

A CONSTRUÇÃO SOCIOTECNICA DO PPF:
UM PROCESSADOR DE PONTO FLUTUANTE PARA O
IBM 1130 DESENVOLVIDO NO NCE/UFRJ

Fátima Ferrão dos Santos

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Núcleo de Computação Eletrônica
Mestrado em Informática

Orientador: Ivan da Costa Marques
PhD

Rio de Janeiro
2004

SANTOS, Fátima Ferrão

A construção sociotécnica do PPF: um processador de Ponto Flutuante para o IBM 1130 desenvolvido no NCE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2004.

IX, 127 p.

Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Núcleo de Computação Eletrônica / Instituto de Matemática, 2004.

Orientador: Ivan da Costa Marques

1. Processador de Ponto Flutuante 2. Estudos da Ciência e Tecnologia 3. Redes Sociotécnicas 4. Informática – Teses.
I. Marques, Ivan da Costa (Orient.). II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Núcleo de Computação Eletrônica. III. Título

A CONSTRUÇÃO SOCIOTECNICA DO PPF: UM
PROCESSADOR DE PONTO FLUTUANTE PARA O IBM 1130
DESENVOLVIDO NO NCE/UFRJ

Fátima Ferrão dos Santos

Dissertação submetida ao corpo docente do Instituto de Matemática da
Universidade Federal do Rio de Janeiro – IM/NCE/UFRJ, como parte dos
requisitos à obtenção do grau de Mestre.

Rio de Janeiro, de de 2004.

Aprovada por:

Prof. Ivan da Costa Marquês, Ph.D. – Orientador

Prof. Carlos Alvarez Maia, Doutor

Prof. Fernando Manso, Ph.D.

Prof. Henrique Luiz Cukierman, Doutor

DEDICATÓRIA

A meu marido Marcos e filhas Camila e Cintia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Aristóteles (i.m.) e Odaléa, e especialmente ao meu marido Marcos, que sempre me apoiaram em todos os cursos que procurei fazer em minha vida.

Agradeço a Márcia Ferlin, minha amiga, que muito me incentivou a fazer o mestrado.

Agradeço a meus professores, Fernando Manso e Ivan Marques, que apresentaram os Estudos da Ciência e Tecnologia, ministrando com rigor e entusiasmo as disciplinas.

Agradeço aos demais professores por seus ensinamentos, em especial ao prof. Henrique Cukierman, que me ajudou a iniciar a construção desse trabalho.

Meu obrigado ao comandante Antonio Didier, que me atendeu com muita gentileza, me ajudando com informações.

Agradeço a toda a equipe de engenheiros do NCE e Microlab que participou da construção do PPF, pela atenção nas entrevistas, especialmente os engenheiros Mário Martins e Antonio Menezes.

Muitas pessoas colaboraram nessa trajetória, como a equipe da secretaria do NCE, Dra Rosa Dias Lages (ANS) e meus amigos. A todos, o meu obrigado.

Ao prof. Ivan da Costa Marques, meu orientador, um agradecimento especial pela dedicação e paciência na orientação do trabalho, sempre amável e motivador, muito me ajudou para que fosse concluído.

RESUMO

SANTOS, Fátima Ferrão. **A construção sociotécnica do PPF: um processador de ponto flutuante para o IBM 1130 desenvolvido no NCE/UFRJ.** Orientador: Ivan da Costa Marques, Rio de Janeiro: UFRJ/IM/NCE; 2004. Dissertação (Mestrado em Informática)

O Processador de Ponto Flutuante – PPF – foi desenvolvido pelo Núcleo de Computação Eletrônica da UFRJ nos anos 1970s. A abordagem sociotécnica nos conduzirá à análise da construção do processador de ponto flutuante como um fenômeno onde o “social” e o “técnico” atuam inseparavelmente, onde natureza e sociedade, tecnociência e cultura estão indissociavelmente fundidas em algo híbrido. Partindo dessa abordagem contaremos uma história de como o PPF foi simultaneamente tradução/ translação de progresso tecnológico – permitia executar o cálculo de operações com números reais no computador IBM-1130 utilizando hardware, o que permitia um ganho de até 50 vezes no desempenho da máquina original (originalmente, essas operações eram realizadas por software) e de autonomia tecnológica, objetivos de segurança e economia de divisas conforme os interesses da academia, dos militares e dos administradores de estatais.

