velho.

Segundo ela, sua capacidade de visão vem se reduzindo dia após dia, devido aos esforços despendidos nos estudos, pois a cidade onde mora não possui recursos tecnológicos para ajudar o deficiente visual. Assim sendo, na escola teve de se comportar como os demais alunos, ao invés de ter recursos especiais.

"Nossa cidade não é uma cidade voltada para a inclusão", afirma Alice.

Sua história de vida demonstra um exercício constante de superação. Numa entrevista inicial, Alice declara que o preconceito por ser deficiente visual começou bem cedo e dentro da própria família. Seu pai não a aceitava como filha até a idade de 10 anos e sua irmã mais nova só aceitou conversar com ela depois dos seus 13 anos. O mesmo aconteceu no ambiente escolar onde era conhecida como "a menina dos olhos brancos".

Com a ajuda do PROUNI, ingressou na Faculdade de Letras, numa cidade vizinha que dista, aproximadamente, 60 quilômetros da cidade onde reside.

Até para ter acesso à faculdade precisou lutar pelos seus direitos. Ela afirma que depois que souberam que ela não usava Braille ficou mais fácil. Isto porque, Alice consegue ler aproximando o texto junto ao rosto. Para ler os livros, o melhor seria ter textos ampliados, entretanto, se os livros normais são caros, os ampliados são mais ainda, afirma Alice. Em 2010 concluiu esse curso.

Diz ter sido um pouco nervosa, como qualquer deficiente é, numa determinada fase da vida, por não ser aceito e compreendido.

Com relação ao seu comportamento em sala de aula afirma que aprontava, mas só que era pior porque, quando não se tem uma parte dos sentidos se desenvolve mais as outras, então com um ouvido bem desenvolvido, ela era capaz de ouvir os passos do professor se aproximando e parava suas peraltices antes de ser pega.

Declara seu desgosto pela matemática desde cedo e que usava sua deficiência para não aprender. "História e Português, tudo que eu amava eu aprendia", afirma Alice.

O segundo experimento contou com a colaboração de dois colegas do programa de mestrado em Educação Matemática da Universidade Bandeirante de São Paulo - UNIBAN, Carlos e Bernardo, ambos videntes.

Para participar do experimento, os dois participantes tiveram seus olhos vendados e não tiveram nenhum contato anterior com o plotador sensorial.

Bernardo tem formação superior em Química e leciona atualmente na Faculdade de Pedagogia da Universidade Bandeirante de São Paulo – UNIBAN. É aluno do curso de mestrado em Educação Matemática da UNIBAN.

Carlos que é professor particular de Matemática na cidade de Santos, tem formação superior em Engenharia Mecânica, participa como voluntário numa instituição filantrópica ajudando deficientes e idosos. É aluno do curso de mestrado em Educação Matemática da UNIBAN.

O terceiro experimento teve a participação de Daniel e Douglas.

Daniel é um jovem de 19 anos, cego de nascença, estudante do primeiro semestre do curso de Gestão da Tecnologia da Informação na Faculdade de Tecnologia de Bragança Paulista em São Paulo. Daniel sabe ler em Braille e demonstra ser uma pessoa bastante alegre e animada, portador de grande disposição para colaborar com a nossa pesquisa.

Seus pais o levam e o trazem da escola em automóvel próprio. Daniel ainda não anda sozinho. Para participar das aulas, Daniel utiliza um gravador e um notebook dotado de leitor de telas. Das disciplinas que compõem este semestre, Comunicação e Expressão, Matemática, Inglês, Algoritmos, Processos Gerenciais e Fundamentos de TI, apenas duas (Matemática e Algoritmos) são apontadas por ele como difíceis de acompanhar devido as representações gráficas envolvidas no seu aprendizado.

Douglas é mestre em Educação Matemática e atualmente leciona a disciplina de Cálculo do curso de Gestão da Tecnologia da Informação na Faculdade de Tecnologia de Bragança Paulista – FATEC.

A Tabela 3.1 contém uma lista com o perfil dos sujeitos da presente pesquisa.

Tabela 3.1 - Perfil dos sujeitos da pesquisa

Sujeito	Sexo	Idade	Escolaridade	Capacidade Visual	Tempo da Deficiência	Tem Conhecimento sobre Funções polinomiais de 1º grau?
Alice	F	21	Superior	3% no olho direito	Congênita	Não
Bernardo	M	35	Superior	100%	0	Sim
Carlos	M	52	Superior	100%	0	Sim
Daniel	M	19	Cursando Superior	0%	Congênita	Sim
Douglas	M	43	Mestre	100%	0	Sim

### 3.3 Locais da Pesquisa

A pesquisa aconteceu em três lugares distintos que são listados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Locais da pesquisa

Tipo	Local	Cidade - Estado
Laboratório	Casa do pesquisador	Capão Bonito - SP
Sala de aula	Uniban	São Paulo - SP
Sala de aula	Fatec	Bragança Paulista - SP

O laboratório, localizado na cidade de Capão Bonito, interior do estado de São Paulo, foi utilizado durante toda a pesquisa para a construção e ajustes do plotador sensorial. Foi usado também para a aplicação do primeiro experimento. Possui as características de dispor de um conjunto de ferramentas adequadas à construção do hardware e software requeridos

pelo plotador sensorial. Dentre vários outros, podemos destacar as ferramentas de corte, desbaste e furação (serra, tupia e furadeira) e os instrumentos de medição (paquímetro e transferidor) e programação (computadores e gravadores de micro controladores). Soma-se a estas, também, um conjunto de peças e dispositivos que foram reutilizados de equipamentos usados.

A sala de aula utilizada para aplicação do segundo experimento está localizada nas dependências da Universidade Bandeirante de São Paulo – UNIBAN, localizada na capital do Estado de São Paulo e possui as características de uma sala regular, no sentido de contar com um conjunto de aproximadamente 30 carteiras escolares, quadro branco, mesa para professor e projetor eletrônico. A sala é usada regularmente pelo programa de mestrado em Educação Matemática.

O terceiro experimento aconteceu na sala de aula da Faculdade de Tecnologia – (Fatec) da cidade de Bragança Paulista, interior de São Paulo. Tem um conjunto de aproximadamente 40 carteiras escolares, mesa para professor, quadro branco, projetor digital e televisor com entrada para vídeo.

### **3.3 Procedimentos para a Coleta de Dados**

A coleta de dados durante os experimentos foi realizada por meio de gravações em vídeo, áudio e registro de anotações em papel, feitas pelo pesquisador. Cada experimento foi composto de atividades, as quais tiveram duração que variou entre sessenta e noventa minutos. O primeiro e o terceiro experimento tiveram uma entrevista prévia com os participantes, antes da utilização prática do plotador sensorial. Essa entrevista teve o propósito de qualificar melhor os participantes, delineando de forma mais precisa possível, o perfil de cada um. O Quadro 3.2 mostra os tipos de dados coletados em cada experimento.

Experimento	Atividade	Tipo de Dado Coletado	Duração
1	Entrevista Inicial 1	Vídeo e Áudio.	85 min.
	Atividade 1-1		
	Atividade 1-2		
2	Atividade 2-1	Anotações, Vídeo e Áudio.	74 min.
	Atividade 2-2		
3	Entrevista Inicial 3	Anotações, Vídeo e Áudio.	79 min.
	Atividade 3-1		
	Atividade 3-2		
4	Atividade 4-1	Vídeo e Áudio.	62 min.

Quadro 3.2 - Dados coletados

### 3.5 Procedimentos para a Análise dos Dados

A análise dos dados obtidos em cada experimento foi realizada sempre considerando as hipóteses iniciais, isto é, que o plotador sensorial ofereça acesso aos gráficos de funções reais de primeiro grau, de maneira interativa e dinâmica, proporcionando novas formas de representação gráfica. As análises atentarão para os detalhes que possam contribuir para a reformulação ou favorecer a elaboração de novas hipóteses.

O objetivo primeiro das análises foi identificar elementos que permitam melhorar no plotador aspectos que favoreçam a exploração tátil. Portanto, as estratégias dos alunos na solução dos problemas, e a percepção dos elementos do gráfico plotado são pontos nos quais centramos nossa atenção.

.A comparação entre atividades similares de experimentos diferentes pode revelar semelhanças ou diferenças importantes para reforçar um posicionamento sobre determinada hipótese.

O uso de tecnologia informática, notadamente nos seus aspectos relevantes à acessibilidade, também foi considerado quando da análise dos dados da pesquisa.

Assim, as análises obtidas ao término de cada experimento foram importantíssimas para o planejamento do experimento seguinte, sendo essa uma característica peculiar da metodologia utilizada, como descrito no início do capítulo.

## CAPÍTULO 4

### OS CICLOS E AS ANÁLISES

Estabelecemos três ciclos para esta pesquisa. O primeiro visa definir um protótipo inicial que submetido aos experimentos permita aperfeiçoamentos de uso e finalidade. O segundo é constituído de quatro experimentos envolvendo uma pessoa cega, uma de baixa visão e duas videntes utilizando vendas nos olhos. No terceiro ciclo apresentamos uma proposta para o novo design do plotador sensorial.

Na Figura 4.15, apresentamos um esquema que ilustra a sequência dos experimentos e as alterações decorrentes destes experimentos

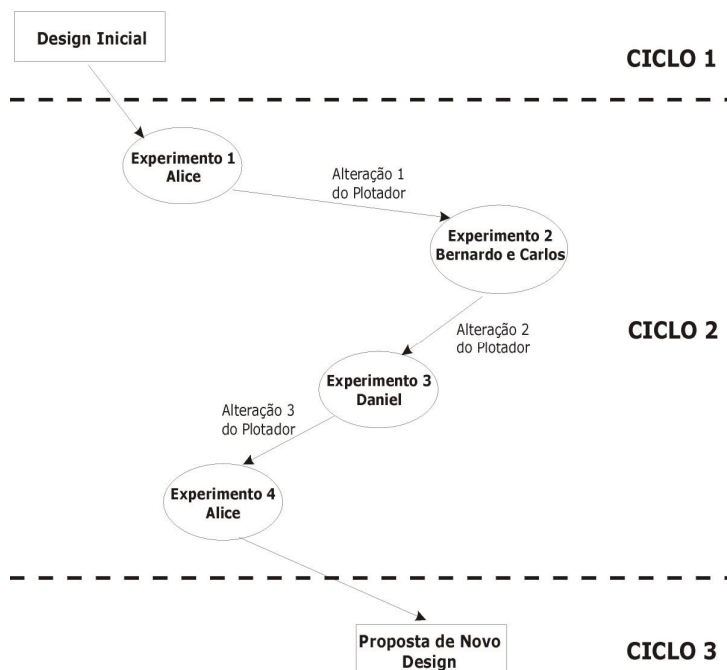


Figura 4.15 - Ciclos da pesquisa

## 4.1 Parâmetros, Concepção e a Construção do Plotador Sensorial

O primeiro esboço em desenho, tentando representar o funcionamento do plotador sensorial é mostrado na Figura 4.16.

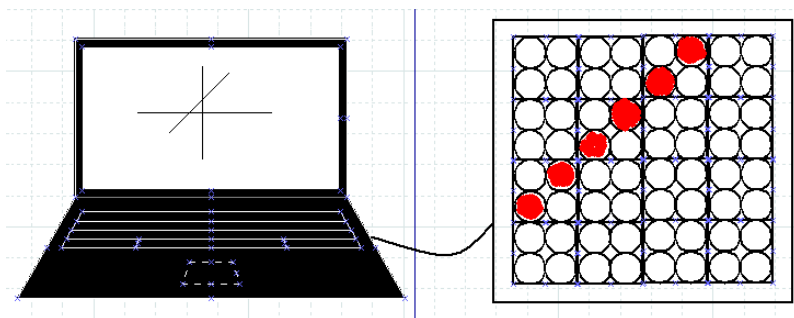


Figura 4.16 - Esquema funcional do plotador sensorial

Nesta representação temos, à esquerda, o microcomputador, responsável pela determinação da função a ser plotada e, à direita, o plotador sensorial gerando o gráfico correspondente.

A concretização da presente pesquisa tem como condição *sine qua non* a construção do plotador sensorial, a qual envolveu, *a priori*, solucionar quatro questões: Como seria a **base de pinos**? Qual o **mecanismo de posicionamento do martelo** mais adequado? Qual o **microcontrolador** mais adequado? Quais recursos incorporar à **interface de usuário do PC**?

Em muitos momentos essas questões se entrelaçam e se constituem numa nova barreira a ser transposta, gerando novas hipóteses, característica presente na metodologia adotada para a nossa pesquisa. Destacamos cada questão de forma isolada; mas, durante o desenvolvimento da pesquisa, algumas delas tiveram de ser tratadas de forma simultânea.

Alguns aspectos construtivos como: programas de computador, de microcontrolador e protocolo de comunicação entre ambos foram deixados à parte, por fugirem ao escopo desse trabalho, cujo foco principal é a Educação Matemática Inclusiva.

Apresentamos adiante algumas considerações mais detalhadas sobre as questões apresentadas acima e que nortearam a concepção e construção do plotador sensorial, objeto fim desta dissertação de mestrado.

A primeira questão diz respeito à **base de pinos**, isto é, o local onde o sistema plotará o gráfico que o cego tentará perceber utilizando as mãos. Características como o tamanho da base e dos pinos são básicas e determinantes para que a percepção aconteça.

Para a construção da base de pinos, consideramos o parâmetro percepção háptica, porque esse é apontado como importante nas ações exploratórias por diversos pesquisadores (CALVE e MAUERBERG-DECASTRO, 2006; LIRIO, 2006; OCHAÍTA e ESPINOSA, 2004). Assim, priorizamos essa percepção háptica ou tato ativo, no estabelecimento de materiais e medidas.

Para definir qual material usar na construção da base de pinos, buscamos algo que pelo contraste (liso-rugoso, quente-frio, etc.), facilitasse a percepção tátil.

Além dos tipos, as medidas dos materiais também são importantes porque definem limites à percepção tátil, como apontam alguns estudos sobre este assunto realizados por pesquisadores como FRICKE e BAEHRING (1993), FONSECA (1995) e JONES (2006). Tais estudos foram importantes para determinar as medidas dos pinos e dos espaços entre os mesmos.

Optamos por adotar medidas próximas as utilizadas nas células Braille, porque mesmo sem um padrão mundial, como mostrado na Tabela A.5 – Anexo I, aproximam-se bastante das indicações feitas por FRICKE & BAEHRING (1993).

Para corresponder a um ponto do plano cartesiano, o plotador sensorial adota o pino. Tentaremos, nos testes, identificar qual será o melhor material para os pinos.

A princípio imaginávamos que uma matriz de leds (*light emitting diode*), diodo emissor de luz, atendesse às nossas expectativas, já que, atualmente, estes componentes apresentam características que viabilizam seu uso, como: são muito baratos, de tamanho reduzido, os modelos de alta potência produzem uma quantidade boa de calor etc.

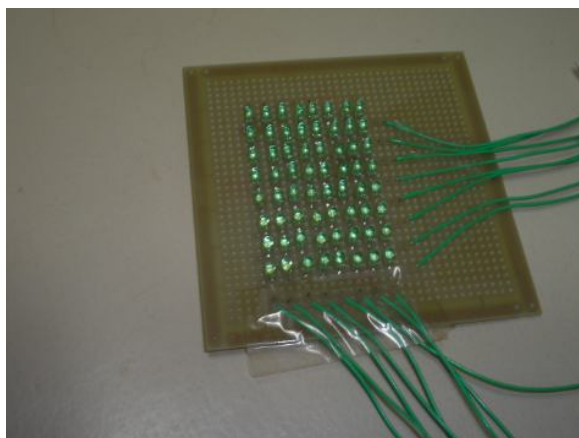


Figura 4.17 - Matriz de leds  
Fonte: Acervo pessoal

Iniciativas, neste sentido, já foram realizadas em outros estudos como as citadas a seguir, em que um circuito elétrico contendo lâmpadas e buzina foi usado num experimento:

A prática foi realizada com a participação de dois alunos cegos, aos quais foi proporcionada toda uma fundamentação teórica sobre o conteúdo de associação de resistores e posteriormente a experimentação com a maquete tátil [...]. Os alunos cegos manusearam o experimento fazendo as alterações para os tipos de ligações [...] percebendo a diferença de associação por meio da sonoridade dos bips. Através da temperatura das lâmpadas, os mesmos desenvolveram outro tipo de percepção para detectar a existência de eletricidade no circuito [...] (MEDEIROS et. al., 2007).

Entretanto nossos testes preliminares, Figura 4.17, identificaram alguns problemas que tornaram o uso de leds inadequado. O principal deles está no controle da emissão de calor, seguido pela característica dissipativa

que transfere o calor de um led para outro mais próximo, provocando uma variação na imagem formada, quando pensada como uma imagem de calor.

Outra solução pensada para a construção da matriz de pinos foi a utilização de pequenas bobinas, com pinos metálicos móveis em seus centros, como mostrada na Figura 4.18.



Figura 4.18 - Matriz de bobinas  
Fonte: Acervo pessoal

No entanto, essa solução se tornou inviável, pois a construção artesanal de bobinas confere as mesmas uma variação muito grande nas características elétricas de cada uma, e o tamanho mínimo necessário era ainda muito grande, fazendo com que os espaços entre bobinas determinassem um sistema de pontos muito distante.

Nossa busca, para encontrar uma base de pinos mais adequada para a construção do plotador sensorial inicial, resultou numa mesa contendo um conjunto de pinos metálicos, justapostos num arranjo matricial que permite ao usuário sentir, tocando com a mão ou a ponta dos dedos, as diferenças de relevo, conforme mostra a Figura 4.19.

Para a base de pinos do plotador as distâncias entre os pinos são de um décimo de polegada, isto é, aproximadamente 2,54 milímetros, tanto na horizontal quanto na vertical.

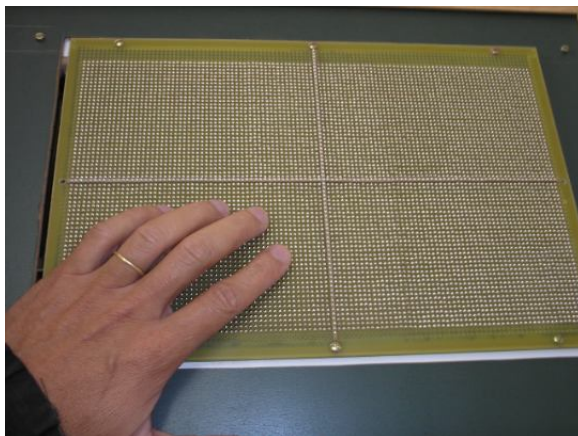


Figura 4.19 - Base de pinos  
Fonte: Acervo pessoal

Destacamos os pinos que indicam os eixos  $x$  e  $y$  que ficam um milímetro e meio, acima do nível dos demais pinos. Esta variação foi adicionada ao plano com a intenção de facilitar a identificação dos eixos e dos quadrantes.

Como resultado de nossas análises preliminares, dois outros recursos foram acrescentados à base de pinos com a intenção de auxiliar o cego ou portador de baixa visão:

1) os botões de contagem. Os quais foram colocados na lateral da base de pinos, a cada cinco pinos de distância, a partir da origem dos eixos, para auxiliar na localização das posições nos eixos  $x$  e  $y$ . A intenção é dotar os botões de fala, isto é, quando acionados devem dizer qual o valor do eixo que representam, mas esta implementação será realizada durante os experimentos.

2) linhas guias verticais. Essas linhas foram colocadas para auxiliar na localização dos botões do eixo  $x$ . Para conseguir este recurso, cada pino da linha foi elevado um milímetro acima do nível dos demais pinos, o que os deixava, ainda, meio milímetro abaixo dos eixos  $x$  e  $y$ .

A base de pinos metálica obtida ao final do ciclo1 é mostrada na Figura 4.20.

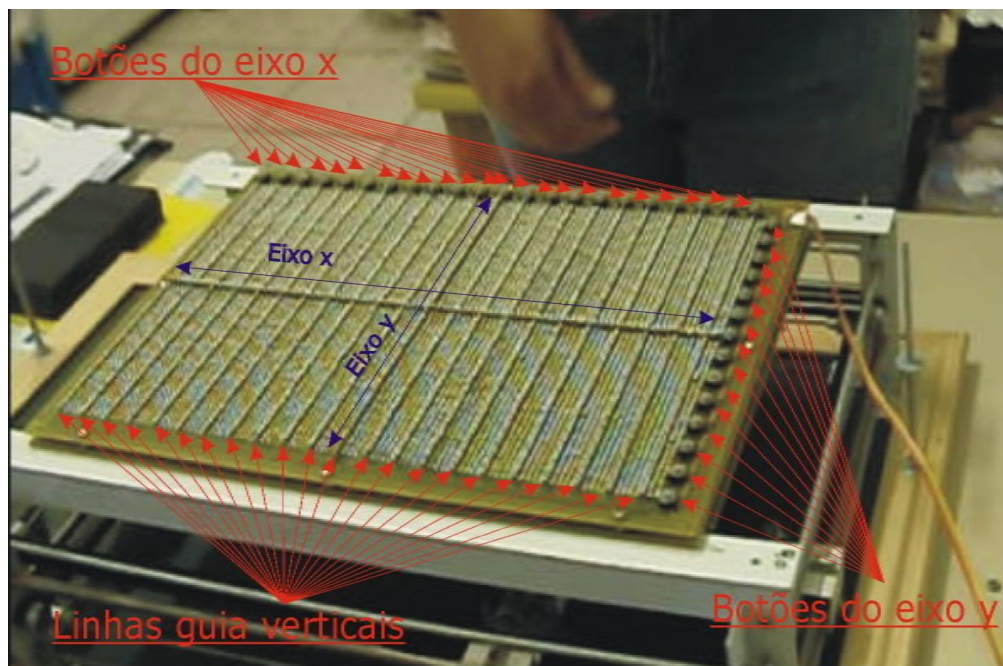


Figura 4.20 - Base de pinos com botões e linhas guia verticais  
 Fonte: Acervo pessoal

A capacidade inicial de plotagem na base de pinos definida para o plotador sensorial foi de 101 pontos no eixo x (abscissas) e 71 pontos no eixo y (ordenadas). Para representar os quatro quadrantes do plano cartesiano, reservamos os espaços destinados aos eixos zero, resultando numa capacidade de representação que vai de -50 até +50 no eixo x e -35 até +35 no eixo y. Porém, a colocação dos botões na base de pinos resultou em nova capacidade de representação que vai de -43 até +50 no eixo x e de -28 até +35 no eixo y, conforme mostrada pela figura 2.18.

Encontrada uma solução inicial para a base de pinos, passamos à questão seguinte que foi definir qual seria o melhor **mecanismo de posicionamento**. Esse mecanismo, conhecido como mesa xy, é responsável por posicionar o martelo na posição de coordenadas (x, y), e quando acionado levanta o pino.

As mesas XY estão presentes em diversos tipos de máquinas-ferramenta e tem a função de posicionar adequadamente a peça [...]. (MARIANO et. al., 2006).

Nos testes de construção da mesa xy descritos a seguir, usamos um motor de passo unipolar, com ângulo de  $1,8^\circ$  que determina 200 passos para uma volta completa.

A velocidade e a precisão de posicionamento do plotador sensorial variam de acordo com o sistema mecânico de movimentação adotado. Na nossa pesquisa testamos três sistemas: fuso e guia, roldana e corda, e correia sincronizada e polia dentada.

A precisão no posicionamento em mesas xy é preocupação constante dos construtores em projetos mecânicos, pois a somatória dos erros individuais das partes que o compõem pode levar a uma imprecisão inaceitável.

Uma boa exatidão de posicionamento somente é possível se a dinâmica da mesa for bem conhecida, bem como, as fontes de erro atuantes, o que sem dúvida fornecerá informações que permitirão um bom desempenho do sistema de controle. Um posicionador de mesa XY é formado por diversos componentes mecânicos como fuso, porca, mancais, guias, entre outros, porém, as características dinâmicas deste conjunto nem sempre podem ser medidas ou fornecidas pelos fabricantes. (MARIANO et. al., 2006).

Nossa escolha inicial para o sistema mecânico de posicionamento do plotador sensorial foi o que utiliza fuso e guia, Figura 4.21.

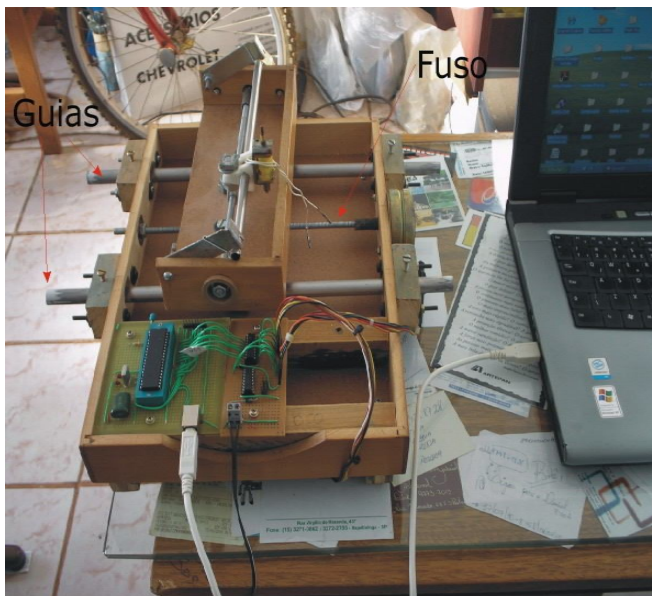


Figura 4.21 - Sistema de posicionamento utilizando fuso e guia  
Fonte: Acervo pessoal

Porém esse sistema mecânico apresentou alguns problemas como: tamanho excessivo e vibrações nos fusos, mesmo em baixa velocidade de operação o que prejudicava o posicionamento e a estabilidade do plotador sensorial.

Uma nova ideia aparece, a de usar um sistema de roldanas e cordas para posicionar a mesa xy, Figura 4.22.

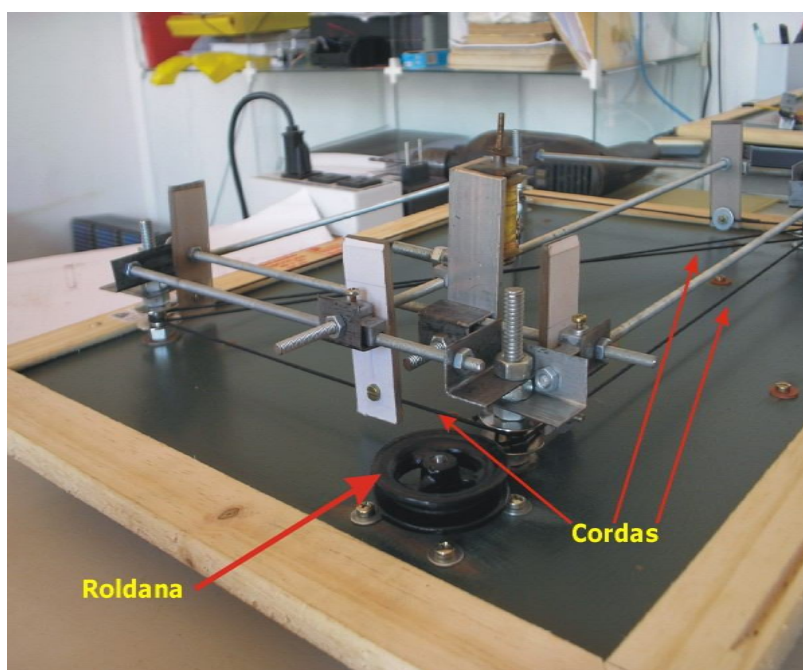


Figura 4.22 - Sistema de posicionamento utilizando roldanas e cordas  
Fonte: Acervo pessoal

Esse sistema proporcionava posicionamentos rápidos, mas, apresentava muitas falhas quanto à precisão, o que o tornava desinteressante, já que nossas necessidades eram milimétricas.

O próximo sistema de posicionamento mecânico testado foi o que utiliza correia sincronizada e polia dentada, Figura 4.23. É bastante usado em impressoras e plotadores e respondeu de forma razoável às necessidades iniciais de precisão e velocidade de posicionamento do plotador sensorial.

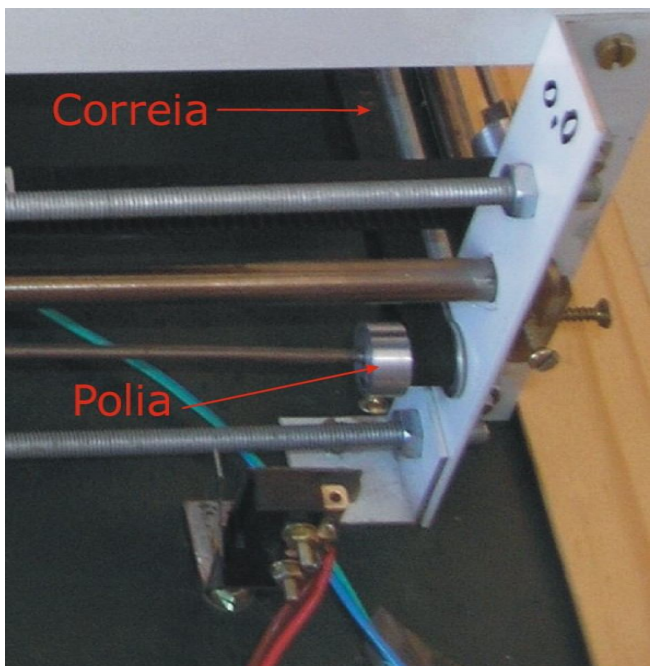


Figura 4.23 - Sistema de posicionamento utilizando correia sincronizada  
Fonte: Acervo pessoal

O uso de correias sincronizadas simplificou os cálculos das relações entre os movimentos circular e retilíneo, pois os fabricantes fornecem estes dados em tabelas.

Na construção desse sistema mecânico de posicionamento, a maior dificuldade encontrada foi furar polias e eixos em escala milimétrica, que exigem equipamentos de precisão e bastante paciência.

Adotamos para o protótipo inicial do plotador sensorial esse sistema de posicionamento.

Outra questão desse ciclo foi definir que **microcontrolador** utilizar e como seriam as interfaces eletrônicas do circuito. Essa escolha está relacionada a fatores como familiaridade, domínio da linguagem de programação e limitação de recursos do microcontrolador.

O microcontrolador utilizado no plotador sensorial apresenta várias características interessantes, além das citadas acima, dentre as quais destacamos quantidade expressiva de portas de entrada/saída,

comunicação USB<sup>9</sup>, boa velocidade de processamento e baixo consumo de energia.

A última questão do ciclo 1 relaciona-se à definição das **interfaces de usuário**. Essas interfaces constituem-se das telas mostradas pelo microcomputador que por serem destinadas a cegos e portadores de baixa visão, têm de ser pensadas de maneira diferente do desenvolvimento “padrão”, que, normalmente, tem o foco voltado para a maioria que é vidente.

A primeira versão do programa não tinha foco no usuário e serviu para testar os comandos básicos do plotador sensorial. Esses testes permitiram monitorar o acionamento das chaves de fim de curso nos eixos x e y, alterar a velocidade e o sentido de rotação dos motores e acionar ou não acionar o martelo.

Esta versão do programa é mostrada na Figura 4.24.

Depois que testamos as comunicações entre o PC e o plotador sensorial, definimos que o programa a ser construído deveria permitir a representação algébrica, tabular e geométrica da função.

Criamos uma interface que contemplasse essas três formas e representamos também, os botões existentes na base de pinos.

---

<sup>9</sup> A tecnologia padrão USB, sigla para *Universal Serial Bus*, permite a ligação de periféricos ao computador de maneira fácil e rápida. Antigamente a instalação de um novo periférico no computador, requeria desmontá-lo para incluir outras partes ou ajustar *jumpers* internos, atividade muitas vezes realizada por técnicos especializados. O padrão USB simplificou bastante este processo, pois adota a filosofia PnP - *Plug and Play*, onde o usuário do novo dispositivo precisa, na maioria das vezes, apenas conectá-lo ao computador para utilizar. Esta tecnologia vem em substituição a outras mais antigas, como a Centronics e RS-232, mais conhecidas como paralela e serial. A tecnologia USB está bastante presente nas impressoras comercializadas atualmente, mas, o exemplo mais conhecido é o *pendrive*, que é um dispositivo de armazenamento de dados.

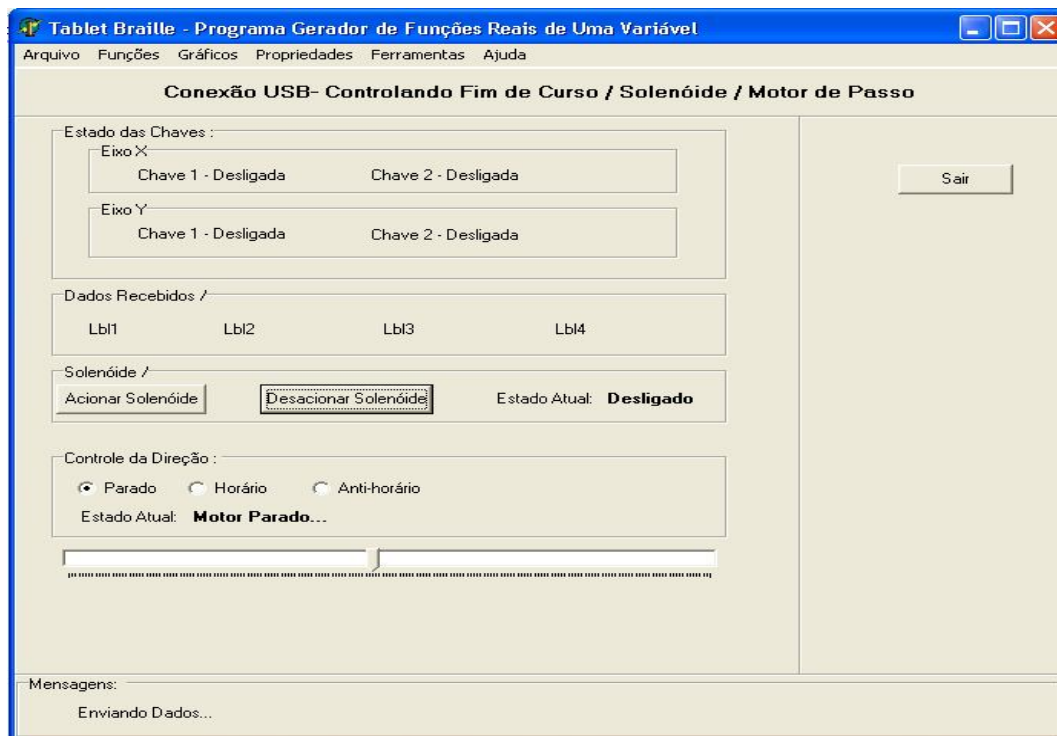


Figura 4.24 - Programa versão 0.01  
Fonte: Acervo pessoal

O usuário do programa deve primeiro escolher numa caixa de opções a função de forma algébrica e, depois, acionar o botão de comando Calcular Tabela para que a tabela seja mostrada, como ilustra a Figura 4.25

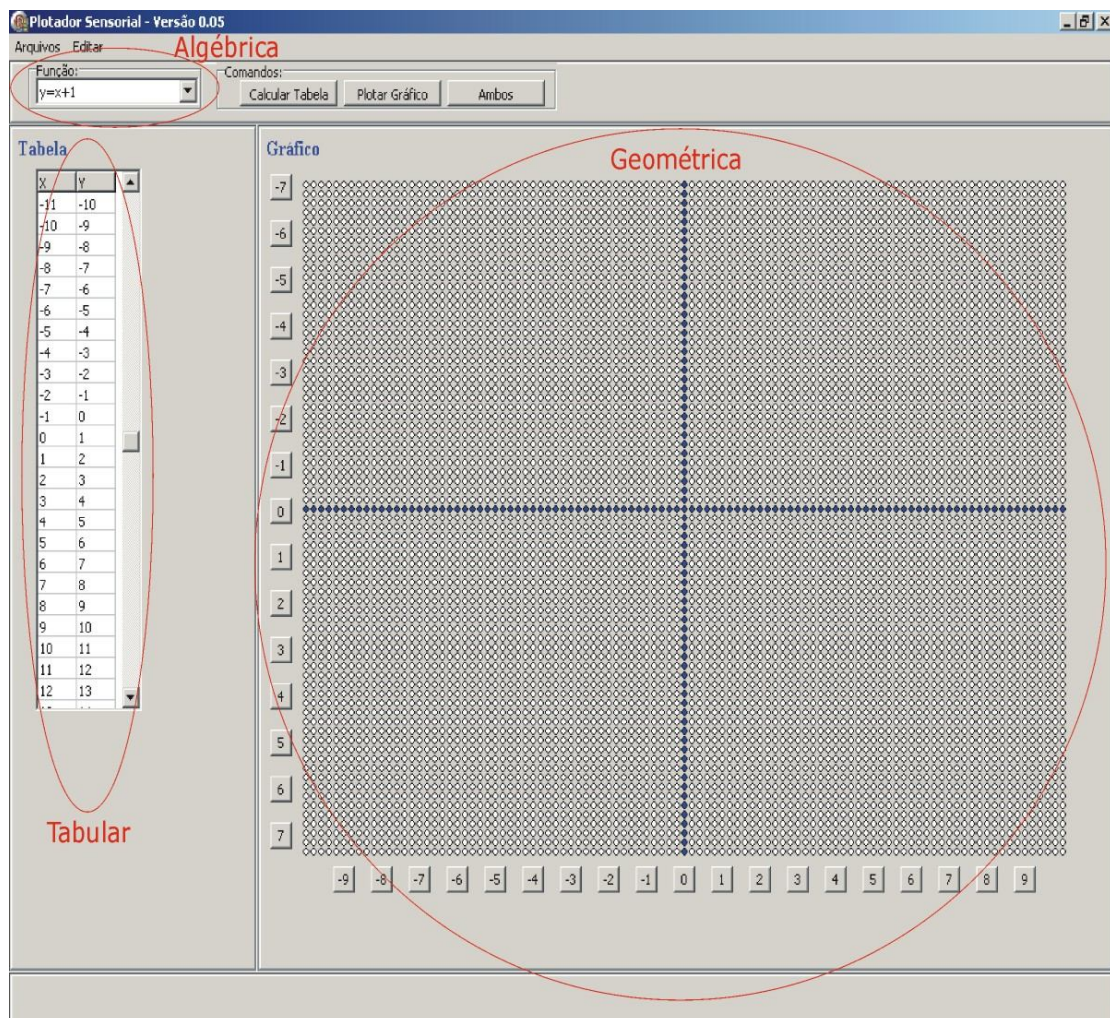


Figura 4.25 - Programa versão 0.05  
 Fonte: Acervo pessoal

Na versão 0.06, recursos de fala foram acrescentados ao programa de maneira que depois que o usuário escolhia a função que desejava plotar, o programa falava essa função. Por exemplo, ao escolher a função  $y=x+1$ , o programa fala: “ípsilon igual a xis mais um”. Além desse recurso, o botão Plotar Gráfico, também foi implementado, passando a exibir o gráfico da tabela calculada, na tela do computador, como ilustra a Figura 4.26.

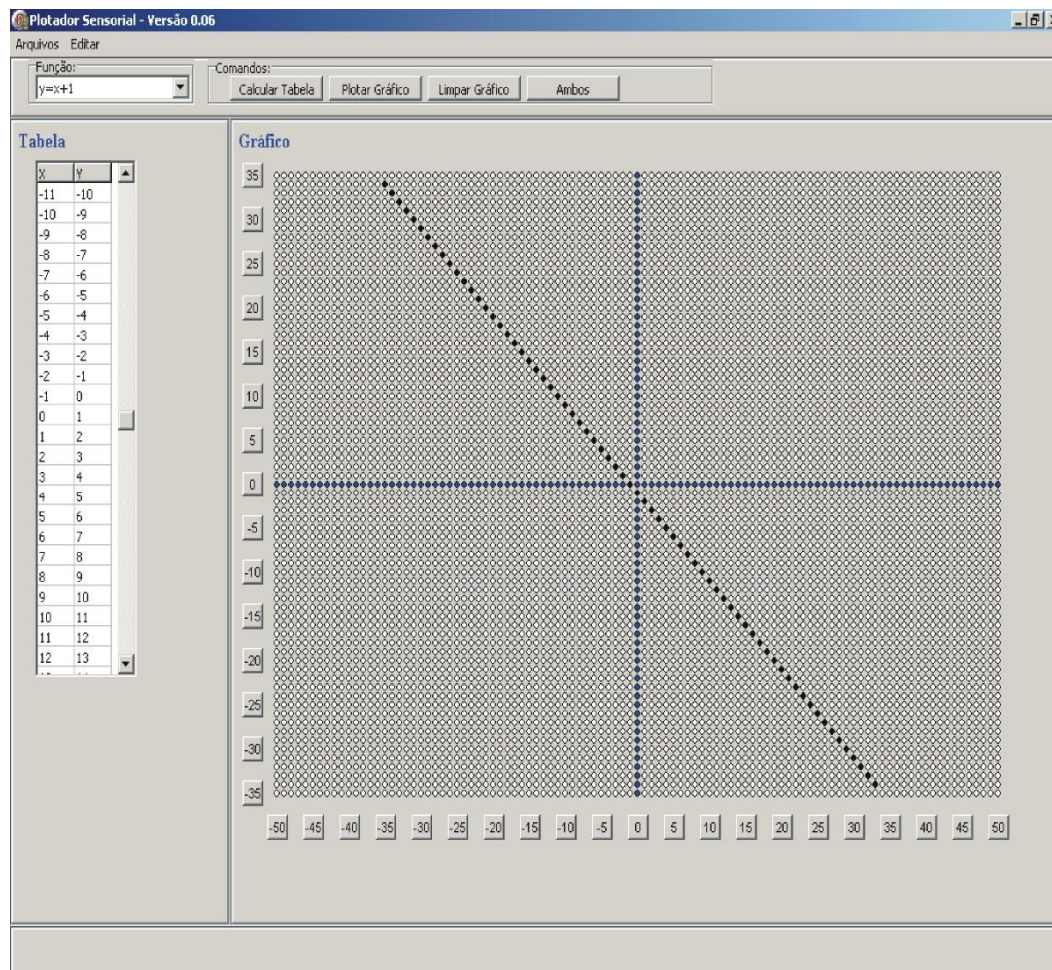


Figura 4.26 - Programa versão 0.06  
Fonte: Acervo pessoal

Vários gráficos podem ser exibidos ao mesmo tempo, bastando escolher a função e clicar no botão Plotar Gráfico.

Outra funcionalidade acrescentada à versão 0.06 foi o recurso de fala nos botões. Nessa versão, os botões dos eixos x e y, ao serem clicados com o mouse, falam o valor que representam. Por exemplo, ao clicar no botão -20 do eixo x, o programa fala: “menos vinte”. Além dessa, o botão Limpar Gráfico foi implementado, também. Ao ser pressionado, ele apaga todos os gráficos plotados na tela.

Na versão 0.07, o botão Plotar no Tablet foi incluído ao menu de comandos. Sua função será plotar, no plotador sensorial, o último gráfico calculado e traçado na tela do PC. Para realizar essa função vários testes

de plotagem foram necessários e, por esse motivo, um novo painel de controles como: velocidade, quantidade e tempo de marteladas é incluído na parte inferior da tela, conforme ilustra a Figura 4.27. Nessa versão também, a fala se estende para todos os botões de comando. Assim, ao ser clicado um botão de comando, o PC fala o comando.

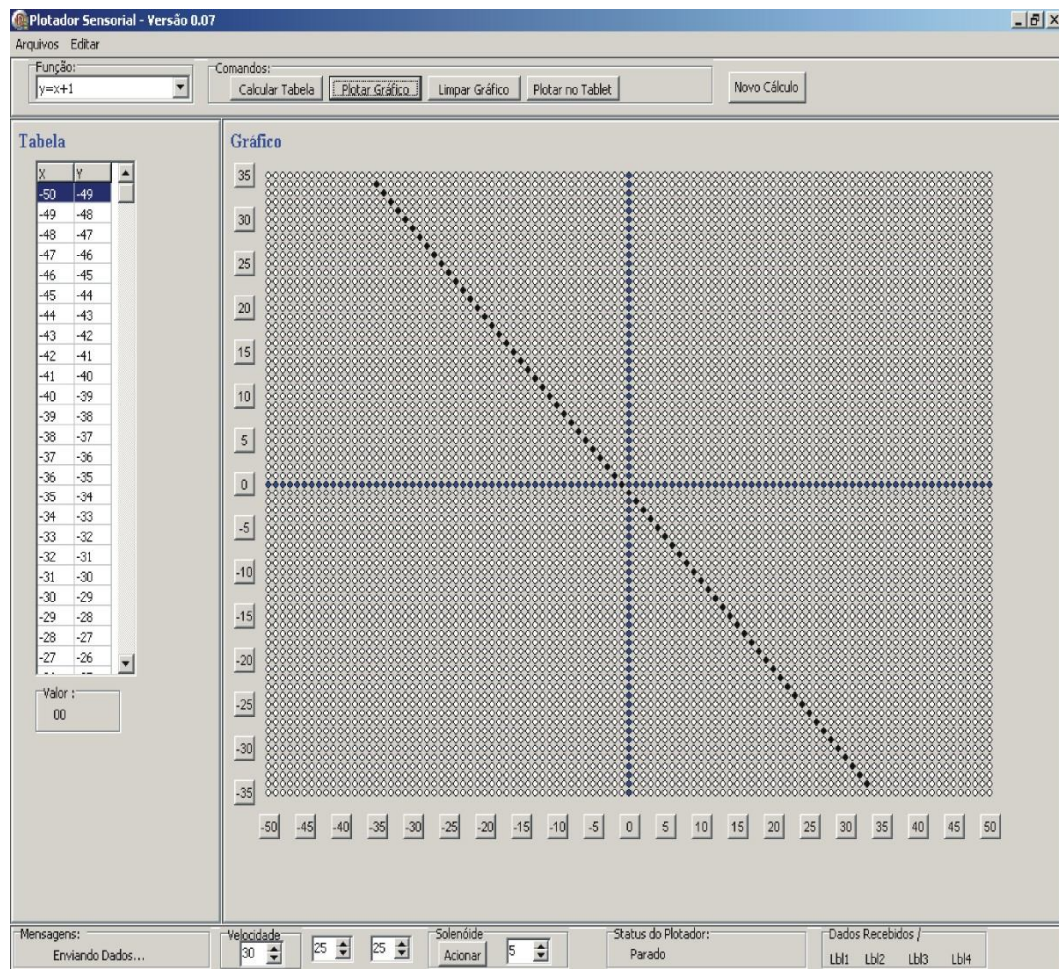


Figura 4.27 - Programa versão 0.07  
Fonte: Acervo pessoal

A implementação da fala no programa do PC vai na direção de torná-lo cada vez mais acessível ao usuário cego ou portador de baixa visão. A hipótese de que esse usuário possa operar o computador e acompanhar a plotagem do gráfico no plotador sensorial reforça nossas ações nesse sentido.