ABSTRACT

SANTOS, Fátima Ferrão. **A construção sociotécnica do PPF: um processador de ponto flutuante para o IBM 1130 desenvolvido no NCE/UFRJ.** Orientador: Ivan da Costa Marques, Rio de Janeiro: UFRJ/IM/NCE; 2004. Dissertação (Mestrado em Informática)

In the 1970s, a floating-point unit for the IBM 1130 computer, denominated PPF, was developed at the Núcleo de Computação Eletrônica of the Federal University of Rio de Janeiro (MCE/UFRJ). A sociotechnical approach will lead us to an analysis of this development as a process where “social” and “technical” elements come together inseparably: Nature and Society, science and politics melt into hybrids. In our history, the PPF became a coherent object by means of a set of translations involving simultaneously technological progress (arithmetic operations of real numbers were executed by the PPF up to 50 times faster than by the original IBM supplied software), technological autonomy, national security, hard currency saving, and academic, military, and state owned companies managerial interests.

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A – Entrevista Engenheiro Mário Martins

ANEXO B – Entrevista Engenheiro Antonio Menezes

ANEXO C – Entrevista Comandante Antonio Didier

ANEXO D – Anúncio do Processador de Ponto Flutuante

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 – Caracterizando abordagem sociotecnica	4
CAPÍTULO 2 – Negociando aritmética	18
A complexidade da aritmética de ponto flutuante	21
Representação dos números	24
Decidindo aritmética de ponto flutuante	27
Anomalias da aritmética de ponto flutuante	30
Os diferentes limites de transbordo e esvaziamento	34
Anomalias na subtração	36
A construção coletiva do padrão ANSI-IEEE 754	40
CAPÍTULO 3 – Laboratórios	50
PPF: Vista aérea	51
As habilidades necessárias	55
O híbrido PPF IBM-1130	57
Comunicação entre máquinas	60
A transferência do NCE para a Microlab	65
CAPÍTULO 4 – Traduções do PPF	72
CONCLUSÃO	88
REFERENCIAS	98
ANEXOS	102

INTRODUÇÃO

Em 1972, os pesquisadores do Departamento de Energia Elétrica da COPPE UFRJ aprofundavam seus estudos sobre circuitos integrados. No NCE, os pesquisadores preocupavam-se com o desenvolvimento de sistemas.

Contarei uma história do desenvolvimento de um Processador de Ponto Flutuante ou PPF, como ficou conhecido, pelo Núcleo de Computação Eletrônica da UFRJ no início dos anos 1970s, o projeto de um artefato que funcionava acoplado e integrado ao IBM-1130 executando as operações aritméticas de números fracionários de dez a cinquenta vezes mais rápido do que a máquina original. Isto permitia dobrar a capacidade de processamento científico do IBM-1130 e, ainda, prolongar a vida útil de um parque de computadores de cerca de cem máquinas instaladas em universidades e empresas de engenharia. O protótipo do NCE/UFRJ foi replicado pela empresa Microlab e cinco unidades foram instaladas fora do NCE com o apoio do BNDES.

A narrativa se propõe a seguir uma metodologia de análise sociotécnica do desenvolvimento científico e tecnológico. O método que vou descrever é a teoria ator-rede, proposta por Michel Callon e John Law, entre outros, que propõe uma visão do mundo onde a sociedade, as organizações, os agentes e as máquinas, são resultado de um processo de associação e justaposição de elementos heterogêneos em uma rede. Esta associação é precária e instável, e dura enquanto as relações que a formarem forem fortes o suficiente. O presente trabalho se propõe a analisar o desenvolvimento do processador de ponto flutuante pelo NCE, acompanhando o trabalho de um grupo de engenheiros e professores universitários: os trabalhos e reuniões, as controvérsias e desafios enfrentados, as negociações realizadas.

Os cinco capítulos estão divididos da seguinte forma:

O primeiro capítulo apresenta a abordagem sociotécnica descrita por Bruno Latour em seu livro *Ciência em Ação*. As principais considerações sobre a metodologia, essenciais para o entendimento deste trabalho, são apresentadas de forma sucinta. A abordagem sociotécnica nos mostra que no Processador de Ponto Flutuante, o “social” e o “técnico” atuam inseparavelmente e estão indissociavelmente fundidos em algo híbrido.

O segundo capítulo apresenta uma breve explicação sobre a complexidade da aritmética de números fracionários e porque motivo ela é muito mais lenta que uma operação com números inteiros. Narra uma história sobre as negociações que foram realizadas e os embates travados até que o padrão ANSI-IEEE 754 sobre aritmética de ponto flutuante¹ fosse concluído. Uma rede sociotécnica foi tecida para que o padrão fosse aprovado. Essa rede descreve o mundo que esse artefato (o computador e os cálculos com números fracionários) estruturam e mobilizam. Nesta história, os atores são as entidades que participam das negociações e os objetos técnicos (o padrão) são negociados; são modificados em função do estado de forças e acordos alcançados entre os atores.