Na versão 0.08, o botão de comando Resetar Plotador é implementado e tem a função de retornar o martelo do plotador sensorial para a posição (0,0). Outra mudança está na forma de definir a função a ser plotada. Nessa versão, ao invés de escolher uma função previamente definida na caixa de opções, o usuário deve informar o valor a (coeficiente angular) e o valor b (coeficiente linear), considerada ser a função  $y=ax+b$ . Assim, o programa do PC substitui os valores na fórmula antes de calcular a tabela. Os botões dos eixos x e y passam agora a representar valores reais com uma casa decimal. Essas mudanças podem ser vistas na Figura 4.28.

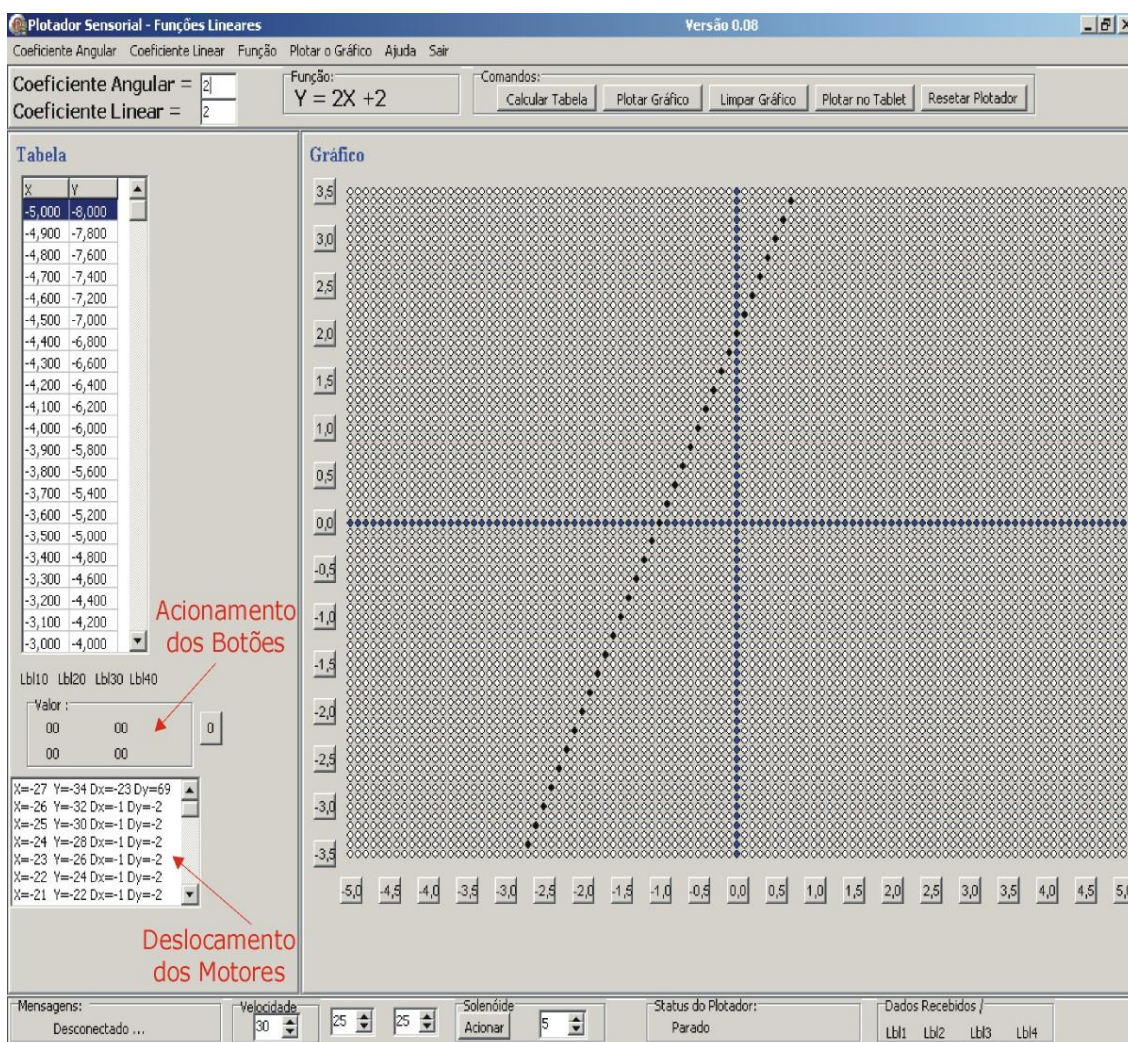


Figura 4.28 - Programa versão 0.08  
Fonte: Acervo pessoal

Nesta versão, os controles de acionamento dos botões e de deslocamento dos motores no plotador sensorial são acrescentados à tela do programa do PC, mas, o controle de acionamento dos botões ainda não têm funcionalidade.

A versão 0.09, Figura 4.29, acrescenta ao programa do PC a funcionalidade do sistema de ajuda. O programa ao ser iniciado apresenta a seguinte mensagem: “Tecele espaço para obter ajuda”.

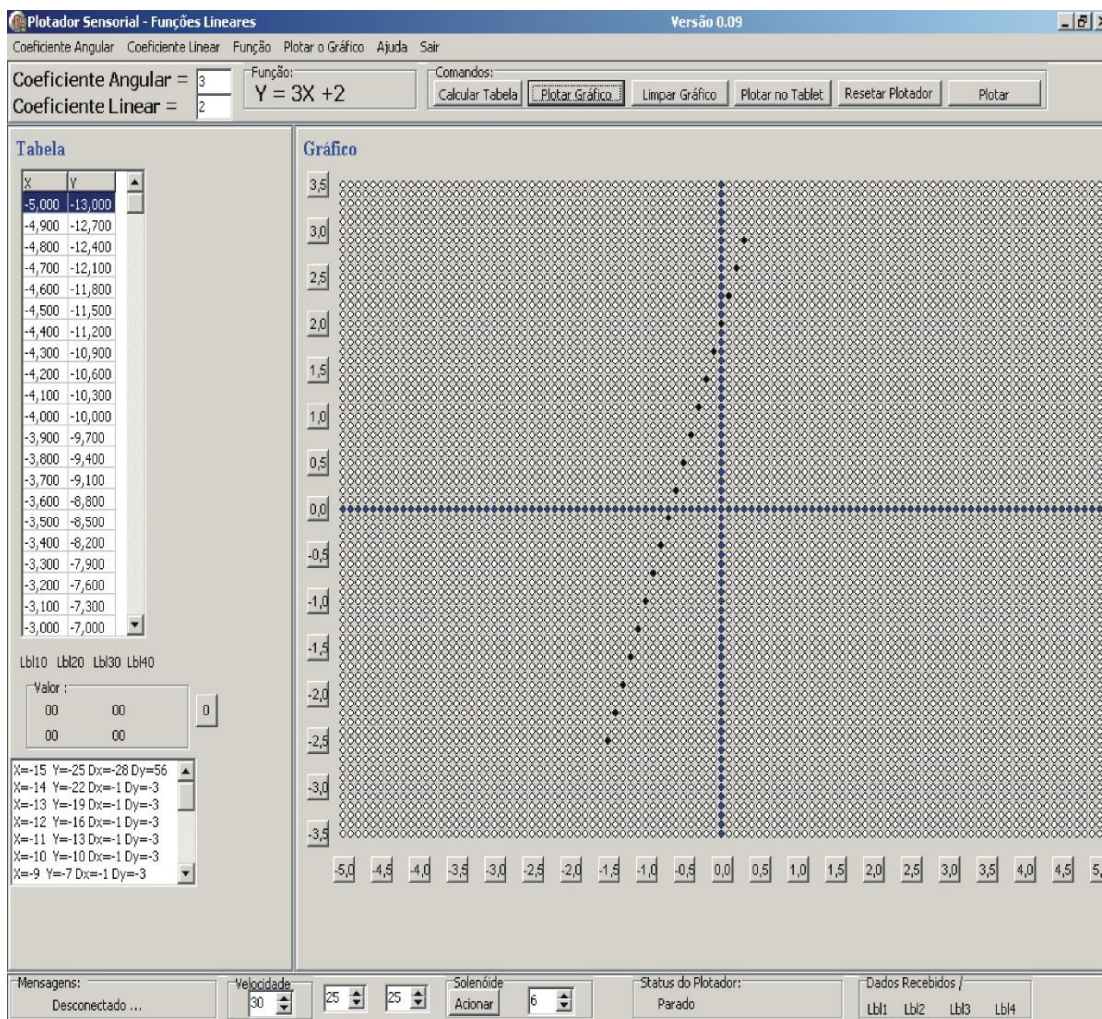


Figura 4.29 - Programa versão 0.09  
Fonte: Acervo pessoal

O usuário ao teclar na barra de espaço, faz o PC falar quais as teclas que estão associadas aos botões de comando, de maneira que ao acionar a

tecla correspondente, o comando é executado. A lista completa está na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3 - Teclas e funções do programa gráfico do plotador sensorial**

<b>Tecla</b>	<b>Função</b>
A	Digitar um valor numérico para o coeficiente angular
S	Digitar um valor numérico para o coeficiente linear
F	Verificar a função atual
P	Plotar no tablet
Esc	Sair do programa
Espaço	Ouvir a mensagem novamente

Quando o usuário digita um valor numérico para o coeficiente angular ou linear, o PC fala o valor digitado.

A versão 0.09 é a final do Ciclo 1 e constitui-se na interface gráfica de usuário inicial dos experimentos do Ciclo 2.

O resultado do Ciclo 1 foi a construção de um protótipo inicial do plotador sensorial com as seguintes características:

- 1) Dispositivo de base com pinos móveis, acionados pelo movimento mecânico de um martelo elétrico, este constituído de uma bobina (solenóide);
- 2) conexão com o computador utilizando a porta USB;
- 3) programa para PC, com recursos de fala e gerador de gráficos de funções polinomiais reais de primeiro grau.

A Figura 4.30 mostra a sequência de passos para a construção de um gráfico de função no plotador sensorial.

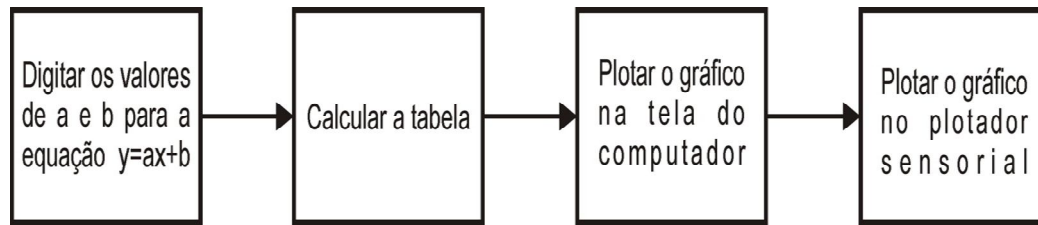


Figura 4.30 - Passos para construção de um gráfico no plotador sensorial

Partimos do pressuposto de que todo o sistema composto pelo PC e o plotador sensorial permita criar situações que possibilite aos sujeitos cegos ou com baixa visão explorar, com o tato, o universo matemático da representação gráfica cartesiana de funções polinomiais reais de primeiro grau.

Nossa pesquisa busca identificar, durante os experimentos, fatores que possam colaborar para a melhoria do plotador sensorial baseado nas fundamentações teóricas e metodológicas adotadas.

## 4.2 Ciclo 2 - Experimentos

Nesta fase realizamos quatro experimentos com o plotador sensorial, e cada um deles apresentou reações diferentes dos sujeitos e algumas características peculiares as quais analisamos a seguir.

No início de cada experimento, explicamos rapidamente algumas características do plotador sensorial, para que na sequência os sujeitos participantes possam expressar seu pensar, suas impressões, opiniões, sugestões e críticas sobre a ferramenta.

Um quadro resumo foi construído ao final de cada experimento indicando possíveis soluções para os problemas observados durante a análise. Essas soluções foram implementadas nos experimentos seguintes.

#### 4.2.1 Experimento 1 – Alice

O experimento 1 teve a participação de Alice e para facilitar o estudo foi dividido em duas atividades. A primeira contempla o uso da ferramenta plotador sensorial com a intenção de identificar estratégias e detalhes que possam revelar caminhos construtivos que contribuam para a viabilidade do seu uso. Nosso foco de observação para essa atividade esteve voltado para as questões físicas (hardware) como tamanho das diversas partes, quantidade de pinos por polegada, diferenças de relevo etc.

A segunda atividade buscou observar as reações de Alice ao participar de um exercício dinâmico de toque no plotador ao mesmo tempo em que uma função matemática é construída.

A atividade 1 foi precedida de uma entrevista inicial em que Alice se apresenta para o pesquisador e fornece algumas informações pessoais as quais julga importante em sua trajetória de vida. Essas informações estão descritas na seção 3.2 – Sujeitos da pesquisa.

Nesta atividade, Alice tem seu primeiro contato físico com a ferramenta e pode explorá-la com as mãos, tentando identificar suas características. A função  $y=2$  (Figura 4.31) foi plotada antes de iniciar o experimento e os pinos correspondentes encontram-se levantados no plotador sensorial.

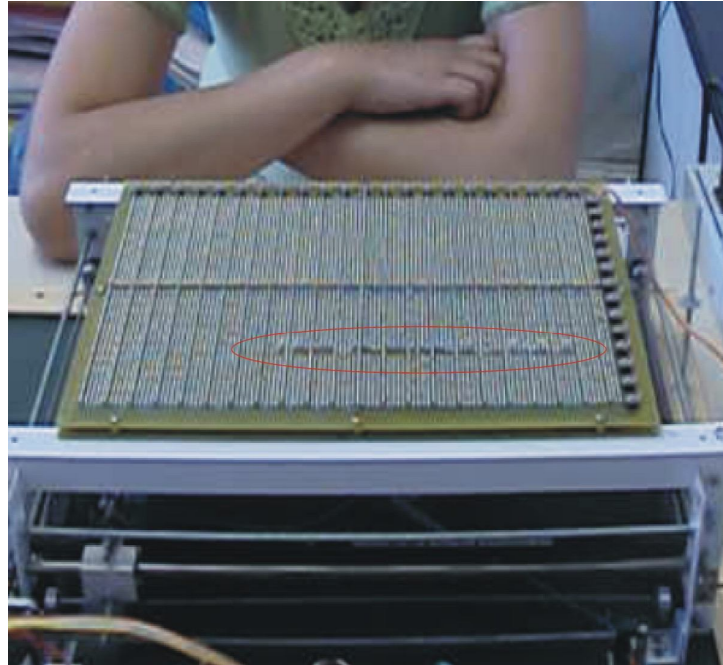


Figura 4.31 - Plotador sensorial com a função  $y=2$  em destaque  
Fonte: Acervo pessoal

Na transcrição abaixo Alice revela suas impressões iniciais.

**Pesquisador:** O que é que você me diz aí, primeiro do contato, gostaria que você se aproximasse e tentasse descobrir aí, o que é que você consegue sentir aí?

**Alice:** Agora, como é que eu vou explicar. Dá pra ver que tem como se fosse uma linha comprida aqui na horizontal (deslizando as mãos sobre os pinos que representam o eixo x no plotador sensorial) e várias na vertical (repetindo os movimentos com as mãos, sobre os pinos verticais do plotador).

Analisando a resposta dada por Alice, ficamos surpresos com sua afirmação, ao usar o termo “linha comprida” para se referir ao eixo das abscissas “x”. Uma preocupação inicial para a construção do plotador estava na incerteza de que uma sequência de pontos pudesse ser entendida como uma linha. Embora a afirmação de Alice não nos garanta poder afirmar de forma generalizada tal relação, para ela, entretanto, esta relação existe.

Outra observação resultante da análise do vídeo aponta para os detalhes dos movimentos iniciais das mãos, quando tentam descobrir a ferramenta – plotador sensorial. Esses movimentos são caracterizados por serem coordenados (mãos direita e esquerda ao mesmo tempo) e levemente circulares no plano sagital.

Continuando suas descrições sobre a ferramenta Alice diz:

**Alice:** Aqui tem como se fosse uns pininhos (Tocando a sequência de pinos que representa a função  $y=2$ ). Eu não sei se pode mexer?

**Pesquisador:** Sim, você pode mexer, mas como eles são bastante sensíveis tem que ser com bastante cuidado.

**Alice:** E se eu empurrar um para baixo aqui? (Indicando com os dedos da mão esquerda os pinos levantados no plotador).

**Pesquisador:** Se você empurrar ele não vai subir mais, só quando for plotado novamente pelo computador.

Os pininhos que Alice se refere aqui são os relativos à função constante  $f(x) = 2$ . Até este ponto do experimento, Alice consegue perceber três detalhes no plotador sensorial: A existência de uma linha horizontal (eixo  $x$ ); várias linhas verticais (eixo  $y$  e suas paralelas) e os pininhos (função plotada).

Tentando seguir com o experimento e obter maiores informações sobre as percepções de Alice, o pesquisador propõe identificar os quatro quadrantes do plano e, para isso, sugere descobrir onde ficaria o ponto  $(0,0)$  resultado do cruzamento dos eixos  $x$  e  $y$ .

Alice não apresentou dificuldades para identificar o eixo  $x$ , pois havia apenas uma linha horizontal e esta correspondia ao eixo das abscissas. No entanto, a identificação do eixo  $y$  – eixo das ordenadas- ficou bastante comprometida, devido ao fato de o plotador sensorial ter vinte e duas linhas verticais, isto é, a cada cinco pinos tínhamos uma linha, tanto à direita quanto à esquerda do eixo  $y$ . Essa dificuldade de localização da origem dos eixos fica bastante evidente no vídeo e a superação acontece somente

quando Alice é informada sobre a existência de um parafuso na base de pinos que está alinhado com o eixo y. Convém registrar aqui que a colocação deste parafuso nesta posição aconteceu por fatores puramente estéticos, isto é, foram colocados ali porque dessa maneira ficavam distribuídos simetricamente. Eles servem para fixar a base de pinos à estrutura que contém o martelo.

Usando o parafuso como referência para identificar o eixo x ou y, facilitou a utilização do plotador sensorial por Alice. A Figura 4.32 (A) mostra o posicionamento dos parafusos nas extremidades de cada eixo e o momento da localização do parafuso alinhado ao eixo y por Alice, Figura 4.32 (B).

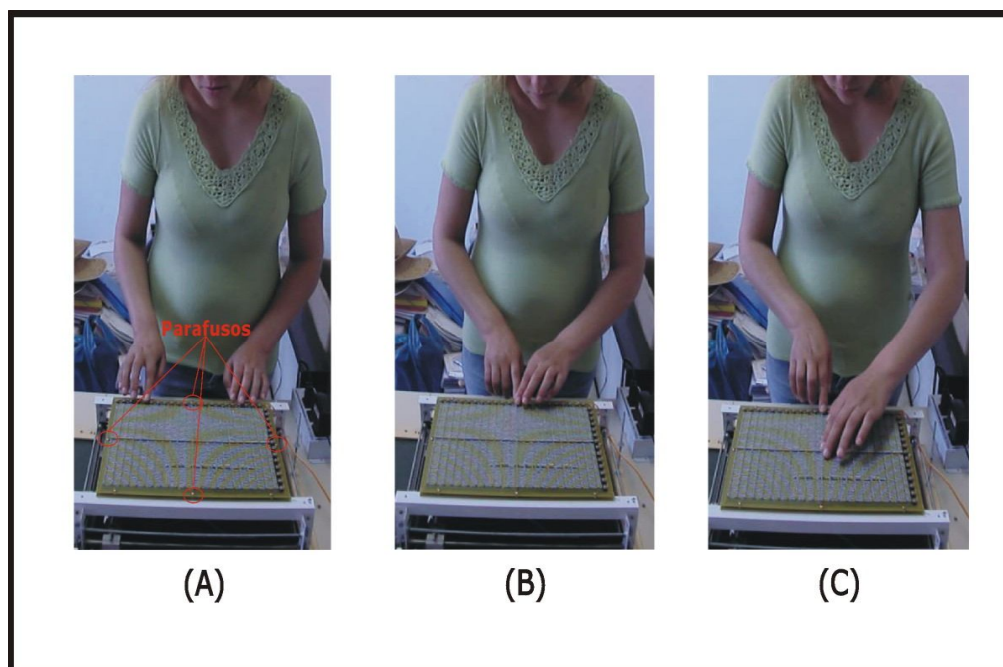


Figura 4.32 - Localizando o eixo y  
Fonte: Acervo pessoal

A Figura 4.32 (C) mostra o momento em que Alice localiza com a mão esquerda a origem dos eixos do plano. Notamos que o dedo indicador da mão direita se mantém fixo ao botão de referência.

Em seguida, o pesquisador propõe à Alice localizar os botões da base de pinos. Para isso, disse-lhe que o botão que ela mantinha fixo sob o dedo

indicador da mão direita representava o zero – botão zero – e que os botões à direita podiam ser contados de meio em meio, isto é, meio, um, um e meio, dois e assim por diante. Após esta breve explicação, Alice faz um comentário:

**Alice:** E daí pra cá (referindo-se ao lado negativo) é a mesma coisa?

**Pesquisador:** É a mesma coisa, só que negativo.

**Alice:** Humm, pelo menos uma coisa eu aprendi na escola.

Este comentário indica que noções matemáticas relativas à reta ordenada estavam de alguma maneira sendo lembradas e é nesse aspecto que o experimento com o plotador pode servir como mediador.

Na sequência, Alice tenta localizar os botões do eixo  $y$  que estavam no lado esquerdo do plotador. Para isso, ela partiu da origem dos eixos  $(0,0)$ , sendo que, desta vez, afirma que os parafusos de referência ajudam bastante essa localização. Depois de localizado os botões, Alice inicia a contagem sozinha e adota o mesmo critério do eixo  $x$ , para cima positivo e para baixo negativo.

Ainda como parte desta atividade, o pesquisador propõe à Alice que descobrisse qual o valor do eixo  $y$  que corresponderia ao conjunto de pininhos que ela identificou desde o início do experimento.

A estratégia utilizada por Alice para encontrar o valor do  $y$  foi: Primeiro deslizou sua mão direita sobre a reta plotada até encontrar o botão do  $y$  que está à esquerda na base de pinos, mantendo esta marca com o dedo indicador. Depois utilizou o dedo indicador da mão esquerda para localizar o botão de referência do zero do  $y$ . A partir daí, iniciou uma contagem de meio em meio, até encontrar a posição que marcava com a mão direita. A Figura 4.33 mostra detalhes desta localização.

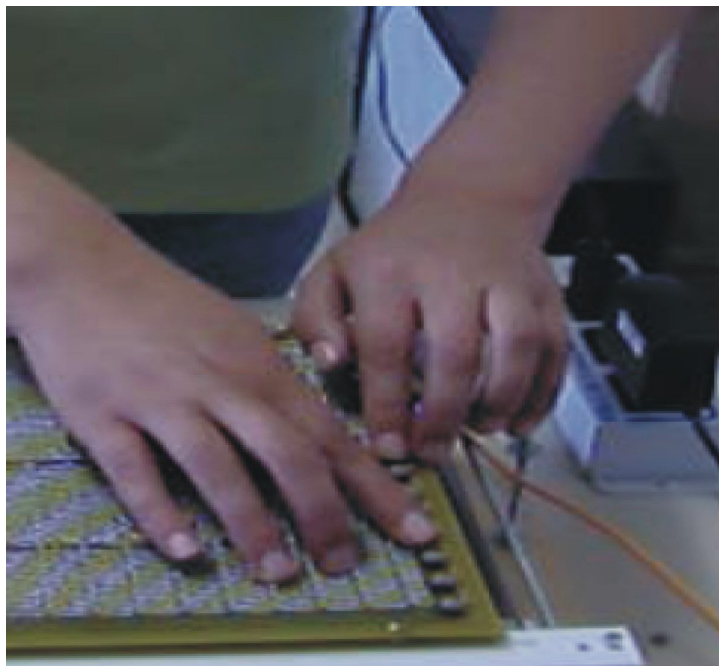


Figura 4.33 - Descobrimo o valor de  $y$   
 Fonte: Acervo pessoal

Na sequência o pesquisador propõe à Alice que identificasse o valor de  $x$  mais à esquerda, já que a reta de pininhos começava um pouco distante dos botões do eixo  $y$ .

**Pesquisador:** Será que você conseguiria descendo a mão identificar lá embaixo?

**Alice:** Identificar o quê aqui embaixo?

**Pesquisador:** Embaixo tem uns botões também, né? Então se você consegue ver que botão que é esse?

**Alice:** Esse aqui?

**Pesquisador:** É.

Para executar esta tarefa, Alice adotou a mesma estratégia usada para encontrar o valor de  $y$ , isto é, partindo da ponta esquerda da reta plotada - Figura 4.34 (A) - deslizou o dedo indicador da mão esquerda para a base inferior - Figura 4.34 (B) - onde se encontravam os botões do eixo  $x$ . Depois trocou a marcação do dedo indicador da mão direita pelo dedo indicador da mão esquerda - Figura 4.34 (C) -, liberando a mão direita para a contagem. Posicionou o dedo indicador da mão direita no zero do  $x$  -

Figura 4.34 (D) - usando o parafuso como referência e iniciou a contagem de meio em meio para a esquerda - Figura 4.34 (E) - até reencontrar o dedo indicador da mão esquerda - Figura 4.34 (F) -.

**Alice:** Seria três e meio negativo.

**Pesquisador:** Isso.

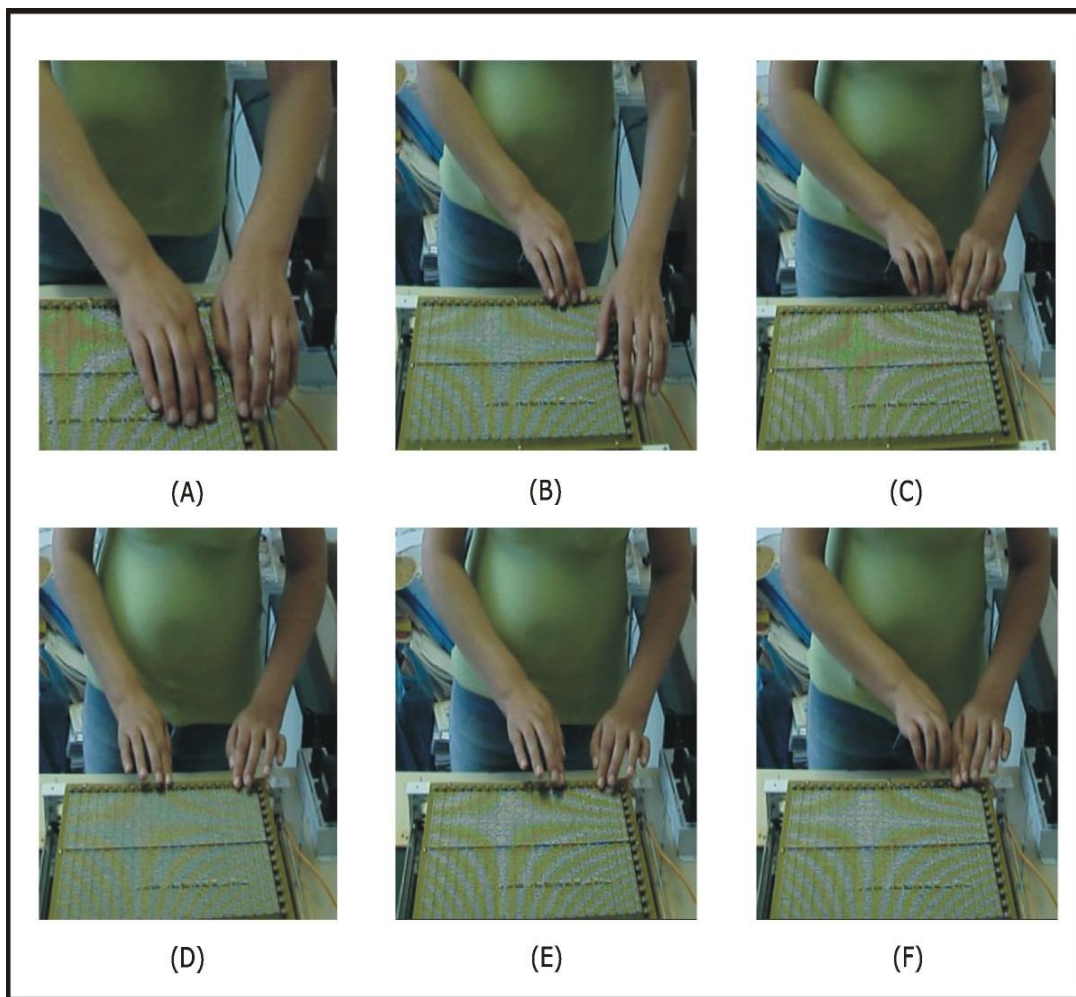


Figura 4.34 - Descobrimo o valor de  $x$   
Fonte: Acervo pessoal

Na atividade 2, Alice participa de um exercício interativo. A intenção agora é plotar a função  $y = 2$  no plotador sensorial e observar as reações de Alice quando toca o plotador ao mesmo tempo em que a função é plotada.

Nossas análises visam identificar os elementos presentes em atividades deste tipo que estejam relacionados à percepção tátil, sonora e cinestésica.

A primeira ação de Alice foi “apagar” o plotador, limpando o plano cartesiano, antes que a nova plotagem,  $y = 2$ , fosse realizada. Para isso pressiona com os dedos da mão os pinos da reta plotada, conforme mostra a Figura 4.35.

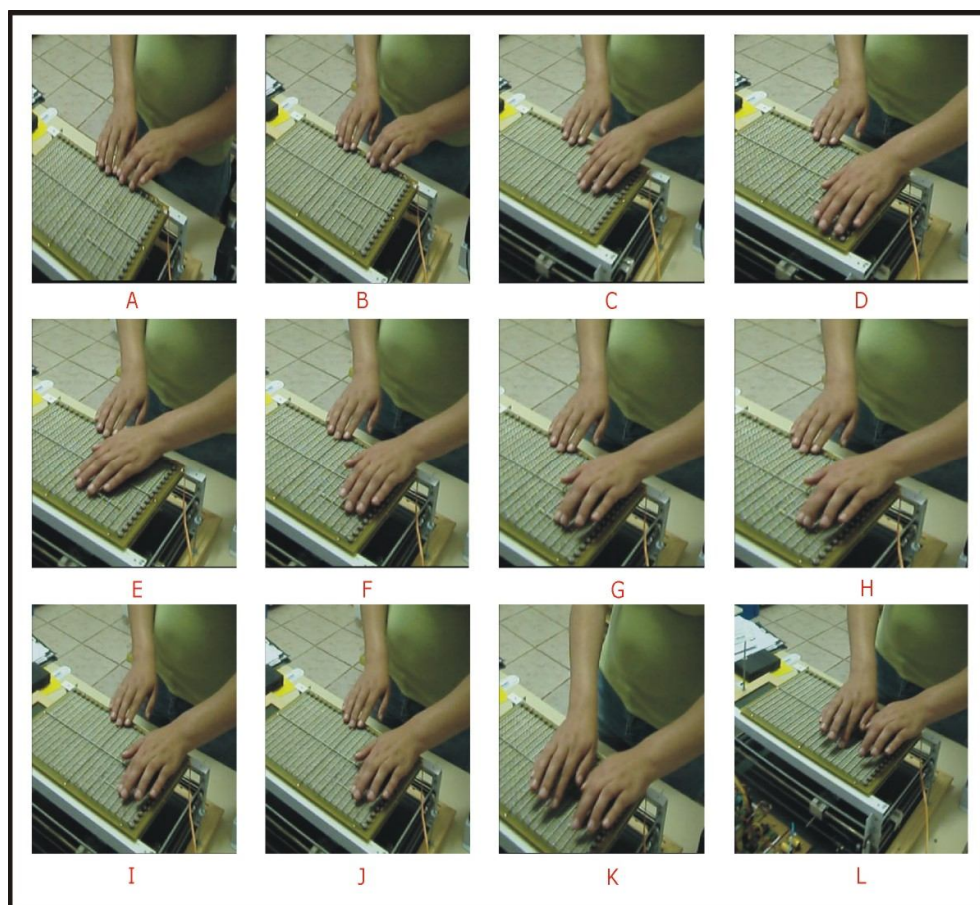


Figura 4.35 - Apagando o plotador sensorial  
Fonte: Acervo pessoal

A sequência de Figuras 4.35 A até 4.35 J mostram que Alice mantém a mão direita sobre os botões do eixo x na base do plotador sensorial, o que pode indicar que suas movimentações sobre o plano acontecem usando o referencial posicional das mãos para calcular ou estimar onde está a reta plotada, visto que não é o seu primeiro contato com ela (a reta). Depois que

a posição e a extensão da reta no plano são identificadas, Alice passa a utilizar as duas mãos no apagamento, Figuras 4.35 K e 4.35 L.

Na sequência, o pesquisador inicia o programa plotador, digitando a função  $y=2$  no computador. A Figura 4.36 mostra a imagem da reta produzida na tela do computador.

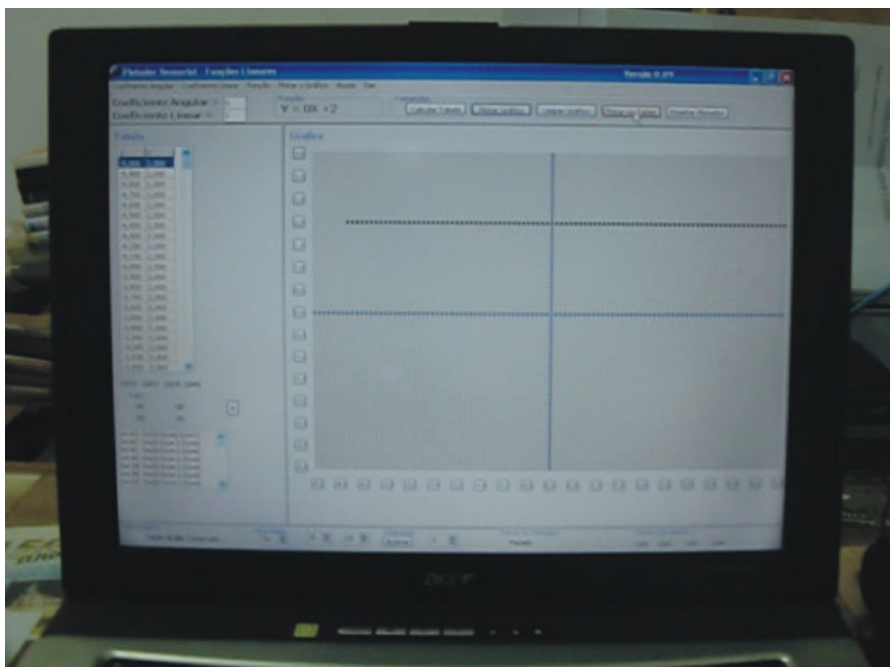


Figura 4.36 - Função  $y=2$  na tela do computador  
Fonte: Acervo pessoal

Antes de plotar o gráfico da reta no plotador sensorial, o pesquisador pressiona a tecla “F” para que o computador fale a função definida para a plotagem. Nesta atividade pudemos perceber que o computador ao falar a função  $y=2$ , diz  $y=0x+2$ .

**Computador:** A função linear definida atualmente é ípsilon igual a zero xis mais dois.

Esta fala do computador revela a necessidade de corrigir o módulo de fala do programa, quando a função é uma constante.

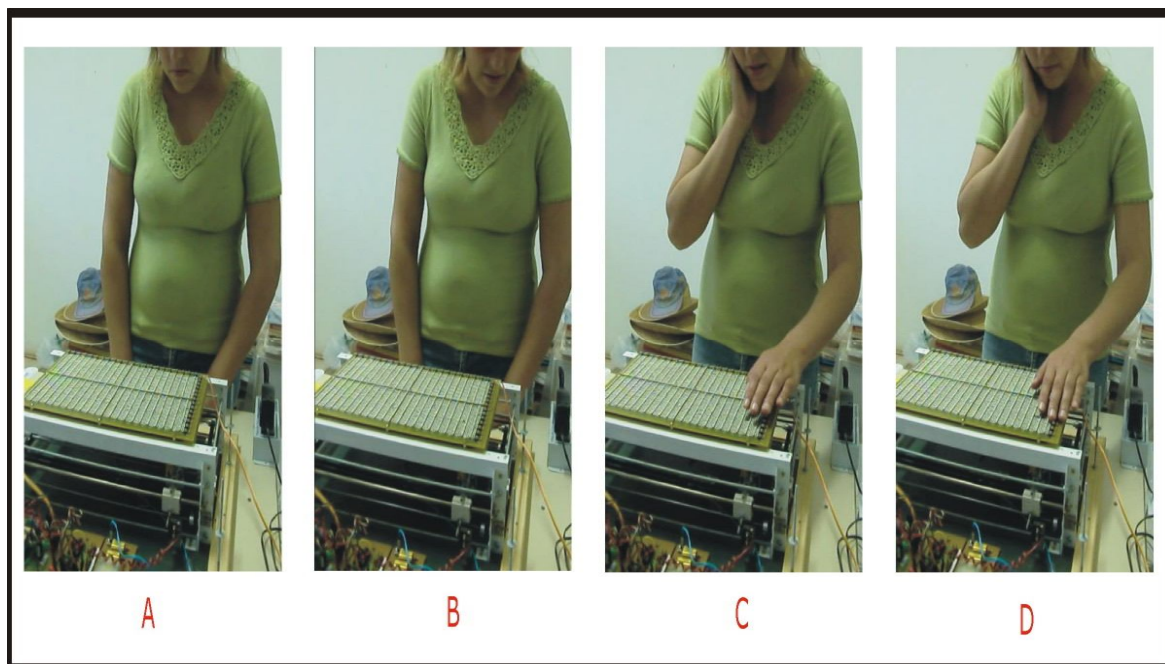


Figura 4.37 - Início da plotagem da função  $y=2$  no plotador sensorial  
 Fonte: Acervo pessoal

A Figura 4.37 mostra a reação de Alice, assim que a função constante  $y=2$  começa a ser plotada no plotador sensorial. O movimento da cabeça de Alice, quando observamos as Figuras 4.37-A e 4.37-B, indica que o som produzido pelo plotador durante a plotagem contribui de alguma forma para a ecolocalização da função. As Figuras 4.37-C e 4.37-D mostram o movimento inicial da mão esquerda de Alice ao buscar o local em que a plotagem iniciou.

A Figura 4.38 mostra a reação de Alice ao tocar o pino que está sendo martelado pelo plotador sensorial. As Figuras 4.38-A, 4.38-B e 4.38-C mostram o momento em que Alice se assusta e sorri.

**Pesquisador:** Você pode acompanhar com a mão devagarzinho aonde vai surgindo.

**Alice:** (Ao encontrar o pino que está sendo plotado, sorri) Eu não quero mais não, faz cócegas.

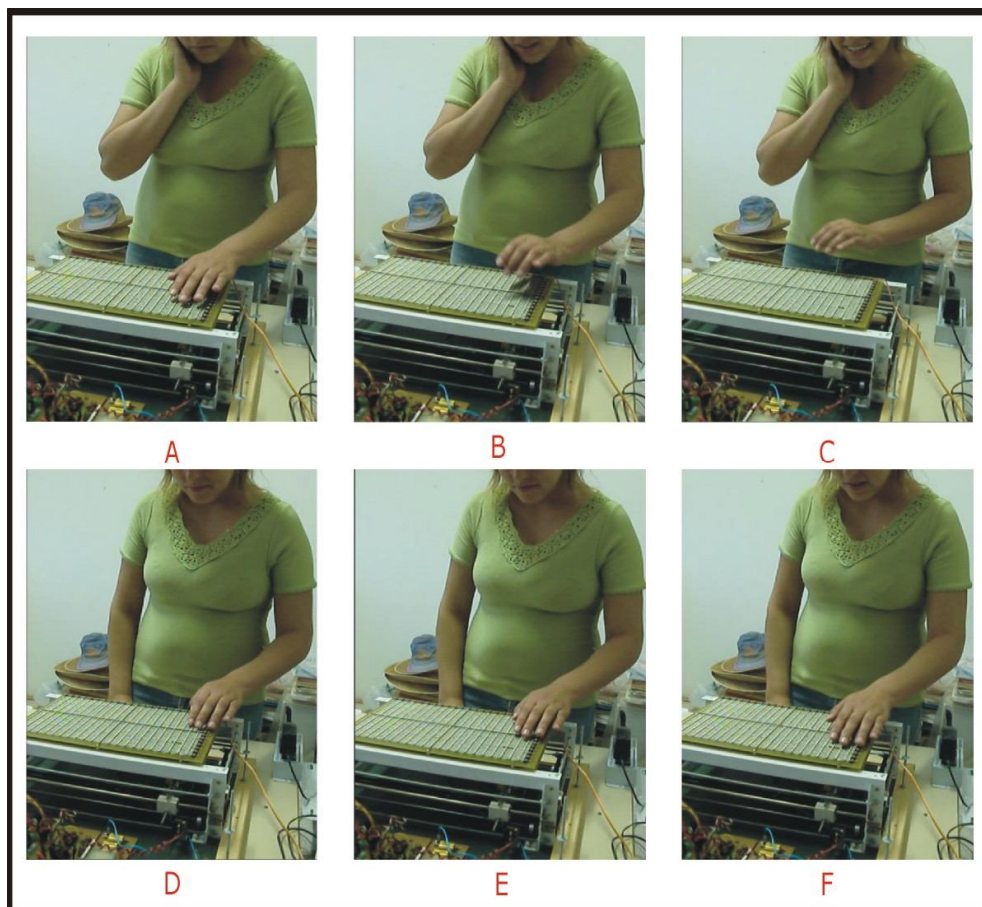


Figura 4.38 - Contato com o plotador sensorial durante a plotagem  
 Fonte: Acervo pessoal

As Figuras 4.38-D, 4.38-E e 4.38-F mostram o momento em que Alice recoloca a mão sobre o plotador para acompanhar a plotagem novamente. Esse susto inicial estará presente nos próximos experimentos como relatado nas páginas seguintes, mas consideramos aqui a possibilidade de reduzi-lo. Depois de superado o susto inicial, o uso do plotador parece ser tranquilo, como sugere a fala transcrita abaixo:

**Alice:** Hum que legal. É bom que vai sentindo no lado que vai subir depois.

**Pesquisador:** Ta construindo, né?

**Alice:** Aham, (confirma). Muito legal.

**Pesquisador:** Só vou pedir pra você fazer de novo a identificação. Pra saber se é no zero, se é no um ou se é no dois. Qual é o lugar que ele está plotando?

Para responder essa questão, observamos que Alice utiliza apenas a mão esquerda e sua estratégia é identificar o parafuso alinhado ao eixo x que indica a posição zero do eixo y e, a partir daí contar, até dois, pois já havia escutado que a função plotada era  $y=2$ . Essa operação é repetida duas vezes. Depois de encontrar o botão correspondente à posição 2 do eixo y, Alice desliza suavemente o dedo médio da mão esquerda para a direita, até atingir a extremidade da reta que está sendo plotada. Nesse momento responde:

**Alice:** Ta no dois mesmo.

**Pesquisador:** Oi.

**Alice:** Ta no dois mesmo.

**Pesquisador:** No dois mesmo. Ah, então está certo.

Perguntamos à Alice qual a sua impressão sobre o uso da ferramenta plotador sensorial?

**Alice:** Muito legal. É bom que é assim, cada barulhinho, a hora que está levantando este negocinho aqui (apontando com o dedo o pino do plotador), daí dá pra perceber que está levantando, a hora que terminar de coisar (plotar) também.

Essas observações de Alice permitem avaliar o uso do plotador sensorial nas suas características hápticas. Quando ela afirma que “dá pra perceber que está levantando” e “é bom que vai sentindo no lado que vai subir depois”, dá-nos a possibilidade, também, de considerar a hipótese de que o plotador sensorial, quiçá, permita ao deficiente visual imaginar a construção da reta de maneira mais dinâmica, isto é, acompanhado a plotagem. Além disso, a forma sequencial de levantar os pinos, talvez permita trabalhar os conceitos relacionados à direção e sentido.

O Quadro 4.3 mostra, de forma resumida, os erros de funcionamento, dificuldades de uso e outras características observadas na análise do experimento 1 e apresenta a proposta de solução pensada. A última coluna do quadro indica se a solução proposta foi implementada no plotador sensorial antes de iniciar o próximo experimento.

Experimento	Observado na Análise	Solução proposta		Solução Implementada
		Alteração de <i>Hardware</i>	Alteração de <i>Software</i>	
1	- Dificuldade de identificar o eixo y (eixo das ordenadas)	Incluir linhas guia horizontais.		Não
1	- Fala do computador diz: ípsilon igual a zero xis mais dois, enquanto que o melhor seria dizer: ípsilon igual a dois.		Modificar o módulo de fala para as funções constantes.	Não
1	- Susto no contato inicial		Diminuir a quantidade de marteladas.	Sim
1	- Falta da tecla de atalho para executar o procedimento "Calcular tabela"		Alterar o programa para calcular a tabela automaticamente quando o valor de a ou b for alterado.	Não
1	- Botões dos eixos x e y não falam		Alterar o módulo de leitura analógica do Microcontrolador e alterar o módulo de leitura de botão do PC.	Não

Quadro 4.3 - Resumo das observações e propostas de solução após o experimento 1

A alteração feita no programa PC do plotador sensorial foi reduzir o número de marteladas por pino de 30 para 20. Nossa hipótese é que reduzir o número de marteladas e, conseqüentemente, o tempo de plotagem possa minimizar o susto inicial.