No terceiro capítulo, observamos as habilidades necessárias e as dificuldades para construir uma unidade de PPF. Essas dificuldades não são menores quando desejamos transferir o objeto novo para a indústria, a fim de replicá-lo e vendê-lo em centenas de cópias. No laboratório, onde construímos os protótipos, contamos com recursos especiais. A remuneração é diferente, as motivações também. É o lugar onde, a heterogeneidade e a complexidade dos elementos que concorrem para a fabricação do conhecimento é administrada. Essa ambiente difere

¹ Para os profissionais de informática, os números fracionários são conhecidos como números de ponto flutuante.

consideravelmente do ambiente da indústria e por esse, entre outros motivos, a passagem do artefato do laboratório para a indústria nem sempre é tranqüila.

O quarto capítulo apresenta a noção de tradução / translação. No campo dos Estudos de Ciência e Tecnologia (ECT – *Science and Technology Studies*), a equivalência entre objetivos heterogêneos, equivalência não imposta por ninguém, e que é, conseqüentemente, conjectural, é chamada de tradução/translação. O desenvolvimento do processador de ponto flutuante é o resultado de traduções de elementos tão heterogêneos como economia de dólares, desenvolvimento de tecnologia, associação universidade-empresa, financiamento ao ensino pesquisa, conclusão de mestrados, circuitos impressos. Traduções são arbitrárias e resistem ou não quando submetidas a testes de força. Analisaremos, portanto, as provas de força a que foi submetido o PPF e como resistiu.

O quinto capítulo é a conclusão. A história do PPF é resultado de definições e decisões feitas pelos atores que constituíram as redes sociotécnicas em torno dele. Não existe uma explicação puramente técnica ou uma determinação social que justifique o seu desenvolvimento. O conhecimento das redes, das relações complexas que as formam e das traduções/translações operadas nos levará a compreender sua construção.

CAPITULO 1

Caracterizando abordagem sociotécnica

O desafio de falar sobre qualquer área da ciência nos leva a uma reflexão sobre a idéia de desenvolvimento. Usualmente, à figura do cientista atribui-se a responsabilidade de cumprir as promessas de construção de um mundo melhor. A partir de teorias de difícil compreensão são produzidas ferramentas tecnológicas capazes de transformar a vida do homem. Não se trata de uma constatação otimista, mas de um fato.

Os progressos da tecnologia são apresentados em jornais e outras mídias como se, submissos, percorressem um caminho pré-determinado que possui sua própria lógica e que obedece às leis da natureza. Entretanto, teorias e objetos tecnológicos são construídos coletivamente e são indissociavelmente naturais, sociais, políticos e econômicos.

Nem sempre essa construção coletiva da ciência foi considerada. Somente a partir do século XX, a concepção construtivista da ciência passou a entender os fatos científicos como uma construção coletiva. Entretanto, apesar da idéia de influências sociais na atividade do cientista, o ideal de ciência continuava a ser a objetividade e a racionalidade já encontradas no século XIX, ou antes.

Para Bruno Latour e outros estudiosos do campo das *Science Studies*, no entanto, nunca existiu a ciência separada da política, economia e sociedade. Para eles, a tecnociência é resultado de um processo de construção coletiva, onde controvérsias são travadas, alianças estabelecidas, onde o social e o técnico atuam inseparavelmente. Não existe um caminho pré-definido, mas sim o resultante das alianças estabelecidas por atores humanos e não-humanos.

Nosso mundo é composto de híbridos, mistos que devemos entender e explicar como tais. Não podemos explicar a ciência sem falar ao mesmo tempo do homem porque caminham juntos e interagem. (LATOURE, 1994, p. 21).

A abordagem sociotécnica nos conduzirá à análise da construção do processador de ponto flutuante como um fenômeno onde o “social” e o “técnico” atuam inseparavelmente, onde natureza e sociedade, tecnociência e cultura estão indissociavelmente fundidas em algo híbrido.

O presente capítulo pretende apresentar a metodologia de análise sociotécnica do desenvolvimento científico e tecnológico. Por onde podemos começar um estudo de ciência e tecnologia? Segundo Bruno Latour, a escolha de uma porta de entrada depende crucialmente da escolha do momento certo. Ele propõe que o estudo sobre ciência e tecnologia seja feito retornando no tempo e no espaço aos momentos e lugares onde e quando o fato ou artefato estava sendo construído.