## 4.2.2 Experimento 2 – Bernardo e Carlos

O experimento 2 teve a participação de Bernardo e Carlos, ambos videntes, mas, de olhos vendados. As duas atividades desenvolvidas no experimento, contaram com a observação de outras três pesquisadoras e uma doutoranda em Educação Matemática. Na primeira atividade, Bernardo utiliza a ferramenta plotador sensorial, enquanto que Carlos, sentado ao seu lado, participa como ouvinte. Na segunda, Carlos usa o plotador sensorial e Bernardo, sem venda nos olhos, observa e faz algumas intervenções durante o experimento. Esse formato de atividade, contando com dois sujeitos, Bernardo e Carlos, tem o objetivo de promover a interação entre eles.

Bernardo, no contato inicial com o plotador sensorial, tateia a base de pinos com movimentos coordenados de mão, semelhantes aos feitos por Alice, no experimento 1. Esses movimentos exploram toda a base do plotador sensorial, que mede 53 cm por 43 cm, porém, a base de pinos ocupa, desta a área, de 30 cm por 20 cm. Informamos a Bernardo que a nossa expectativa é tentar simular na base de pinos o plano cartesiano.

O primeiro exercício proposto a Bernardo é que ele tente identificar os eixos  $x$  e  $y$  que dividem o plano em quatro partes chamadas de quadrantes.

**Pesquisador:** É o seguinte: Na tua frente você tem um plano, a gente está simulando um plano cartesiano, e você pode ver que são vários pontinhos, mas que existem algumas linhas (enquanto falo, Bernardo balança a cabeça num movimento de confirmação ao que ouvia). Tem uns pinos que estão mais alto e que vão dividir este plano todo em quatro quadrantes. Então o primeiro exercício é você identificar onde está o eixo  $y$  que está bem no meio desta placa e o eixo  $x$ , que também está bem no meio desta placa, na horizontal.

Durante a fala do pesquisador, Bernardo inicia os movimentos das mãos para tentar identificar as duas linhas ortogonais que dividem o plano.

A Figura 4.39 mostra uma sequência de imagens que revela a estratégia usada por Bernardo, para localizar o eixo y e depois o eixo x.

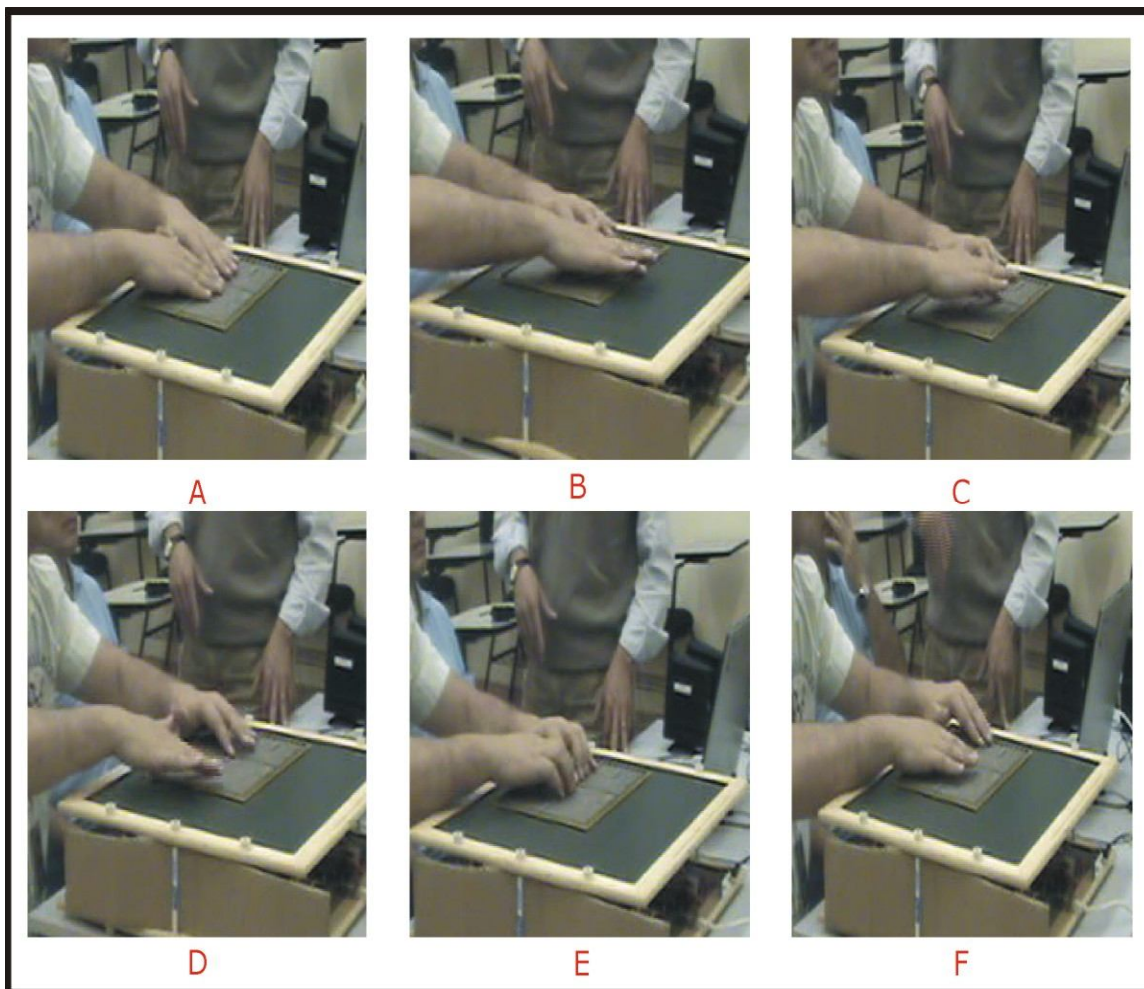


Figura 4.39 - Movimento das mãos para identificar os eixos x e y  
Fonte: Acervo pessoal

Primeiro Bernardo localiza a origem dos eixos – posição (0,0) – Figura 4.39-A. Na sequência, Figura 4.39-B, desliza o dedo indicador da mão direita para frente, e diz: “aqui o ípsilon”. Retorna este dedo à origem dos eixos novamente, Figura 4.39-C. Desliza o mesmo dedo, para a direita, e diz: “aqui o xis”. Retorna o dedo à origem dos eixos, Figura 4.39-E. E desliza o dedo indicador, da mão esquerda, para a esquerda do plotador Figura 4.39-F.

Na sequência do experimento, o pesquisador inicia o programa do PC que fala a mensagem: “Tecla espaço para obter ajuda. Digite um valor numérico para o coeficiente linear”. Depois de ouvirmos a mensagem, uma das pesquisadoras observadora fez o seguinte comentário:

**Pesquisadora:** Eu acho que não deveria falar coeficiente linear.

Essa observação de que o plotador sensorial não deveria falar “coeficiente angular ou linear” está fundamentada no pensamento de que dizendo “a e b”, respectivamente, focamos a princípio na construção do gráfico e não em conceitos.

O pesquisador prepara a função constante  $y=2$ , digitando no PC o valor 2 para o coeficiente linear e zero para o coeficiente angular.

Ao realizar estas operações o pesquisador percebeu que a rotina a qual calcula os valores da tabela e servem de base para a construção do gráfico na tela do computador podia ser melhorada. Para isto, o programa deveria recalcular a tabela automaticamente toda vez que o valor dos coeficientes angular ou linear for alterado.

Em seguida, pressiona algumas teclas para plotar o gráfico no plotador sensorial.

**Pesquisador:** (Pressiona a Tecla F).

**Plotador:** A função linear definida atualmente é ípsilon igual a zero xis mais dois.

**Bernardo:** Zero xis mais dois?

**Pesquisador:** É.

**Bernardo:** É uma função constante.

**Pesquisador:** Isso. A gente agora vai plotar e você vai tentar identificar o gráfico (Clica com o mouse no botão Calcular Tabela).

**Plotador:** Calcular tabela.

**Pesquisador:** (Clica com o mouse no botão Plotar Gráfico).

**Plotador:** Plotar gráfico.

**Pesquisador:** Plotou o gráfico aqui no computador. Vamos plotar aí no *tablet* (Clica com o mouse no botão Plotar no *Tablet*).

**Plotador:** Plotar no *tablet*. Resetando o plotador.

O trecho transcrito acima indica a necessidade de solicitar quatro comandos ao plotador sensorial para plotar o gráfico: (Pressiona a tecla F, Clica com o mouse no botão Calcular Tabela, Clica com o mouse no botão Plotar Gráfico, Clica com o mouse no botão Plotar no *Tablet*). A análise desta sequência de comandos revelou que a operação Calcular Tabela poderia tornar-se automática se executada sempre que os valores dos coeficientes angular ou linear fosse alterado.

Outro ponto que destacamos do trecho acima é a indagação de Bernardo: “Zero xis mais dois?”. Mesmo não estando errado, pensamos que simplificar a equação contribua para o entendimento da função. Para isso, uma modificação no programa PC, que altere a fala da função para, por exemplo, “ípsilon igual a dois” melhoraria o plotador. Esta observação já havia sido apontada no experimento 1 pelo pesquisador.

A Figura 4.40, mostra o recuo das mãos de Bernardo do plotador sensorial quando os motores são acionados pelo programa PC para plotar o gráfico da função  $y=2$ . O experimento atual tem um número menor de marteladas por pino em relação ao experimento anterior, mas, pensamos que seja necessário reduzir ainda mais as batidas para atenuar o susto inicial.

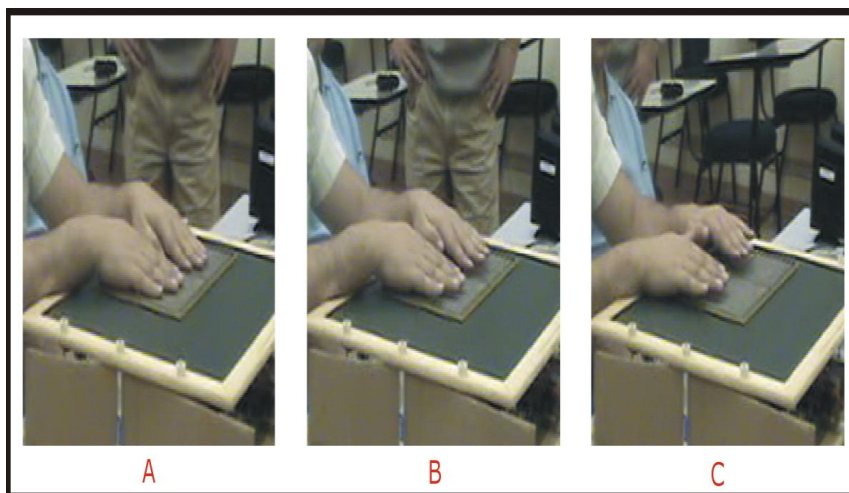


Figura 4.40 - Susto inicial  
Fonte: Acervo pessoal

Passado o susto inicial, o pesquisador encoraja Bernardo a manter as mãos espalmadas sobre o plotador com o intento, de descobrir onde o gráfico da função está sendo plotado.

**Pesquisador:** Está sendo plotado agora o gráfico. Você consegue encontrar onde esta saindo o gráfico?

**Bernardo:** Aqui (parando a mão esquerda sobre os pinos já levantados).

Bernardo descobre onde está sendo plotado o gráfico da função em 20 segundos, contados a partir do momento em que o primeiro pino é plotado. A Figura 4.41 mostra a sequência de movimentos das mãos realizadas por ele para localizar o gráfico.

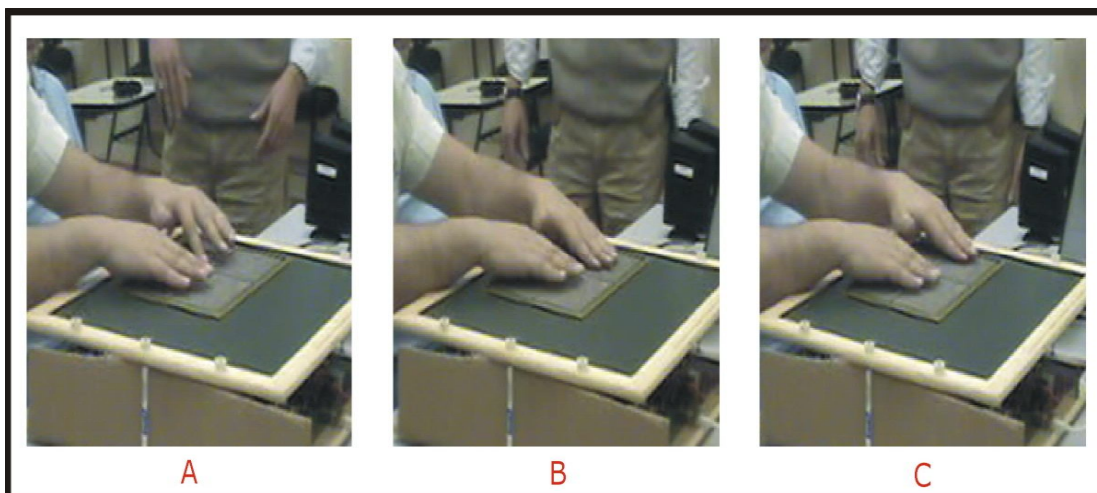


Figura 4.41 - Movimento das mãos de Bernardo para localizar o gráfico da função  
Fonte: Acervo pessoal

Bernardo mantém a mão direita sobre a origem dos eixos (posição 0,0) e desloca a mão esquerda em direção ao 2º quadrante, onde o gráfico era plotado. Ainda que esta escolha possa ter sido casual, ou baseada nos conhecimentos que possui sobre gráficos de funções, também é possível que tenha sido guiada pela percepção tátil e sonora.

Esta sequência de imagens revela também outro detalhe confirmado adiante por Bernardo, que é sua necessidade de manter um dedo na origem dos eixos.

**Bernardo:** Nossa, mas é engraçado que eu tenho uma necessidade de ficar segurando o zero zero pra me localizar.

Nossas hipóteses apontam para este procedimento, como uma estratégia de localização, mas outra possibilidade é considerar que o uso do plotador sensorial está sendo feito por um sujeito que não é cego e está acostumado, em sua vida de vidente, a utilizar os gráficos cartesianos.

A atividade seguinte, solicitada a Bernardo foi de conferir a posição onde o gráfico foi plotado com a localização dos botões do eixo y. Bernardo corre a mão esquerda sobre os pinos plotados até encontrar o botão na lateral esquerda e fez a seguinte pergunta: “Pode apertar o botão?”.

O pesquisador responde que sim, mas que a contagem deveria ser realizada de meio em meio para cada botão. Então, Bernardo conta os botões e encontra o valor dois.

A existência de botões acaba colaborando com a contagem e aponta também, para a necessidade de implementar fala aos botões dos eixos, o que pode trazer mais funcionalidade e facilidade no uso do plotador sensorial.

Bernardo tinha percebido a existência dos botões dos eixos, mas não sabia como utilizá-los. Depois das orientações, ele consegue conferir a posição onde o gráfico da função  $y=2$  foi plotado.

Neste momento, Bernardo pressiona os pinos plotados “apagando” o gráfico e encerra sua participação como usuário do plotador sensorial, retira a venda dos olhos e faz o seguinte comentário: “Nossa gente, parecia que era tão grande”. O que nos faz pensar que, a construção de plotadores sensoriais menores sem comprometer a percepção tátil seja possível.

Carlos que estava de olhos vendados e participando como ouvinte ao lado de Bernardo, assume a posição deste para usar o plotador sensorial. Começou a explorar o plotador com as mãos, identificou os botões dos eixos x e y, e perguntou ao pesquisador:

**Carlos:** Esse é o eixo y? (Deslizando a mão esquerda sobre o conjunto de botões do eixo y). E esse aqui é o eixo x? (Deslizando a mão direita sobre o conjunto de botões do eixo x).

**Pesquisador:** Não, bem no meio da placa estão os eixos.

**Carlos:** No meio da placa?

**Pesquisador:** É. Vai com a sua mão direita mais para cima.

**Carlos:** Aqui? (Encontra os pinos do eixo x).

**Pesquisador:** Isso.

Enquanto Carlos participou como ouvinte, acompanhou Bernardo na atividade de localizar o valor de y, e por isso teve o interesse de afirmar: “Eu só não estou entendendo este meio que você está falando”. Mesmo sem tatear o plotador, Carlos talvez tenha construído em sua memória uma imagem do plotador, e está buscando validar esta construção pelo tato.

O pesquisador explica para Carlos como utilizar os botões para contar os valores dos eixos x ou y.

**Carlos:** Ah. Na lateral é que tem a marcação de meio em meio.

**Pesquisador:** É.

**Carlos:** Então, cada vez que eu quiser medir eu tenho que correr isto (Conjunto de botões do eixo y).

**Pesquisador:** Isso.

**Carlos:** Então, por exemplo, aqui (Botão do eixo y correspondente a meio) é meio e aqui (Botão do eixo y correspondente a um) é um e aqui (Botão do eixo y correspondente a dois) dois. Então, aquela função lá do Bernardo seria uma paralela aqui (indicando com o dedo o local onde a função  $y=2$  foi plotada) a este eixo (indicando com o dedo o eixo x no plotador).

**Pesquisador:** Isso, mesmo.

**Carlos:** E qual é a referência que eu tenho para saber se está paralela ou perpendicular ao eixo?

**Pesquisador:** Não, é preciso desenhar primeiro a função.

**Carlos:** Ah. Entendi.

A pergunta de Carlos “E qual é a referência que eu tenho para saber se está paralela ou perpendicular ao eixo?” foi respondida como se a construção da função permitisse descobrir esta característica, mas ao

analisarmos o vídeo gravado, descobrimos que talvez a ausência de linhas guia horizontais poderiam dificultar esta percepção. A fala transcrita abaixo evidência esta dificuldade.

**Carlos:** Me perdi.

**Pesquisador:** Se perdeu.

**Carlos:** Me perdi. Agora eu tenho o eixo x e não encontro mais o y.

**Pesquisador:** Se perdeu.

**Carlos:** Eu to achando várias verticais, mas parece que esta aqui (Apontando com o dedo indicador da mão direita o eixo y) é mais alta.

**Pesquisador:** Então, mais alta é zero.

A necessidade de incluir linhas guia horizontais ao plotador foi detectada no experimento 1. As análises das atividades do experimento 2 corroboram ainda mais para incluí-las.

Na sequência, Carlos faz outra observação sobre o plotador sensorial.

**Carlos:** Posso dar uma sugestão?

**Pesquisador:** Pode.

**Carlos:** O zero daqui (apontando para o botão do eixo y correspondente ao zero) se pudesse ser diferente.

**Pesquisador:** Diferente como?

**Bernardo:** Alguma coisa tátil diferente.

**Pesquisador:** Ah. Sim.

**Carlos:** Porque senão a gente cada vez que vai fica perdido e tem que procurar novamente.

**Pesquisador:** Concordo com você.

Bernardo e Carlos concordam que a extremidade dos eixos x e y deveriam ter uma marcação tátil diferenciada, o que, na opinião deles ajudaria a localização dos botões correspondentes aos respectivos eixos. Esta observação coincide com a estratégia usada no experimento 1 por Alice, que usava o parafuso presente nestas posições como referência para a contagem.

O Quadro 4.4 acrescenta ao Quadro 4.3 da seção anterior, outras observações e propostas de solução decorrentes do experimento 2. A última coluna do quadro indica se a solução proposta foi implementada no plotador sensorial antes de iniciar o próximo experimento.

Experimento	Observado na Análise	Solução proposta		Solução Implementada
		Alteração de <i>Hardware</i>	Alteração de <i>Software</i>	
1	- Dificuldade de identificar o eixo y (eixo das ordenadas)	Incluir linhas guia horizontais.		Sim
1	- Fala do computador diz: ípsilon igual a zero xis mais dois, enquanto que o melhor seria dizer: ípsilon igual a dois.		Modificar o módulo de fala para as funções constantes.	Não
1	- Susto no contato inicial		Diminuir a quantidade de marteladas.	Sim
1	- Falta da tecla de atalho para executar o procedimento “Calcular tabela”		Alterar o programa para calcular a tabela automaticamente quando o valor de a ou b for alterado.	Não
1	- Botões dos eixos x e y não falam		Alterar o módulo de leitura analógica do Microcontrolador e alterar o módulo de leitura de botão do PC.	Sim
2	- Mudar a fala do plotador de coeficiente angular e coeficiente linear para a e b.		Alterar o módulo de fala.	Sim

2	Botão Calcular Tabela pode ser eliminado.		Alterar a rotina de recepção dos valores de a e b para disparar o módulo de cálculo da tabela.	Sim
2	- Falha ao tentar plotar um ponto no plotador sensorial.	Ajustar as folgas das polias e outras partes mecânicas.	Melhorar a rotina de plotagem de pontos.	Sim
2	- Identificação Braille para os eixos x e y.	Aplicar nas extremidades dos eixos a codificação Braille correspondente.		Não

Quadro 4.4 - Resumo das observações e propostas de solução após o experimento 2

Depois de realizado o experimento 2, foram feitas as seguintes alterações no plotador sensorial:

Aumento no nível dos pinos paralelos ao eixo x (abscissa) que estão alinhados aos botões do eixo y, criando as linhas guia horizontais de forma análoga a realizada nos pinos alinhados aos botões do eixo x. Dessa maneira, a base do plotador sensorial ficou configurada como mostra a Figura 4.42.

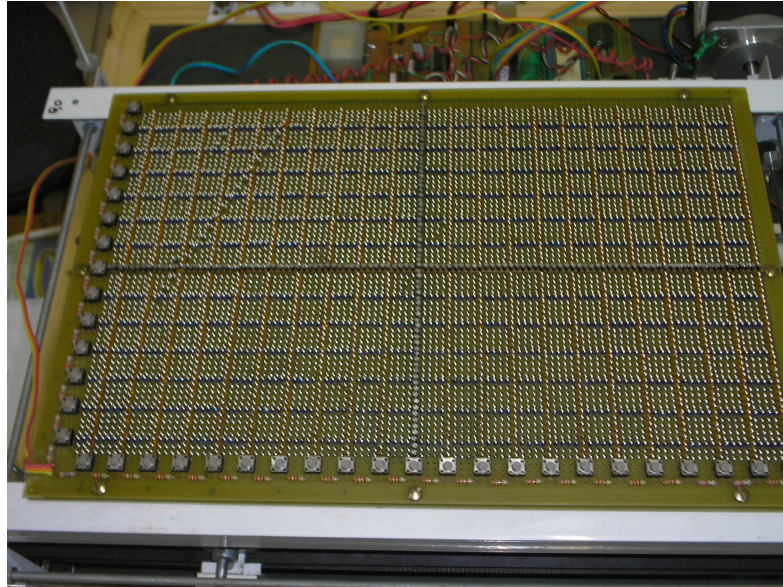


Figura 4.42 - Base de pinos com as linhas guia horizontais e verticais  
Fonte: Acervo pessoal

A quantidade de marteladas por pino foi reduzida de 20 para 5, porque a nova base de pinos exigia menos esforço do martelo para se elevar.

O programa PC do plotador sensorial foi modificado para recalculer a tabela, toda vez que o valor de  $a$  ou  $b$  sofrer alteração. Antes dessa modificação, os valores da tabela eram calculados depois que o botão Plotar Gráfico era clicado.

Os botões dos eixos  $x$  e  $y$  passam a funcionar como o projetado no início, isto é, ao serem pressionados, fazem o computador falar o valor correspondente. Por exemplo, ao pressionarmos o terceiro botão do eixo  $x$  que está à esquerda do eixo  $y$ , o computador responderá: “xis vale menos um e meio”. Antes desta implementação, a única maneira de saber o valor de  $x$  ou de  $y$  era contando os botões.

O programa recebeu melhoria na rotina de plotagem de um ponto e alguns ajustes foram feitos nas partes mecânicas do plotador sensorial com o objetivo de permitir a construção de gráficos de funções lineares com coeficiente angular diferente de zero. Nossas tentativas anteriores de plotar esses gráficos resultavam em travamento ou levantamento do pino errado.

A fala do computador, quando as teclas a ou s são pressionadas, foi mudada e a tabela de teclas e funções do programa passou a ter a configuração mostrada na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Teclas e funções do programa gráfico do plotador sensorial

<b>Tecla</b>	<b>Função</b>
A	Digitar um valor numérico para a
S	Digitar um valor numérico para b
F	Verificar a função atual
P	Plotar no tablet
Esc	Sair do programa
Espaço	Ouvir a mensagem novamente

### 4.2.3 Experimento 3 – Daniel

O experimento 3 surgiu a partir de uma solicitação de ajuda feita pelo professor de Matemática, Douglas, do curso de Gestão da Tecnologia da Informação, na Faculdade de Tecnologia de Bragança Paulista, em São Paulo. Douglas, em seu pedido, afirmou ter na turma um aluno cego congênito, Daniel, e que não sabe como ensinar gráfico de funções para ele.

Informamos ao professor Douglas sobre nossa pesquisa envolvendo sujeitos cegos ou com baixa visão e propomos um encontro, para que Daniel pudesse experimentar a ferramenta, o que foi aceito e marcado.

Comparecemos ao local e horário agendado e levamos o plotador sensorial. Antes de iniciar o experimento com o plotador, entrevistamos Daniel para colher informações que pudessem nos ajudar a elaborar melhor o perfil do sujeito da pesquisa.

Em nossa conversa inicial, Daniel expressa suas limitações com algumas disciplinas do seu curso.

**Pesquisador:** Quantas disciplinas você está estudando agora?

**Daniel:** Seis: Comunicação e Expressão, Matemática, Inglês, Algoritmos, Processos Gerenciais e Fundamentos de TI.

**Pesquisador:** Tem alguma limitação em Comunicação e Expressão?

**Daniel:** Não, é Português.

**Pesquisador:** Agora, matemática eu acho que já tem?

**Daniel:** O professor Douglas está trabalhando agora com funções e logaritmos. A parte de gráficos ele ainda não está dando, porque ele não sabe o jeito de dar o gráfico, ele só deu a conta. Só a parte de cálculo.

Daniel, ao afirmar que “A parte de gráficos ele ainda não está dando, porque ele não sabe o jeito de dar o gráfico”, evidencia também o despreparo deste professor para lidar com situações que envolvam o ensino de gráficos de funções para alunos cegos ou com baixa visão.

A parte de cálculo é apresentada para Daniel pelo professor Douglas usando um programa de planilha de cálculos. Daniel usa seu programa leitor de telas para ler cada célula da planilha.

As funções matemáticas são apresentadas também em formato de texto, mas expressões que envolvam símbolos matemáticos como os de potenciação, radiciação etc., não são lidos pelo leitor de telas. Essa é uma limitação que Daniel afirma estar presente nos programas de leitura.

**Daniel:** O *Equation* do Word – o Jaws não lê. O NVDA eu acho que também não lê.

Daniel afirma ainda que das disciplinas que está cursando atualmente, “Matemática é que pega, por causa dos gráficos”.

Neste momento, explicamos a Daniel que o propósito da nossa pesquisa é construir uma ferramenta que possibilite aos cegos ou portadores de baixa visão perceber o gráfico de uma função linear num

plano cartesiano, e que a colaboração dele com a nossa pesquisa é muito importante. Nosso objetivo também é de colaborar para a Matemática Inclusiva, com a criação de uma ferramenta que permita a interação entre cegos e não cegos.

Comentamos ainda que o plotador sensorial é atualmente grande e pesado, isto é, uma *table*, mas que no futuro esperamos transformá-lo num *tablet*. A redução de tamanho e peso pode proporcionar maior facilidade no transporte e manuseio desta ferramenta.

**Daniel:** Deixa eu ver, já tirou o aparelho, já?

**Pesquisador:** Já.

**Daniel:** Deixa eu ver.

Embora Daniel seja cego congênito, o uso da palavra ver é natural e, neste trecho da conversa, expressa sua vontade de querer tocar no plotador sensorial.

Colocamos Daniel em frente à mesa em que estava o plotador sensorial, e ele começa a explorá-lo com as mãos. Sua estratégia é semelhante à realizada pelos sujeitos dos experimentos anteriores, mas, aparentemente, mais sutil e delicada.

**Pesquisador:** Aqui (referindo-se a todo o aparelho) é toda a parte de fora. O aparelho mesmo é este pedacinho (referindo-se a base de pinos).

**Daniel:** Ah, aqui tem um quadriculado (sensação produzida pelas linhas guias horizontais e verticais).

Esta sensação de Daniel sobre o quadriculado confirma nossas expectativas quanto a construção de uma ferramenta que permitisse perceber linhas horizontais e verticais no plano.

Prosseguindo com a exploração tátil do plotador sensorial, Daniel localiza os botões dos eixos x e y.

**Daniel:** Ah, aqui tem um tipo de uns botões.

**Pesquisador:** Isso. Esses botões (localizados na lateral esquerda e inferior da base de pinos) são as marcações. E eu acho que quando a gente apertar e a máquina estiver ligada ele vai falar alguma coisa.

**Daniel:** Ah, tá.

Enquanto Daniel continua a exploração do plotador sensorial, o pesquisador conecta os cabos de alimentação e comunicação, as caixas de som e executa o programa do PC.

**Plotador:** Antes de iniciar a plotagem você deve definir o valor dos coeficientes. Digite A para definir o valor de a.

**Daniel:** Tá lento.

**Pesquisador:** Tá lento, né.

**Plotador:** Digite S para definir o valor de b. Digite P para plotar o gráfico. Digite F para verificar a função atual. Digite Escape para sair do programa. Digite Espaço para ouvir esta mensagem novamente.

**Daniel:** É a Raquel.

Notamos, no trecho acima, que Daniel diz: “Tá lento” em crítica à velocidade da fala. Ele está acostumado a usar leitores de tela com velocidades muito maiores.

Daniel reconhece a voz usada e diz: “é a Raquel”. Pensamos que esta afirmação pode indicar sua familiaridade no uso de equipamentos com voz digital e sua sensibilidade para identificar vozes.

**Pesquisador:** Então, fala dois números aí até dez.

**Daniel:** Nove e cinco.

**Pesquisador:** Então, a gente vai fazer a função  $9x+5$ . Pra você ver como que vai ficar este gráfico. Aí você vai contar pra gente o que é que você está conseguindo entender dessa coisa.

**Pesquisador:** Só que tem um detalhezinho, se a gente colocar o 9 ele vai ficar fora da área aqui (espaço reservado para a plotagem). Vamos mudar este valor para  $2x+9$ . Ok. Então eu vou teclar aqui (no teclado do computador) Daniel pra gente saber que função está sendo plotada. Vou apertar aqui o F.

**Plotador:** A função linear definida atualmente é ípsilon igual a dois xis mais nove.

**Daniel:** Ah ta, ai você aperta a letra P.

**Pesquisador:** Ok. Tudo bem então a função é  $2x+9$ .

O trecho acima revela a limitação do plotador sensorial em construir gráfico de funções lineares, quando os valores dos coeficientes resultem em gráficos fora da área reservada para a plotagem. Talvez, uma solução para esta limitação seja alterar o programa PC, de tal maneira que a escala de apresentação do gráfico seja ajustada automaticamente. Assim, os botões dos eixos x e y não teriam os valores fixos atuais de meio em meio, mas ajustados à escala necessária.

Prosseguindo com o experimento, solicitamos a Daniel que mantivesse as mãos espalmadas sobre o plotador para acompanhar a plotagem.

**Pesquisador:** (Liga o botão do plotador sensorial e tecla P para plotar o gráfico).

**Plotador:** Plotar no tablet (fala do computador).

**Daniel:** Que é isso? Tomei um susto.

**Pesquisador:** Não dá choque não.

Daniel fica assustado, quando os motores do plotador sensorial começam a vibrar, Figura 4.43.

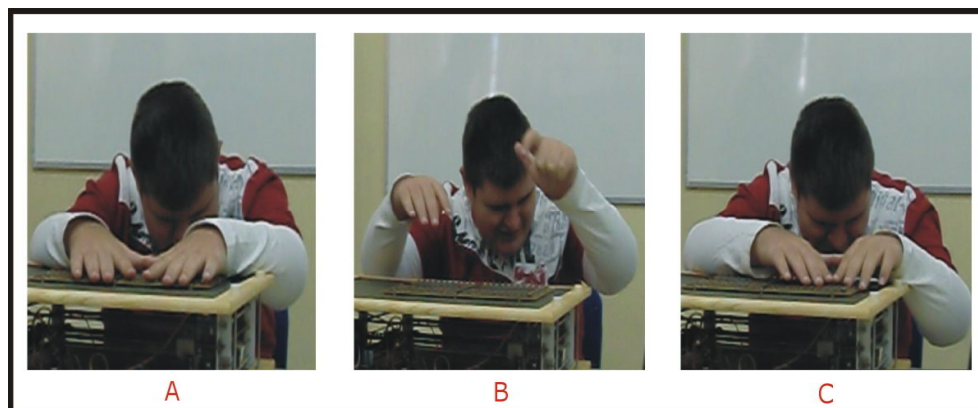


Figura 4.43 - Susto inicial de Daniel  
Fonte: Acervo pessoal

Neste experimento o susto inicial acontece antes mesmo de o plotador levantar o primeiro pino, o que poderá indicar sua grande sensibilidade tátil.

**Pesquisador:** Você pode deixar a mão aberta e encostar bem de leve, lá em cima (2º quadrante). Você vai sentir alguma coisa que vai acontecer aí.

**Daniel:** Cadê?

**Plotador:** (Martela o primeiro pino).

**Daniel:** Ui. (Assusta-se).

**Pesquisador:** Não, não machuca não.

**Daniel:** (Sorri). Que susto!

Daniel assusta-se novamente quando o plotador martela o primeiro pino da função  $y=2x+9$ . Mas, continua sentindo a plotagem. Assim que o décimo pino é martelado, Daniel faz uma afirmação:

**Daniel:** (Sorri). Ah. Ele dá uma reta inclinada.

Essa fala de Daniel, pode talvez indicar que ele percebe a reta e a sua inclinação em relação aos eixos do plano cartesiano auxiliado pelas quadriculas (linhas guia horizontal e vertical).

O Quadro 4.5 acrescenta ao Quadro 4.4 da seção anterior, outras observações e propostas de solução decorrentes do experimento 3. A última coluna do quadro indica se a solução proposta foi implementada no plotador sensorial, antes de iniciar o próximo experimento.

Experimento	Observado na Análise	Solução proposta		Solução Implementada
		Alteração de Hardware	Alteração de Software	
1	- Dificuldade de identificar o eixo y (eixo das ordenadas)	Incluir linhas guia horizontais.		Sim
1	- Fala do computador diz: ípsilon igual a zero xis mais dois, enquanto que		Modificar o módulo de fala para as funções constantes.	Não

	o melhor seria dizer: ípsilon igual a dois.			
1	- Susto no contato inicial		Diminuir a quantidade de marteladas.	Sim
1	- Falta da tecla de atalho para executar o procedimento "Calcular tabela"		Alterar o programa para calcular a tabela automaticamente quando o valor de a ou b for alterado.	Não
1	- Botões dos eixos x e y não falam		Alterar o módulo de leitura analógica do Microcontrolador e alterar o módulo de leitura de botão do PC.	Sim
2	- Mudar a fala do plotador de coeficiente angular e coeficiente linear para a e b.		Alterar o módulo de fala.	Sim
2	Botão Calcular Tabela pode ser eliminado.		Alterar a rotina de recepção dos valores de a e b para disparar o módulo de cálculo da tabela.	Sim
2	- Falha ao tentar plotar um ponto no plotador sensorial.	Ajustar as folgas das polias e outras partes mecânicas.	Melhorar a rotina de plotagem de pontos.	Sim
2	- Identificação Braille para os eixos x e y.	Aplicar nas extremidades dos eixos a codificação Braille		Não

		correspondente.		
3	- O tamanho do gabinete do plotador é muito grande.	Alterar e compactar partes do plotador.		Sim
3	- Fala do Computador está muito lenta.		Configurar as propriedades da fala.	Sim
3	- Os valores definidos para a e b (coeficientes angular e linear) resultam em funções não plotáveis.		Criar um módulo de Zoom para aproximar ou distanciar o gráfico e alterar a escala.	Não

Quadro 4.5 - Resumo das observações e propostas de solução após o experimento 3  
 Fonte: Acervo pessoal

Após realizar o experimento 3, o plotador sensorial foi desmontado e remontado num novo gabinete acrílico de menor dimensão. A substituição de componentes eletrônicos e a nova distribuição das partes permitiram construir um plotador sensorial mais compacto. A base de pinos sofreu a seguinte modificação nas linhas guias horizontais e verticais: a cabeça dos pinos alinhados com os botões do eixo x e y foram revestidas com uma tinta à base de borracha. Com isso, esperamos que as pessoas cegas ou com baixa visão percebam as quadrículas do plano cartesiano do plotador sensorial, sem que seja necessário elevar os pinos. Nossas expectativas são de que a percepção tátil aconteça mais pela diferença de textura do que de relevo. A Figura 4.44 mostra os detalhes desta implementação.

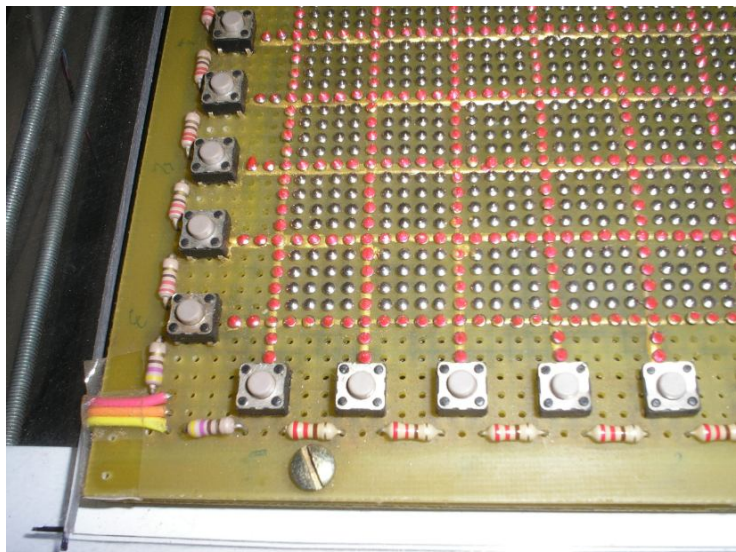


Figura 4.44 - Detalhes dos pinos do plotador (revestidos com tinta à base de borracha de cor vermelha)

Fonte: Acervo pessoal

A velocidade da fala foi alterada para mais no painel de controle do computador, Figura 4.45, com o propósito de reduzir a lentidão reclamada por Daniel durante o experimento.

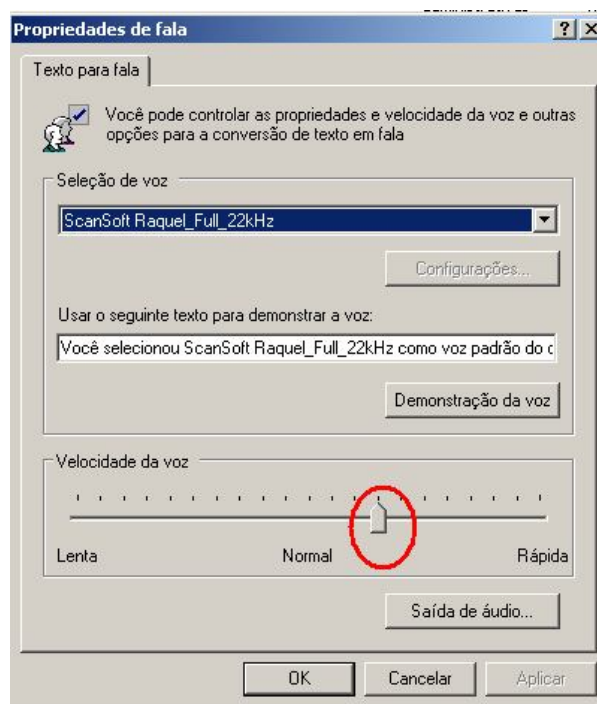


Figura 4.45 - Alteração da velocidade da fala

Fonte: Acervo pessoal

Depois de feitas as alterações descritas acima, o plotador sensorial passou a ter a aparência mostrada na Figura 4.46 e suas medidas de altura, largura, profundidade e peso mudaram de 15 cm, 55 cm, 45 cm e 8,70 kg para 12,5 cm, 44 cm, 40 cm e 6,23 kg, respectivamente.

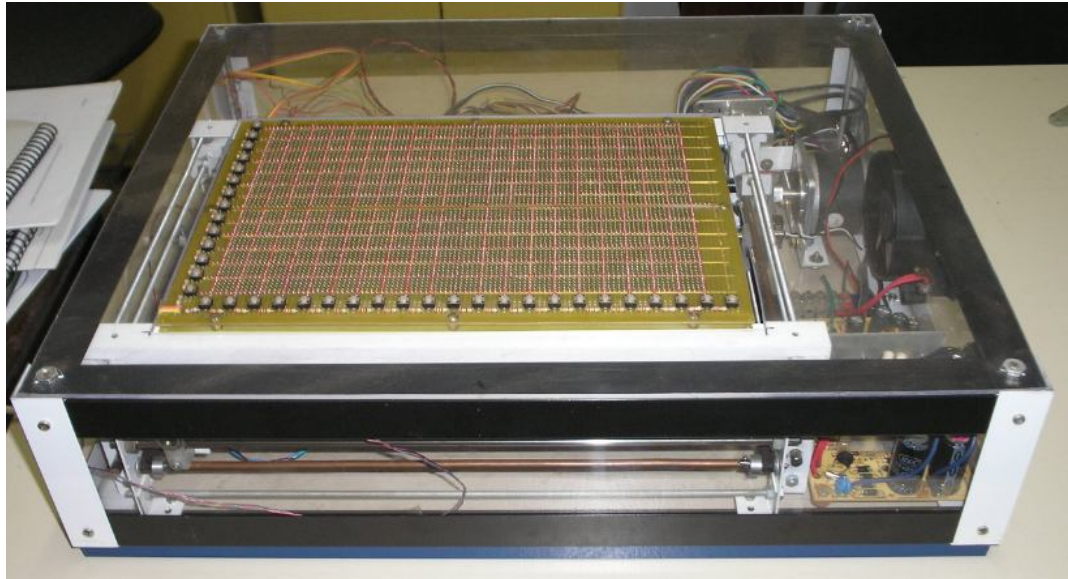


Figura 4.46 - Plotador sensorial após as alterações  
Fonte: Acervo pessoal

No próximo experimento, usaremos este modelo de plotador sensorial numa atividade de plotagem que usa o primeiro, o segundo e o terceiro quadrante do plano cartesiano.

O programa do PC também foi alterado para permitir o uso de valores reais para  $a$  e  $b$  (coeficientes angular e linear da reta), pois a digitação de valor como, por exemplo, 2,5 (dois e meio) resultava em erro no programa. A tela principal do programa, Figura 4.47, passou a chamar quatro janelas suspensas: O painel de controle, Figura 4.48; a folha de funções, Figura 4.49; a folha de programação, Figura 4.50 e a folha de desenho, Figura 4.51. O painel de controle fornece um conjunto de informações técnicas sobre o estado do plotador, posição dos motores, martelo etc. A folha de funções permite criar funções e arquivá-las em disco para uso futuro. A folha de programação permite construir gráfico usando comandos de maneira semelhante à linguagem Logo. Essa folha oferece recursos que

vão além da proposta da nossa pesquisa que é construir gráfico de uma função real polinomial do primeiro grau, mas indica talvez outra possibilidade de uso para o plotador sensorial. A folha de desenho permite que o usuário construa com uma caneta digital desenhos que depois podem ser plotados. Talvez este recurso também permita usar o plotador com outras finalidades além das experimentadas nesta pesquisa.