Latour sugere que utilizemos uma “máquina do tempo”. Quando retornamos no tempo, observamos os fatos e máquinas durante a sua construção. Para ilustrar sua proposta, Latour retorna no tempo, para “o período no qual o DNA deixa de ter uma forma característica passível de ser mostrada numa tela por programas de computador”. O computador sequer existe. Ainda há dúvidas sobre a noção de seqüência, uma vez que na época ainda não se sabe com certeza se o DNA desempenha papel importante na transmissão de material genético entre gerações.

Em 1951, Jim Watson e Francis Crick, analisando o padrão de raios X dispersos a partir de uma molécula de DNA, conseguiram reconstruir a estrutura atômica do DNA e identificar sua natureza de dupla hélice. Hoje, no início de um novo século, obtemos imagens do DNA tridimensionais utilizando computação gráfica. Naquela ocasião, o computador ainda não se transformara em caixa-preta, sendo também objeto de pesquisas de inúmeros cientistas, conforme vasta bibliografia sobre o assunto.

No início do século XXI, projetos como o Genoma permitirão fornecer tradução do código genético, permitindo a partir desse código genético armazenado em computador, sintetizar o DNA de uma espécie e recriá-la. Sabemos hoje que, não caberia mais – como fez Crick, em 1953, no dia em que, com Watson, descobriu a estrutura da molécula de DNA – proclamar que havia descoberto o “segredo da vida”. Atualmente, os pesquisadores sabem que existe algo mais na célula além do DNA.

A mesma biologia molecular, que nos deu a seqüência completa do genoma humano, também nos fez repensar o conceito de gene, cuja materialização definitiva parecia haver sido conseguida com a sucessão dos achados de Beadle e Tatum que criaram, em 1941, a expressão a um gene, uma proteína; de Avery e colaboradores, que concluíram em 1944, que os genes são feitos de DNA; e de Watson e Crick, que chegaram à estrutura em dupla hélice, em 1953.²

Estudamos ciência em ação, e não a ciência ou a tecnologia pronta, para isso, ou chegamos antes que fatos e máquinas se tenham transformado em caixas-pretas³, ou acompanhamos as controvérsias que as reabrem. (LATOUR, 2000, p. 421)

A impossível tarefa de abrir a caixa-preta se torna exeqüível, senão fácil, quando nos movimentamos no tempo e no espaço até encontrarmos o nó da questão, o tópico no qual cientistas e engenheiros trabalham arduamente. Essa é a primeira decisão que teremos que tomar: nossa entrada no mundo da ciência será pela porta de trás, a da ciência em construção, e não pela porta mais grandiosa da ciência acabada. (LATOUR, 2000, p. 17).

Ao olhar para um fato ou artefato pronto e acabado é difícil reconstruir a rede e detectar os atores envolvidos no processo. O que se vê é um objeto pronto que se destaca da produção. Latour utiliza o conceito da cibernética de caixa-preta para denominar esse objeto pronto. Quando lidamos com uma caixa-preta, não é preciso conhecer seu

² ALMEIDA, D. F., professor da UFRJ, entrevista em 23/03/2003, UFRJ, parte de uma série de entrevistas para compor a monografia da disciplina Fatos e Artefatos do mestrado em Informática.

³ Esse conceito é usado sempre que uma máquina ou um conjunto de comandos se revela complexo demais. Em seu lugar, utiliza-se a caixa-preta sobre a qual não é preciso saber nada, senão o que dela entra e o que dela sai.

conjunto de comandos ou processos, bastando conhecer o que nela se põe e o que dela se tira.

Segundo Latour, “Aquilo que constitui fatos universalmente aceitos, já foram precárias afirmações feitas por um ou alguns indivíduos no mundo todo”.

Não tentaremos analisar os produtos finais, um computador, uma usina nuclear, uma teoria cosmológica, uma dupla hélice, uma caixa de pílulas anticoncepcionais, um modelo econômico; em vez disso, seguiremos os passos de cientistas e engenheiros nos lugares e nos momentos em que planejam uma usina nuclear, desfazem uma teoria cosmológica, modificam a estrutura de um hormônio para contracepção ou desagregam os números usados num novo modelo econômico. Em vez de transformar em caixa-preta os aspectos técnicos da ciência e depois procurar influências e vieses sociais; percebemos como era mais simples estar ali antes que a caixa se fechasse e ficasse preta. Com esse método simples, precisamos apenas seguir o melhor de todos os guias: os próprios cientistas, em sua tentativa de fechar uma caixa-preta e abrir outra. (LATOURE, Ciência em Ação, p.39).