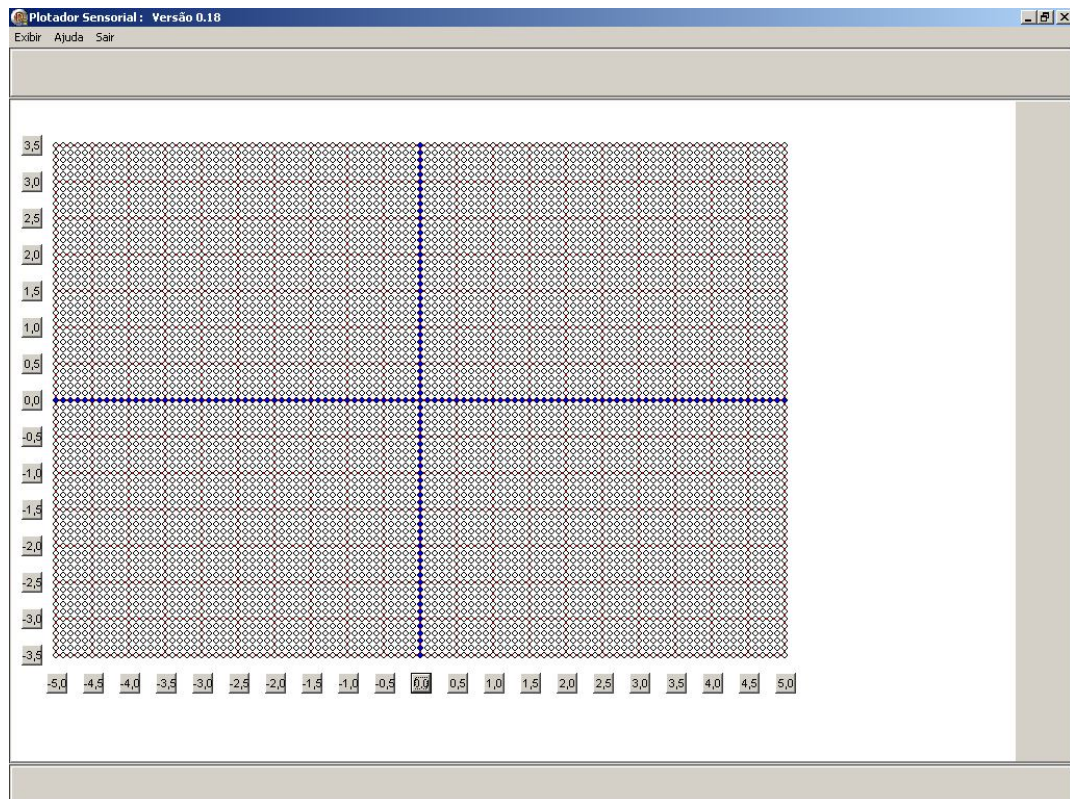


Figura 4.47 - Tela Principal do plotador sensorial versão 0.18  
Fonte: Acervo pessoal

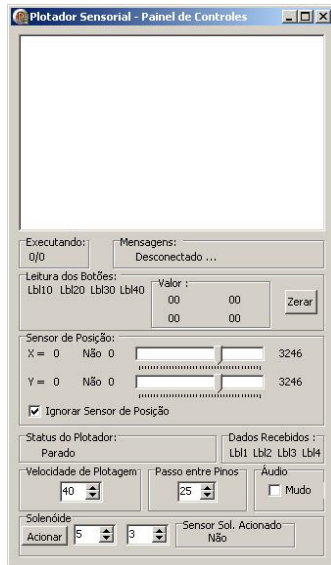


Figura 4.48 - Painel de Controles do plotador sensorial versão 0.18  
Fonte: Acervo pessoal

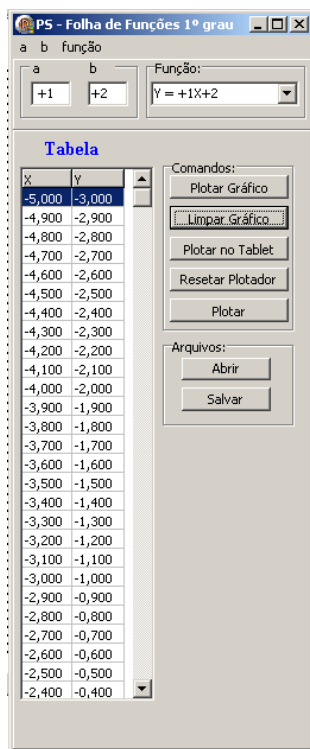


Figura 4.49 - Folha de funções do plotador sensorial versão 0.18  
Fonte: Acervo pessoal



Figura 4.50 - Folha de programação do plotador sensorial versão 0.18  
Fonte: Acervo pessoal

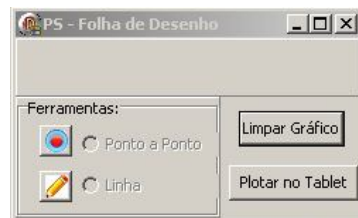


Figura 4.51 - Folha de desenho do plotador sensorial versão 0.18  
Fonte: Acervo pessoal

#### 4.2.4 Experimento 4 – Alice

Alice, do experimento 1, participou novamente do experimento 4.

O movimento das mãos de Alice no contato inicial com o plotador sensorial foi semelhante a dos sujeitos dos experimentos anteriores, mas suas impressões revelam detalhes de sua percepção.

**Pesquisador:** Primeiro, é pra você explorar com as mãos espalmadas encima (do plotador), pode ser com as duas mãos, você dizer o que é que está reconhecendo, qual a sua impressão com relação ao que está aí?

**Alice:** Dá pra ver os pinos aqui e que aqui (pinos com tinta emborrachada) está mais áspero o que dá pra sentir melhor também.

**Pesquisador:** É.

**Alice:** E que daí fica mais relevo pra sentir. Este quadradinho que eu estou com a mão aqui (quadrícula do plano cartesiano) dá pra sentir a linha dele com mais propriedade também.

**Pesquisador:** Em relação ao que você tinha feito antes? (Experimento1).

**Alice:** É.

**Pesquisador:** Entendi.

Alice faz comparações com o experimento 1 afirmando que “dá pra sentir melhor” as quadrículas o que faz bastante sentido, pois o plotador usado no experimento 1 continha apenas linhas guia verticais. Talvez a afirmação “dá pra sentir a linha dele com mais **propriedade** também”, seja uma referência à textura do material (uso de pinos com materiais emborrachados nas quadrículas) o que mantém o plano mais nivelado, pois elimina a necessidade de criar as quadrículas por diferença de altura entre os pinos.

**Pesquisador:** Existe vamos dizer como se fosse uma cruz aí (plano de pinos do plotador), que corresponderia ao eixo x e ao eixo y num plano cartesiano, será que você consegue identificá-lo aí? Ele está um pouquinho mais elevado que os outros.

**Alice:** É esse daqui (indicando o eixo x). A gente percebe que tem uns que são mais baixinhos.

**Pesquisador:** Isso.

Alice localiza o cruzamento dos eixos x e y. Para realizar a mesma atividade no experimento 1, ela encontrou as dificuldades descritas na seção 4.2.1, superadas, quando usou os parafusos da placa como referência.

A atividade seguinte desenvolvida com o plotador sensorial foi acompanhar o plotar da função  $y=0,5x+2$  e tentar identificar características do gráfico da função.

O pesquisador digita no computador a função e plota primeiro na tela do PC, como mostra a Figura 4.52.

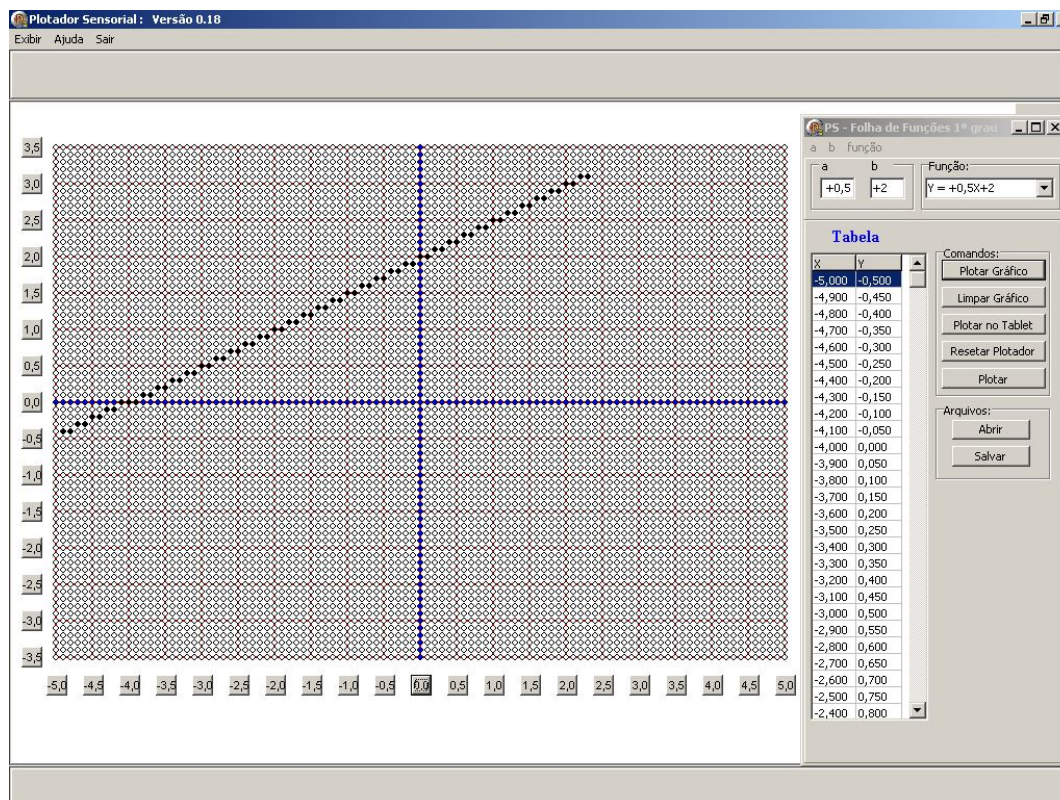


Figura 4.52 - Gráfico da função  $y=0,5x+2$  na tela do computador  
Fonte: Acervo pessoal

Depois de plotar na tela do computador o gráfico da função, o pesquisador clica no botão Plotar no Tablet, enquanto Alice permanece com as mãos espalmadas sobre o plotador sensorial. Quando os motores do plotador são ligados, Alice diz: "Faz cosquinhas na mão", por causa das vibrações produzidas. Ao iniciar a plotagem, Alice se assusta afastando as mãos do plotador, sorri e diz novamente: "Faz cosquinhas", como mostra a Figura 4.53.

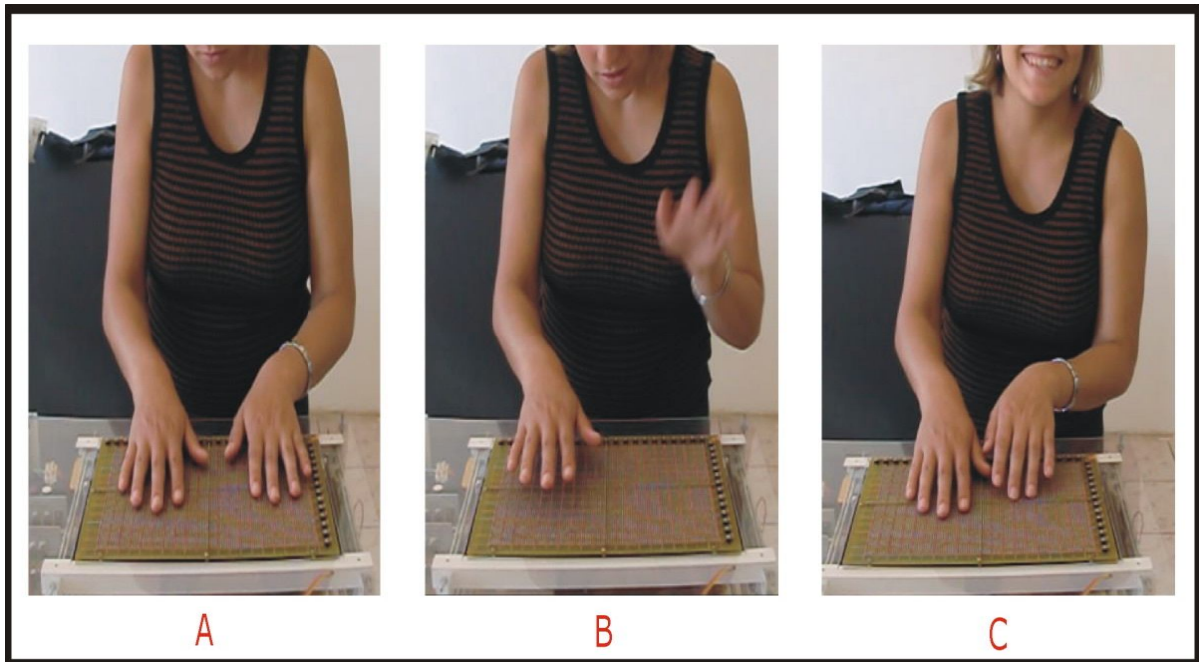


Figura 4.53 - Susto inicial de Alice  
Fonte: Acervo pessoal

Passado o susto inicial, o pesquisador pergunta:

**Pesquisador:** Você pode falar suas impressões.

**Alice:** A gente acaba se assustando quando começa, mas depois do segundo estalinho se acostuma.

O susto inicial talvez não seja proporcionado somente pela intensidade e número de marteladas, mas por outros fatores como o som, por exemplo.

Terminada a plotagem do gráfico da função  $y=0,5x+2$  no plotador sensorial, o pesquisador pede para Alice localizar onde o gráfico foi plotado.

**Pesquisador:** Bom, agora terminou a plotagem. Quer dizer que ai, a gente tem uma representação pelo plotador desta função  $y=0,5x+2$ . Você consegue ver, você consegue sentir na verdade, onde foi que ele colocou ai os pontinhos?

**Alice:** Seria aqui (ponto onde a reta corta o eixo x).

**Pesquisador:** Isso.

**Alice:** Aqui (ponto onde a reta corta o eixo y) o y.

Alice inicia a sua descrição indicando a localização onde os eixos são cortados pela reta plotada. Depois dessas afirmações Alice diz: “Parece que ela vem deste ponto (Figura 4.54 – Ponto A) até aqui em cima (Figura 4.54 – Ponto B).

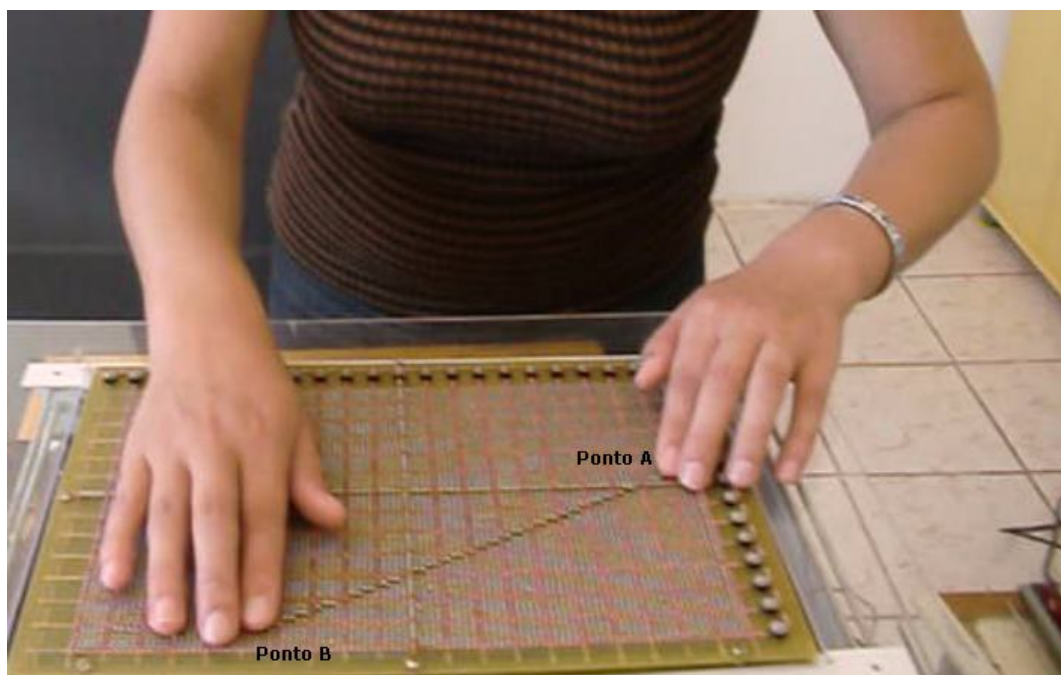


Figura 4.54 - Alice localizando a reta  
Fonte: Acervo pessoal

Depois de localizar as extremidades da reta plotada, Alice indica com os dedos as partes da reta que estão no primeiro, segundo e terceiro quadrantes.

Na seção seguinte, 4.3 – Proposta de um novo *design*, apresentamos um conjunto de características que, talvez, contribuam para a construção de um plotador sensorial mais funcional nas aulas de gráfico de funções quando os alunos forem cegos ou com baixa visão. Estas características são resultado das análises dos experimentos realizados na nossa pesquisa.

### 4.3 Ciclo 3 – Proposta de um novo design

Este novo design propõe soluções para os problemas ainda pendentes, sugere a alteração de algumas soluções já implementadas e a adição de novos recursos ou facilidades que talvez contribua para a construção de um plotador sensorial mais funcional nas aulas de gráfico de funções quando os alunos são cegos ou com baixa visão.

O Quadro 4.6 mostra de forma resumida, os erros de funcionamento, dificuldades de uso e outras características observadas nas análises dos experimentos do Ciclo 2, cuja solução proposta não foi implementada no plotador sensorial por causa das limitações de tempo a que esta pesquisa está condicionada.

Experimento	Observado na Análise	Solução proposta		Solução Implementada
		Alteração de Hardware	Alteração de Software	
1	- Fala do computador diz: ípsilon igual a zero xis mais dois, enquanto que o melhor seria dizer: ípsilon igual a dois.		Modificar o módulo de fala para as funções constantes.	Não
1	- Falta da tecla de atalho para executar o procedimento "Calcular tabela"		Alterar o programa para calcular a tabela automaticamente quando o valor de a ou b for alterado.	Não
2	- Identificação Braille para os eixos x e y.	Aplicar nas extremidades dos eixos a codificação Braille correspondente.		Não

3	- Os valores definidos para a e b (coeficientes angular e linear) resultam em funções não plotáveis.		Criar um módulo de Zoom para aproximar ou distanciar o gráfico e alterar a escala.	Não
---	--	--	--	-----

Quadro 4.6 - Resumo das observações e propostas de solução após os experimentos do ciclo 2

A primeira observação do Quadro 4.6 faz referência à fala do computador, quando funções constantes são digitadas no mesmo. Para esta observação propomos como solução a mudança no código do programa do PC.

A segunda observação do Quadro 4.6, falta da tecla de atalho para executar o procedimento “Calcular tabela”, revelou-se desnecessária de implementação quando após o experimento 2, a rotina de recepção dos valores de a e b foram alteradas para disparar o módulo de cálculo da tabela automaticamente.

A terceira observação do Quadro 4.6, identificação Braille para os eixos x e y, exige uma escrita em Braille nas quatro extremidades dos eixos x e y o que pode ser feito de diversas maneiras.

Para a quarta observação do Quadro 4.6, os valores definidos para a e b (coeficientes angular e linear) resultam em funções não plotáveis, propomos a criação de uma rotina de Zoom, no programa do PC com a finalidade de aproximar, distanciar e alterar a escala do gráfico plotado.

Algumas soluções implementadas nos experimentos do ciclo 2 ao plotador sensorial, embora tenham resolvido parcialmente os problemas observados durante as análises, indicam para modificações que possam diminuí-los ainda mais. No Quadro 4.7 relacionamos dois destes problemas e as soluções implementadas no Ciclo 2.

Experimento	Observado na Análise	Solução proposta		Solução Implementada
		Alteração de	Alteração de	

		<b>Hardware</b>	<b>Software</b>	
1	- Susto no contato inicial		Diminuir a quantidade de marteladas.	Sim
3	- O tamanho do gabinete do plotador é muito grande.	Alterar e compactar partes do plotador.		Sim

Quadro 4.7 - Resumo das observações e proposta de solução implementada no Ciclo 2 que necessitam de melhorias

Para a primeira observação do Quadro 4.7, susto no contato inicial, foi adotada a solução de diminuir a quantidade de marteladas do plotador sensorial. Essa solução resolveu parcialmente, mas não eliminou o problema, pois o susto inicial está presente nos quatro experimentos do Ciclo 2. Talvez, uma solução mais apropriada seja utilizar outro mecanismo de elevação dos pinos em substituição ao martelo que os impulse de maneira mais suave e delicada.

A segunda observação do Quadro 4.7, o tamanho do gabinete é muito grande, foi solucionada, parcialmente, com a desmontagem, alteração das partes e remontagem do plotador sensorial. Entretanto, buscar a compactação do plotador pode talvez resultar na construção de um dispositivo de proporções similares aos *Tablets*, com ganho de espaço e peso; e facilidade de transporte.

As propostas de mudança apresentadas nesta seção não encerram o assunto. Elas são o resultado das observações feitas sobre os experimentos do ciclo 2. Em nossa opinião, a realização de novos experimentos e com outros sujeitos, possibilitará identificar outros problemas e propor novas soluções.

No próximo capítulo, apresentamos um resumo sobre a trajetória do estudo, uma síntese dos resultados obtidos. Voltamos à questão de pesquisa, proposta no Capítulo 1 e oferecemos sugestões para futuros trabalhos.

## CAPÍTULO 5

---

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo apresentamos, de forma resumida, a trajetória da pesquisa, uma síntese dos resultados obtidos, e oferecemos sugestões para futuros trabalhos.

Esta pesquisa teve como objetivo principal, projetar e construir um sistema computadorizado capaz de plotar gráficos que fossem além das possibilidades táteis, explorando a noção de sistemas hápticos, de modo que alunos cegos ou de baixa visão pudessem usufruir da construção dinâmica de gráficos cartesianos de funções reais polinomiais do primeiro grau.

Introduzimos o estudo expondo algumas considerações sobre a situação dos cegos e deficientes visuais em nível internacional e nacional. Apresentamos as estatísticas da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Destacamos a família, a sociedade, a medicina, a tecnologia e a escola, como fatores da relação desafiadora e complexa de educar pessoas cegas.

Tratamos também de destacar alguns aspectos relacionados a deficiência visual, suas classificações e outras implicações decorrentes da falta de visão. Observamos que o avanço da ciência tem proporcionado inúmeras conquistas e alimenta nossas esperanças futuras.

Apresentamos uma revisão de literatura sobre a deficiência visual, isolada ou combinada a outras limitações sensoriais; o Braille como um importante sistema de escrita e leitura para os cegos e sua complexidade de símbolos para a escrita matemática; e descrevemos alguns trabalhos sobre o processo de ensino e aprendizagem dos cegos.

Dado que os alunos não têm acesso aos gráficos desenhados na lousa pelo professor nem plotados por um computador o problema/desafio

foi a elaboração de um plotador sensorial que pudesse auxiliar a esses alunos a interagirem com a ferramenta, com os outros alunos e com o professor.

Os estudos norteadores basearam-se na interação e mediação proposta por Vygotsky e seus estudos sobre a Defectologia; nas novas concepções sobre o funcionamento do cérebro humano defendidas por Damásio; e nas respostas decorrentes do sistema háptico humano.

O *Design Based Research* (DBR) foi adotado como metodologia de pesquisa porque suas características vieram ao encontro do projeto e da construção do plotador sensorial. A pesquisa contou com a participação de quatro sujeitos; dois deficientes visuais (Alice e Daniel) e dois videntes usando vendas nos olhos (Bernardo e Carlos). A coleta de dados foi feita por meio de gravações em vídeo, áudio e registro de anotações em papel.

A pesquisa teve três ciclos. No primeiro definimos o protótipo inicial, no segundo realizamos quatro experimentos e no terceiro apresentamos a proposta de novo *design*.

A elaboração do protótipo inicial do plotador sensorial exigiu esforços para solucionar quatro questões: Como seria a base de pinos? Qual o mecanismo de posicionamento do martelo mais adequado? Qual o microcontrolador mais adequado? Quais recursos incorporar à interface de usuário do PC?

O protótipo inicial do plotador sensorial teve as seguintes características:

- 1) Dispositivo de base com pinos móveis, acionados pelo movimento mecânico de um martelo elétrico, este constituído de uma bobina (solenóide);
- 2) conexão com o computador utilizando a porta USB;
- 3) programa para PC, com recursos de fala e gerador de gráficos de funções polinomiais reais de primeiro grau.