Na construção da ciência, os cientistas muitas vezes acatam os fatos como estão nos livros. Entretanto, por vezes, na tentativa de salvar seus modelos e invenções, eles passam de uma regra “acate os fatos sem discutir” para outras mais estratégicas, “procure um ponto fraco” ou “escolha alguém em quem acreditar”. Disciplina, afiliação, *curriculum vitae*, avaliação psicológica, tudo é misturado nas conclusões do cientista. Aquilo que hoje constituem fatos universalmente aceitos, já foram precárias afirmações feitas por duas pessoas. Segundo Latour há uma qualidade que depende crucialmente de fatores como local, oportunidade e estimativa do mérito das pessoas e daquilo que elas estão dizendo.

No início da década de 1950, Barbara McClintock com seu trabalho sobre genética do milho, revelou a existência dos elementos de transposição nos cromossomos. No entanto, a rede tecida por Bárbara era pequena demais e não resistiu, não foi aceita no seu tempo. Seu valor e seu alcance somente vieram a ser reconhecidos na década de

1980, pela via da genética de microorganismos. “Felizmente McClintock ainda vivia. Com mais de 80 anos, recebeu o Prêmio Nobel por sua descoberta antes ignorada e até desprezada”.⁴

O restante da história da dupla hélice pode ser resumido com o apoio de outros competidores, cientistas que buscavam a forma do DNA. A cada pessoa que se convence, a estrutura fica mais “correta”, torna-se robusta e irrefutável. Latour afirma que, “Uma sentença pode se tornar mais fato ou mais ficção, dependendo da maneira como serão utilizadas por outras sentenças”. Essa idéia, de “produção coletiva”, é ponto de partida para o entendimento do método que estamos falando.

Por si só uma sentença não é nem fato nem ficção, torna-se uma ou outra mais tarde, graças a outras sentenças. (LATOUR, Ciência em Ação, p.45).

O destino de fatos e máquinas está nas mãos dos consumidores finais; suas qualidades, portanto, é consequência, e não causa, de uma ação coletiva. (LATOUR, Ciência em Ação, p.423).

Através do enunciado acima, denominado por Latour de primeiro princípio de sua metodologia, nos posicionamos no ângulo que considera que o destino das coisas que dizemos e fazemos está nas mãos de quem as usar depois. Comprar um equipamento ou acreditar em um fato, sem duvidar, fortalece a situação do que está sendo comprado ou acreditado, robustece-o como caixa preta. Quando observamos somente o equipamento, por suas propriedades “internas” não é possível decidir se são caros ou baratos, resistentes ou fracos, eficientes ou ineficientes. Essas características somente são adquiridas pela incorporação em outras afirmações, outros processos e outras máquinas. Da mesma forma, Latour nos ensina que isso acontece com as afirmações dos outros em nossas mãos e das nossas afirmações nas mãos dos outros, o que torna a construção de fatos e máquinas um processo coletivo. Esse

⁴ ALMEIDA, D. F., professor da UFRJ, entrevista em 23/03/2003, UFRJ, parte de uma série de entrevistas para compor a monografia da disciplina Fatos e Artefatos do mestrado em Informática

aspecto coletivo da construção da tecnociência pode ser analisado em dois sentidos, para trás e para frente.

Não raro, quando abordamos a construção de um fato, nos deparamos com possíveis controvérsias em relação à mesma. Ao imaginarmos a ocorrência de alguma contestação por parte de um discordante, sentimo-nos, no mínimo, confusos quanto à veracidade dos fatos que nos foi apresentada. Quando isso ocorre, o cientista utiliza recursos externos, outras “caixas-pretas” e afirmações de outros cientistas, que reforçam a construção do fato ou artefato. Ele se apóia em outros nomes, outros laboratórios, outras redes, que tornam a sua argumentação robusta, dificultando o questionamento por parte de possíveis discordantes. Esse é o sentido “para trás”. O sentido “para frente” refere-se ao apoio da coletividade fazendo com que sua afirmação torne-se um fato. Conforme Latour, a possibilidade de uma afirmação se tornar um fato científico vai depender do que vai acontecer depois que ela é enunciada. Outros atores irão se pronunciar, qualificando ou modificando a afirmação original. Esse movimento pode ocorrer em modalidades positivas, que fortalecem, ou negativas, que enfraquecem a afirmação original. Por outro lado, a afirmação pode ser simplesmente esquecida e perde as chances de se estabelecer como um fato. Latour reforça que, “alguns artigos ou artefatos são citados por artigos ulteriores sempre com modalidades positivas. Essa eventualidade, extremamente rara, ocorre sempre que uma assertiva é aceita, sem modificações, por muitos outros. O destino de uma afirmação depende do comportamento dos outros”. O depoimento do professor Silva Freira do Laboratório de Mecânica de Turbulência do PEM/COPPE/UFRJ ilustra essa relação.

Sempre tive como modelos de pesquisadores os professores M. Gaster, L. Bradbury e W. Criminale. Eles devem ter publicado, em média, 50 artigos ao longo de suas vidas. A diferença, é que, grande parte desses artigos virou referência. Apenas um artigo de Mike, onde ele mostra a relação entre instabilidades temporais e

espaciais, possui mais de 440 citações. Lês inventou a técnica de anemometria de fio-quente pulsátil e Bill, apesar de só ter publicado 3 artigos nos últimos seis anos, possui um artigo de 1996 que tem 120 citações. Saul Kaplun publicou apenas dois artigos em sua vida, ambos com mais de 120 citações. (SILVA FREIRE, entrevista)⁵

Os cientistas e engenheiros falam em nome de novos aliados que conformaram e alistaram; representantes entre outros representantes, com esses recursos inesperados, fazem o fiel da balança de forças pender em seu favor. (LATOURET, Ciência em Ação, p.423).

Cada elemento da cadeia de entidades necessária para passar a caixa-preta adiante pode agir de maneiras diversas: podem simplesmente largá-la, ou aceitá-la como é, ou mudar as modalidades que a acompanham, ou modificar a afirmação, ou apropriar-se dela e colocá-la em um contexto completamente diferente. Para estabelecer um fato, é preciso imaginar a cadeia de milhares de pessoas necessárias para transformar a primeira afirmação numa caixa-preta e o ponto em que cada uma delas pode ou não, de maneira imprevisível, transmitir a afirmação, modificá-la, alterá-la ou transformá-la em artefato. De fato, todos os atores estão fazendo alguma coisa com a caixa-preta. Na melhor das hipóteses, eles não a transmitem pura e simplesmente, mas acrescentam elementos seus ao modificarem o argumento, fortalecê-lo e incorporá-lo em novos contextos. Ele não só é coletivamente transmitido de um ator para outro, mas é coletivamente composto pelos atores.

Quando o construtor de fatos consegue alistar interessados em seu projeto, usualmente obtém financiamento, laboratório, estudantes e pesquisadores. O problema passa então a ser o seguinte: manter esses elementos unidos. Para atá-los com firmeza, é preciso um protótipo que funcione e torne-se útil, um equipamento convencional e replicável. O que aconteceria se esse protótipo não conseguisse manter juntos os elementos inicialmente reunidos? Eles se dispersariam com a mesma

⁵ SILVA FREIRE, professor da UFRJ, entrevista realizada em junho de 2003, parte de uma série de entrevistas para compor a monografia da disciplina Fatos e Artefatos do mestrado em

facilidade, ou ainda mais rapidamente, do que foram reunidos. Cada um dos elementos seguiria seu próprio caminho: os interessados em pesquisa científica financiariam outros projetos, os estudantes de mestrado concluiriam suas teses sobre outros temas, o laboratório seria o ambiente de outras pesquisas e cursos, o dinheiro escoaria para outro projeto e o próprio construtor de fatos, se dedicaria a outras ocupações.

Assim, o número de interesses alistados é grande, desde que costurados e amarrados. Para tornar a justaposição de interesses das pessoas algo duradouro é necessário atar o destino da alegação com tantos elementos congregados que ela resista a todas as tentativas de desagregação. Do contrário, os discordantes abrirão a caixa-preta, mexerão nela, perderão o interesse ou simplesmente a abandonarão. Para resistir à discordância, ou seja, para resistir ao que chamamos testes de força e manter os grupos interessados, outros elementos devem ser amarrados com eles: chips, eletrodos, etc. Essas alianças transcendem os limites existentes entre seres humanos e coisas. Sempre que um aliado é abandonado, é preciso recrutar substitutos; sempre que um elo forte rompe uma aliança que seria útil, devem ser introduzidos novos elementos para agregá-la e utilizar os elementos dissociados.

Os termos comumente usados para contar essas histórias de construção da ciência são trajetória, invenção, desenvolvimento. Inovação muitas vezes é a palavra usada para a fase seguinte, na qual alguns protótipos são preparados para serem copiados em milhares de exemplares, que serão vendidos mundo afora. A distinção entre invenção e inovação não é nítida. “Em 1897, o gerente da MAN, Diesel e os primeiros investidores acharam que o desenvolvimento do motor de combustão mais eficiente havia terminado e a inovação estava

começando. Entretanto, passaram-se mais dez anos para ser atingido tal estágio, período em que Diesel faliu⁶.