Até o experimento 1 do Ciclo 2, pensávamos em construir uma ferramenta, o plotador sensorial, que permitisse ao aluno cego ou com baixa visão construir e ler seus próprios gráficos. No entanto, após realizar o experimento 1 do Ciclo 2 e considerar o tempo restante para a conclusão desta pesquisa, decidimos focar nossos esforços na melhoria da ferramenta e reservar para o pesquisador a execução dos passos para a construção de um gráfico no plotador, conforme ilustra a Figura 4.30, apresentada no capítulo 4.

### **Resultados mais relevantes**

O experimento 1 foi realizado com Alice que é uma jovem deficiente visual e tem 3% de visão no olho direito. Depois de uma entrevista inicial, ela participou de duas atividades com o plotador sensorial.

Depois de realizado o experimento 1, observamos a dificuldade de Alice para identificar o eixo y (eixo das ordenadas). Notamos também que a fala do computador diz: “ípsilon igual a zero xis mais dois”, enquanto que o melhor seria dizer: “ípsilon igual a dois”. Outra observação relevante foi o susto no contato inicial com a ferramenta. Percebemos a falta da tecla de atalho para executar o procedimento “Calcular tabela” e que os botões dos eixos x e y não falavam.

O experimento 2 foi realizado com Bernardo e Carlos que são ambos videntes e contou com a colaboração de três pesquisadoras e uma doutoranda em Educação Matemática. Antes de iniciar as atividades, os dois sujeitos tiveram seus olhos vendados e sentaram-se lado a lado em frente ao plotador sensorial. Duas atividades foram realizadas nesse experimento: a primeira com Bernardo utilizando o plotador sensorial enquanto Carlos, com vendas nos olhos, apenas ouvia; e a segunda com Carlos utilizando o plotador sensorial enquanto Bernardo, sem venda nos olhos, interagia com os outros.

Ao término do experimento 2, observamos a necessidade de mudar a fala do plotador sensorial de “coeficiente angular e coeficiente linear” para “a e b”. Notamos que o botão Calcular Tabela podia ser eliminado e que havia uma falha ao tentar plotar um ponto no plotador sensorial. Percebemos também a necessidade de colocar a identificação em Braille para os eixos x e y.

O experimento 3 foi realizado com Daniel que é cego de nascença e aluno do curso de Gestão da Tecnologia da Informação, na Faculdade de Tecnologia de Bragança Paulista, em São Paulo. Depois da entrevista inicial, Daniel manifestou seu grande interesse em conhecer o plotador sensorial e saber como ele funcionava.

No experimento, Daniel reconhece a inclinação da reta traçada pelo plotador sensorial em relação aos eixos do plano cartesiano auxiliado pelas quadrículas (linhas guia horizontal e vertical).

O resultado do experimento 3 indicou que o tamanho do gabinete do plotador sensorial era muito grande e que a fala do computador estava muito lenta. Além disso, os valores definidos para  $a$  e  $b$  (coeficientes angular e linear) resultavam em funções não plotáveis.

Depois do experimento 3, o plotador sensorial foi submetido a alterações significativas na sua estrutura mecânica que resultaram numa ferramenta mais leve e pequena, utilizada no experimento 4.

O experimento 4 contou com a participação de Alice novamente.

Após o experimento 4, observamos que Alice, ao comparar o plotador sensorial ao utilizado por ela no experimento 1, declara “sentir melhor as quadrículas”, o que é bastante significativo para nossa pesquisa. Alice consegue localizar no plotador a reta traçada para a equação  $y=0,5x + 2$ .

Consideramos que o objetivo deste trabalho de pesquisa foi atingido, visto que o plotador sensorial projetado e construído, permitiu plotar gráficos táteis de funções polinomiais reais de primeiro grau, e favoreceu o acesso a esse conceito matemático por sujeitos cegos ou com baixa visão.

Este trabalho de pesquisa permitiu a construção de uma ferramenta plotadora de gráficos táteis dinâmicos. Esse dinamismo se apresenta principalmente quando o gráfico está sendo construído no plotador e o usuário pode acompanhar esse processo utilizando os seus sentidos para perceber características como: posição e inclinação.

O plotador sensorial contribuiu para que os alunos com comprometimento da acuidade visual, sujeitos desta pesquisa, pudessem perceber como se dá a construção do gráfico da função, o que pode favorecer o processo de ensino e aprendizagem na sala de aula de matemática.

O programa do PC ofereceu um conjunto de quatro janelas suspensas: o painel de controle, a folha de funções, a folha de programação e a folha de desenho. Com esse conjunto de opções, ampliam-se as possibilidades de elaboração de atividades que para o controle e construção de gráficos no plotador sensorial.

A resposta sonora produzida pelo programa PC permite um ajuste da velocidade da fala que favorece e auxilia o aluno cego ou de baixa visão na elaboração e acompanhamento da plotagem do gráfico.

O foco do nosso trabalho foi projetar e desenvolver o plotador sensorial para favorecer o acesso de sujeitos com comprometimento da acuidade visual aos conceitos matemáticos de gráficos de funções polinomiais reais de primeiro grau, no entanto, outras aplicações em que recursos gráficos sejam exigidos, como, por exemplo, Geometria e Estatística, poderão ser pesquisadas.

Outras pesquisas que envolvam o trabalho colaborativo entre cegos e não cegos permitirão identificar novas características para melhorar e ampliar o uso do plotador sensorial.

Nossa pesquisa buscou outras formas de promover a inclusão de pessoas cegas ou com comprometimento da acuidade visual nos ambientes escolares, utilizando as novas tecnologias para este fim.

## REFERÊNCIAS

---

AINSCOW, M. **Entrevista com mel Ainscow**. CRE Mario Covas/SEE-SP. Disponível em: [http://www.crmariocovas.sp.gov.br/ees\\_a.php?t=002](http://www.crmariocovas.sp.gov.br/ees_a.php?t=002). Acesso em 13 jan. 2011.

ANDREZZO, K. L. **Um estudo do uso de padrões figurativos na aprendizagem de álgebra por alunos sem acuidade visual**. 2005. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática).- Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2005.

BELARMINO, J. (2004) **Aspectos comunicativos da percepção tátil: a escrita em relevo como mecanismo semiótico da cultura**. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Comunicação e Semiótica da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2004.

\_\_\_\_\_. (2009) **O que percebemos quando não vemos?** Fractal: Revista de Psicologia, v. 21 – n. 1, p. 179-184, Jan./Abr. 2009.

\_\_\_\_\_. (2011). **Braille e semiótica: Um diálogo relevante** Disponível em: [www.bocc.ubi.pt](http://www.bocc.ubi.pt). Acesso em: 10 out. 2011.

BENGALA LEGAL. **Acessibilidade Legal. O que é um display Braille?** Disponível em: <<http://acessibilidadelegal.com/33-display-braille.php>>. Acessado em 12/09/2011.

BOLITE FRANT, J. et. al. **Tecnologia e nova matemática: Este gráfico existe?** III HTEM – História e tecnologia no ensino de matemática – PUC, São Paulo-SP, 2006.

BONATTI, J. A.; SAMPAIO, M. W.; BONATTI F.A.Z.; SANTOS, M.C.L., KARA-JOSÉ, N. **Responsabilidade social em oftalmologia: interdisciplinaridade e inclusão na visão subnormal**. Rev Med (São Paulo). 2007 out.-dez.;86(4):195-200.

BORGES, J. A. S. **Do Braille ao DosVox - diferenças nas vidas dos cegos brasileiros**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009. 327 p. Tese.

\_\_\_\_\_. **Impactos das tecnologias de informação sobre os Deficientes Visuais – em Políticas Públicas, Educação, Tecnologia e Pessoas com Deficiências.** Org. Shirley Silva e Marli Vizim. Mercado das Letras (ABL) – São Paulo: 2003.

BRASIL. **A construção do conceito de número e o pré-soroban.** Ministério da Educação, Secretaria de Educação Especial. Brasília: 2006.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=438&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=438&id_pagina=1)> Acesso em: 22 de junho de 2010.

\_\_\_\_\_. Presidência da República. **Lei Nº 7.853.** Brasília: 24 DE OUTUBRO DE 1989.

CALORE, A.C.O. **As “ticas” de “matema” de cegos sob o viés institucional: da integração a inclusão.** 2008 Rio Claro. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática). Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2008.

CALVE, T., MAUERBERG-DECASTRO, E. **Contribuição da percepção háptica no controle postural de crianças.** CALVE, T., MAUERBERG-DECASTRO, E.. Contribuição da percepção háptica no controle postural de crianças. Motriz. Revista de Educação Física. UNESP, Brasil, 11, nov. 2006. Disponível em: <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/motriz/article/view/82/53>. Acesso em: 21 Abr. 2012.

COBB, P.; CONFREY, J.; DISESSA, A.; LEHRER, R.; SCHAUBLE, L. **Design experiments in education research.** COBB, P.; CONFREY, J.; DISESSA, A.; LEHRER, R.; SCHAUBLE, L. Design experiments in education research. Educational Researcher, v.32, n.1, p. 9-13, 2003.

COLLINS, A. M. **Towards a design science of education.** In E. Scanlon & T. O’Shea (Eds.), New directions in educational technology (pp. 15-22). Berlin: 1992.

CRE - MARIO COVAS **Educação inclusiva.** Centro de Referência em Educação. Disponível em: <[http://www.crmariocovas.sp.gov.br/ein\\_l.php?t=001](http://www.crmariocovas.sp.gov.br/ein_l.php?t=001)>. Acessado em: 27/08/2011.

DAMÁSIO, A. **O mistério da consciência: do corpo e das emoções ao conhecimento de si. Tradução Laura Teixeira Motta.** São Paulo: Companhia das Letras, 2000.

DESIGN BASED RESEARCH COLLECTIVE (DBRC) **Design-Based Research: An emerging paradigm for Educational Inquiry**. Educational Research, V.32, 1, 2003. pp. 5-8.

DRISOSTES, C. A. T. (2005). **Design iterativo de um micromundo com professores de matemática do Ensino Fundamental**. São Paulo:PUC, 300 f. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática).

DUTRA, C. P. **Entrevista** Brasília:INCLUSÃO - Revista da Educação Especial - Out/2005. p.p. 56.

FERNANDES, S. H. A. A. **Das experiências sensoriais aos conhecimentos matemáticos: uma análise das práticas associadas ao ensino e aprendizagem de alunos cegos e com visão subnormal numa escola inclusiva**. 2008. 274 f. Tese (Doutorado em Educação Matemática), Pontifícia Universidade Católica, São Paulo, 2008.

\_\_\_\_\_. **Uma Análise Vygotskyana da Apropriação do Conceito de Simetria por Aprendizes sem Acuidade Visual**. 2004. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática), Pontifícia Universidade Católica, São Paulo, 2004.

FERREIRA, G. L. **O Design Colaborativo de uma Ferramenta para Representação de Gráficos por Aprendizes sem Acuidade Visual**. 2006. Dissertação (Mestrado Profissional em Educação Matemática), Pontifícia Universidade Católica, São Paulo, 2006.

FONSECA, D. V. **Estudo do processo de aprendizagem do deficiente visual no reconhecimento de caracteres, utilizando estimulação eletrotátil**. UNICAMP, Faculdade de Engenharia Elétrica. São Paulo: mar/1995. Dissertação.

FREEDOM SCIENTIFIC **Optacon Documentation**. Disponível em <[http://www.freedomscientific.com/fs\\_downloads/optacon.asp](http://www.freedomscientific.com/fs_downloads/optacon.asp)>. Acesso em 17 set. 2011.

FRICKE,J.; BAEHRING,H. **Design of a tactile I/O tablet and its integration into a personal computer system for blind users**. Fern Universitaet Hagen. Germany,1993.

GIL, M. **Deficiência Visual. Cadernos da tv escola.** Brasília: MEC. Secretaria de Educação a Distância.

GOMES, H. **Vítimas de doenças degenerativas da retina voltam a enxergar graças a um chip implantado dentro de seus olhos.** Istoé, São Paulo, v.2139, p.102-103, nov. 2010.

GUIJARRO, M. R. B. **Inclusão: um desafio para os sistemas educacionais.** In: ENSAIOS PEDAGÓGICOS. Construindo escolas inclusivas, Brasília, 2005. Brasília: MEC, SEESP, 2005. 180p. p. 7-14.

JONES, E. G. **The sensory hand.** Disponível em: <<http://brain.oxfordjournals.org/search?submit=yes&fulltext=braille&x=15&y=14>>. Acesso em: 12 nov. 2010.

LEMOS, E. R. **A educação de excepcionais: evolução histórica e desenvolvimento no Brasil.** 1981. 197p. Tese (Livre-Docência). Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, 1981.

LIRIO, S. B. **A tecnologia informática como auxílio no ensino de geometria para deficientes visuais.** UNESP, Rio Claro : [s.n.], 2006.

MANTOAN, M. T. E. **A hora da virada.** Revista Inclusão. Revista da Educação Especial, Brasília, v.1, p.24-28, out/2005.

MARCELLY, L.; PENTEADO M. G. **A escrita matemática em braille.** XIII CIAEM-IACME, Recife, Brasil, 2011.

MARIANO, V.; SILVA, J. F.; SILVA, J. B. A.; NASCIMENTO, J. F. L.; SILVA, J. C. B. **Simulação da dinâmica e identificação de parâmetros em uma mesa xy de máquina ferramenta.** Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica. Vol. 10, N.º 1, pp. 57-70, 2006

MEC/SEESP. **Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva** Documento elaborado pelo Grupo de Trabalho nomeado pela Portaria Ministerial nº 555, de 5 de junho de 2007, prorrogada pela Portaria nº 948, de 09 de outubro de 2007.

Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/politica.pdf>

MEDEIROS, A. A.; NASCIMENTO JÚNIOR, M. J.; JAPIASSÚ JUNIOR, F.; OLIVEIRA, W. C.; OLIVEIRA, M. S. M. **Uma estratégia para o ensino de associações de resistores em série/paralelo acessível a alunos com deficiência visual.** Disponível em:

< <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0460-1.pdf>>.

Acesso em: 22 set. 2011.

NEMIROVSKY, R.; TIERNEY, C.; WRIGHT, T. **Body motion and graphing.** Annual Conference of the American Educational Research Association. San Francisco, 1998.

OCHAITA, E; ESPINOSA, M. A. (1995) **Desenvolvimento e intervenção educativa nas crianças cegas ou deficientes visuais.** In: COLL, C.; PALACIOS, J.; MARCHESI, A. (Org.). Desenvolvimento Psicológico e Educação: Necessidades educativas especiais e aprendizagem escolar. Tradução Marcos A. G. Domingues. Porto Alegre: Artes Médicas, v. 3 Cap. 8, pp. 150-170,.

\_\_\_\_\_. (2004) **Percepção, Ação e Conhecimento nas Crianças Cegas.** In: COLL, C.; PALACIOS, J.; MARCHESI, A. (Org.). Desenvolvimento Psicológico e Educação: Necessidades educativas especiais e aprendizagem escolar. Tradução Marcos A. G. Domingues. Porto Alegre: Artes Médicas, v. 3 Cap. 8, pp. 183-197.

OLIVEIRA, F.; COWAN, H.; FANG, B. **Enabling Multimodal Discourse for The Blind.** in Intl Conf. on Multimodal Interfaces. 2010. Beijing, China: ACM.

OLIVEIRA, H. B. L. **Introdução ao Conceito de Função para Deficientes Visuais com o Auxílio do Computador.** 2010. Dissertação (Mestrado em Ensino de Matemática), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

OLIVEIRA, M. K. **Vygotsky. Aprendizado e desenvolvimento. Um processo sócio-histórico.** São Paulo: Scipione, 1998.

OMS **Deficiência visual e cegueira** Disponível em:

<[http://translate.google.com.br/translate?hl=pt-](http://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&langpair=en%7Cpt&u=http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/)

[BR&langpair=en%7Cpt&u=http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/](http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/)>

Acesso em: 26/03/2012.

PALIS, G. L. R. (2010). **O conhecimento tecnológico, pedagógico e do conteúdo do professor de Matemática.** Educação Matemática Pesquisa, 12(3), p. 432-451.

PAVANI, G. J. **Projeto S.A.B.E.R. Sistema de alfabetização em braile que ensina recreativamente.** Colaror@ - Revista Digital da CVA - RICESU, ISSN 1519-8529, v.1,n.1, fev/2002.

RADFORD, L.; DEMERS, S.; GUSMÃO, J.; CERULLI, M. **Calculators, graphs, gestures na production of meaning.** Proceeding of the conference of the International groups for the psychology of Mathematics education. PME 27, University of Hawaii, 2003. v. 4, pp. 55-62.

RESTREPO, L. C. **O direito à ternura.** Petrópolis: Vozes, 1998.

RODRIGUES, D. **Desenvolver a educação inclusiva. Dimensões do desenvolvimento profissional.** In: Inclusão: Revista da Educação Especial. Brasília, 2008. Brasília: MEC, SEESP, 2008. v. 4, n. 2, p. 1-58, jul./out. 2008.

ROSA, A. **Caracterizacion de la ceguera y las deficiencias visuales.** In A. Rosa & E. Ochaíta (Eds.), Psicologia de la ceguera, 2 (p. 19-49). Madrid: Alianza Editorial, 1993.

ROYAL NATIONAL COLLEGE FOR THE BLIND. **Talking Tactile Technologies.** Disponível em: <http://www.rncb.ac.uk/products-t3-talking-tactile-technology.php>. Acesso em: 12 out. 2010.

SÁ, E. D.; CAMPOS, I. M.; SILVA, M. B. C. **Atendimento educacional especializado. Deficiência visual.** SEESP/SEED/MEC. Brasília:2007.

SALES, C. O. R. **Explorando função através de representações dinâmicas: narrativas de estudantes do ensino médio.** 2009. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática), Universidade Bandeirante de São Paulo, São Paulo, 2009.

SANTOS,N.; VENTURA,C.; CÉSAR, M. **Alunos cegos nas aulas de matemática.** Universidade de Lisboa, Departamento de Educação & Centro de Investigação em Educação da Faculdade de Ciências.  
Disponível em: <[www.apm.pt/files/\\_Co\\_SantosVentura&Cesar\\_4867d5e05f0ce.pdf](http://www.apm.pt/files/_Co_SantosVentura&Cesar_4867d5e05f0ce.pdf)>  
Acesso em: 10 mar. 2012.

STADELMAN, J.M. - **Education of the Blind.** *The Catholic Encyclopedia*, Volume V – 1909. Disponível em: <<http://www.newadvent.org/cathen/05306a.htm>>  
Acesso em: 15 jan. 2012.

TIRESIAS. **Braille Cell Dimensions.** Disponível em: <[http://www.tiresias.org/research/reports/braille\\_cell.htm](http://www.tiresias.org/research/reports/braille_cell.htm)>. Acesso em: 5 abr. 2011.

TREVARTHEN, C. **The concept and foundations of infant intersubjectivity.** In: S. BRATEN (Ed.), *Intersubjective communication and emotion in early ontogeny.* Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. **Design science research methods and patterns : innovating information and communication technology.** Vaishnavi, V. and Kuechler, W. (2007). *Design science research methods and patterns : innovating information and communication technology.* ISBN 978-1-4200-5932-8

VERDUGO, M. A. **Personas con deficiencias, discapacidades y minusvalías.** In: *Personas con discapacidad – Perspectivas psicopedagógicas y rehabilitadoras*, 1 (p. 1-35). Madrid: 1995.

VYGOTSKY, L.S. **A formação social da mente.** São Paulo: Martins Fontes, 1984.

\_\_\_\_\_ **Obras escogidas V - Fundamentos da defectología.** Traducción: Julio Guillermo Blank. Madrid: Visor, 1997. (coletânea de artigos publicados originalmente em russo entre os anos 1924 e 1934).

ZUFFI, E.M. **Alguns aspectos do desenvolvimento histórico do conceito de função.** *Educação Matemática em Revista*. n. 9, a. 8, 2001.

## ANEXOS

## ANEXO A – Medidas utilizadas na construção das celas Braille

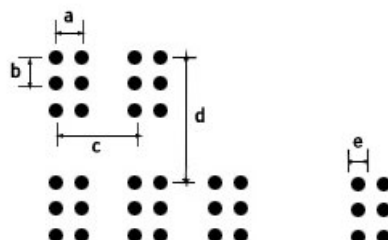


Tabela A.5 - Medidas da cela Braille

	Horizontal ponto a ponto mm	Vertical ponto a ponto mm	Célula a Célula mm	Linha a Linha mm	Diâmetro do ponto mm	Altura do ponto mm
	a	b	c	d	e	
<i>American Library of Congress</i>	2.5	2.5	6.25	10.0		0.5
<i>American National Library for the Blind</i>	2.28	2.28	6.09	10.16		0.5
<i>American Standard Sign</i>	2.3 - 2.5	2.3 - 2.5	6.1 - 7.6	10.0 - 10.1	1.5 - 1.6	0.6 - 0.9
<i>Australia Sign</i>	2.29 - 2.50	2.29 - 2.54	6.00 - 6.10	10.16 - 10.41	1.40 - 1.50	0.46 - 0.53
<i>Californian Sign</i>	2.54	2.54	5.08			0.64
<i>ECMA Euro Braille</i>	2.5	2.5	6.0	10.0	1.3	0.5
<i>Electronic Braille</i>	2.4	2.4	6.4			0.8
<i>English Interline (alternate print and braille lines)</i>	2.29	2.54	6.00	12.70	1.4 - 1.5	0.46
<i>English Interpoint (braille on both sides of the paper)</i>	2.29	2.54	6.00	10.41	1.4 - 1.5	0.46
<i>English Giant Dot</i>	3.25	3.25	9.78	17.02	1.9	0.81
<i>Enlarged American</i>	2.54	2.54	7.24	12.70		
<i>Enhanced Line Spacing</i>	2.29	2.29	6.1	15.24		
<i>French</i>	2.5 - 2.6	2.5 - 2.6		>10	1.2	0.8 - 1.0
<i>German</i>	2.5	2.5	6.0	10.0	1.3 - 1.6	≥0.5
<i>International Building Standard</i>	2.5	2.5	6.1 - 7.6	10.0 - 10.1	1.5 - 1.6	0.6 - 0.9
<i>Italian</i>	2.2 - 2.5	2.2 - 2.5			1.0	0.5
<i>Japanese</i>	2.13	2.37	5.4	13.91	1.43	0.5
<i>Jumbo American</i>	2.92	2.92	8.76	12.70	1.7	0.53
<i>Korean</i>	2.0	2.0	5.0	6.0	1.5	0.6
<i>Latvian</i>	2.5	2.5	5	10.0	1.6	0.45
<i>Marburg Medium</i>	2.5	2.5	6.0	10.0	1.3 - 1.6	
<i>Marburg Large</i>	2.7	2.7	6.6	10.8	1.5 - 1.8	
<b>Português</b>	<b>2.29</b>	<b>2.54</b>	<b>6.0</b>	<b>10.41</b>	<b>1.4</b>	
<i>Small English</i>	2.03	2.03	5.38	8.46	1.4 - 1.5	0.33
<i>Spanish</i>	2.5	2.5	6.0	10.0	1.2	
<i>Standard American</i>	2.34	2.34	6.22	10.16	1.45	0.48
<i>Swedish</i>	2.5	2.5	6.0	10	1	0.25

Fonte: TIRESIAS (2011)