A propagação de caixas-pretas no tempo e no espaço é paga por um aumento no número de elementos que devem ser interligados. Para propagarem-se no espaço e tornarem-se duradouros todos precisamos das ações dos outros. Latour nos ensina que para construir uma caixa-preta é necessário além de alistar outras pessoas, controlar o comportamento delas para tornar previsíveis suas ações. Para obter sucesso nessa meta, os construtores de fato irão utilizar táticas para aumentar sua margem de manobra conforme descritas a seguir.

A primeira tática consiste em deslocar objetivos. Ainda que sejam explícitos, o significado dos objetivos das pessoas pode ser interpretado de muitas maneiras. Um grupo que tem uma solução está à procura de um problema. Assim ocorreu quando os engenheiros do Xerox PARC compreenderam que os computadores não eram amistosos com seus usuários e criaram uma tela de computador inteiramente baseada em figuras e ícones que seriam usados para abrir programas e manipulá-los.

A segunda tática consiste em inventar novos objetivos. Essa tática é usada sempre que os consumidores são “convencidos” que precisam passar a consumir e utilizar um novo artefato. Ocorre constantemente no lançamento de novos produtos. Ocorreu com o lançamento da TV, do rádio, do transistor, do computador e do laser.

Inventar novos grupos é a terceira tática. A capacidade de inventar objetivos é limitada pela existência de grupos já definidos. “Pasteur e os sanitaristas, quando, pela primeira vez, falaram sobre um micróbio como causador de doenças, encararam a sociedade como um grupo constituído por grupos de pessoas doentes, pessoas imunizadas, grupos de mosquitos, entre outros; ao contrário da divisão que era usualmente

⁶ LATOUR, B., *Ciência em Ação*, 2000, São Paulo, UNESP, p. 174.

utilizada até então”⁷. Naquela época, a sociedade era classificada entre ricos e pobres e as ações dos sanitaristas eram comumente interpretadas como discriminatórias em relação aos pobres. Eles inventaram novos grupos.

Na quarta tática, o que se pretende é tornar invisível o desvio. Através de translações de interesses, novas interpretações desses interesses são canalizadas pelas pessoas por diferentes direções. Através dessa tática, o construtor de fatos, consegue amarrar e relacionar problemas de âmbito restrito a outros bem mais amplos.

Finalmente, o construtor de fatos precisa preocupar-se com a principal tática: vencer as provas de atribuição. Todo o processo de alistamento poderá ser desperdiçado se o mérito for atribuído a outros atores. Assim, faz-se necessário distinguir, de um lado, o recrutamento de aliados para a construção coletiva de um fato ou de uma máquina e, de outro, as atribuições de responsabilidade àqueles que fizeram a maior parte do trabalho. O cientista precisa aceitar os pontos de vista e lutar para que todos apareçam como simples aplicadores de suas idéias e seguidores de suas diretrizes.

Os grupos interessados podem ser controlados à medida que, movimentando-se através de uma série de translações, acabam sendo capturados por um elemento completamente novo, tão fortemente amarrado que nada pode soltá-lo. Esse ponto em comum é uma máquina ou uma estratégia em que as forças usadas mantêm-se mutuamente sob controle, de tal modo que nenhuma delas possa escapar do grupo. Complicadas negociações precisam estar em curso o tempo todo, em ambos os casos, para que as alianças provisórias não se rompam.

Na abordagem sóciotécnica, não há distinção entre fato científico e objeto técnico ou artefato. O problema do construtor de fatos é o mesmo

⁷ LATOUR, B., *Ciência em Ação*, 2000, São Paulo, UNESP, p. 58

do construtor de objetos: como convencer outras pessoas, como controlar o comportamento delas, como reunir recursos suficientes num único lugar, como conseguir que o objeto ou a afirmação se dissemine no tempo e no espaço. Em ambos os casos, são os outros que têm o poder de transformar a alegação ou objeto num todo duradouro.

Esse conjunto de estratégias utilizadas pelo cientista para controlar o processo resume o conceito de tradução. De certa forma, trata-se do convencimento de outras pessoas de que seus interesses e objetivos são comuns. É através dessas traduções que uma sentença torna-se mais fato ou mais ficção. Ela terá se tornado mais fato se for inserida numa premissa fechada, óbvia, consistente e amarrada; que leve a alguma outra consequência, menos fechada, menos óbvia, menos consistente e menos unificada.

Nunca somos postos diante da ciência, da tecnologia e da sociedade, mas sim diante de uma gama de associações mais fracas e mais fortes; portanto, entender o que são fatos e máquinas é o mesmo que entender o que as pessoas são. (LATOUR, Ciência em Ação, p.423).

A tradução é a interpretação dada pelos construtores de fato aos seus interesses e aos das pessoas que eles alistam. Por esse motivo, há uma contínua negociação em andamento, mantendo os elos que, como metáforas, representam as várias traduções que eles utilizam para manter esses elos atados. Esse modelo de *translação* é o oposto do modelo de *difusão* onde os fatos têm *vis inertia* própria. Parecem mover-se sem a ajuda das pessoas.

No modelo de difusão prevalece a idéia que os fatos se difundem com a força própria. Ninguém conforma ciência e tecnologia, a não ser no começo do processo, com os primeiros cientistas. Por isso, para conciliar inércia e inovação, é necessária a noção de descoberta. Nesse caso, os fatores sociais são passivos, resistindo à difusão de idéias. A sociedade é simplesmente um meio de diferentes resistências percorrido

por idéias e máquinas. O princípio da difusão ignora as longas translações necessárias para convencer os elementos humanos e não-humanos. Os seguidores dos construtores de fatos, que inicialmente resistiam, simplesmente mudam de posição, como num passe de mágica.

No modelo de translação, o cientista ou engenheiro se apresenta como o negociador de um sistema de alianças que mantêm coisas e pessoas amarradas e transforma uma afirmação ou objeto tecnológico em caixa-preta. É possível traçar seu *sociograma*, representado pelas pessoas ou atores humanos e seu *tecnograma*, representado pelas coisas ou atores não-humanos. A caixa-preta fica entre dois sistemas de alianças e é ponto de passagem obrigatório interligando os dois e que, quando é bem sucedida concentra em si, sólidas associações. Como consequência, essas caixas-pretas passam a ser consideradas provas irrefutáveis ou fatos inegáveis.

Segundo Latour, as caixas-pretas não são fechadas como consequência da verdade. Para ele, é preciso entender a rede tecida e as associações que foram feitas. Somente depois de terminada a controvérsia e fechada a caixa-preta, a Natureza pode ser chamada como aliada final. A naturalização do fato é consequência e não causa do fechamento da caixa-preta.

Como a solução de uma controvérsia é a causa da representação da Natureza e não sua consequência, nunca podemos utilizar essa consequência, a Natureza, para explicar como e por que uma controvérsia foi resolvida. (LATOUR, Ciência em Ação, p.421).

Da mesma forma, a sociedade também não pode cumprir o papel de solucionadora das controvérsias e ser a responsável pelo fechamento das caixas-pretas. Não podemos usar a sociedade para explicar como e porque uma controvérsia foi resolvida. Devemos considerar simetricamente os esforços para alistar e controlar recursos humanos e não-humanos. Na construção do fato, onde participam um sociograma e

um tecnograma, o sociograma altera o resultado final e também é alterado pelas negociações feitas. Não podemos portanto aceitar o determinismo natural ou o social. Na abordagem sociotécnica, um conhecimento se sustenta quando as associações são fortes. Para cada fato ou artefato existe uma rede tecida que descreve o mundo que este artefato estrutura e mobiliza.

A teoria ator-rede, termo proposto por *Michel Callon*⁸ e *John Law*⁹, entre outros, propõe uma visão do mundo onde a sociedade, as organizações, os agentes e as máquinas, são resultado de um processo de associação e justaposição de elementos heterogêneos, em uma rede que tende a neutralizar as resistências e as inclinações divergentes destes elementos. Esta associação é precária e instável, e dura enquanto as relações que a formarem forem fortes o suficiente.

Os atores são as entidades que participam das negociações e os objetos técnicos são negociados; são modificados em função do estado de forças e acordos alcançados entre os atores. Os objetos podem participar de outras redes como atores do processo. Segundo Callon, os objetos e os atores que participam do processo evoluem juntos; uma alteração no meio do processo altera a tecnologia e os atores envolvidos. Os objetos técnicos são modificados em função dos acordos alcançados entre os atores. Os atores, por outro lado, também são modificados; seus interesses, projetos e considerações iniciais são transformados em função de outro ator com quem concordam.

A construção da ciência ocorre através dessas negociações e constantes transformações em ciclos de adoção e concepção. A concepção termina quando a convergência na rede é alcançada, ou seja, quando os atores estão de acordo. A convergência não é definitiva, mas

⁸ CALLON, M., “*Some Elements of a Sociology of Translation: the Case of the Scallops and Fishmen of St. Brieuc Bay*”, in Law(1986)

⁹ LAW, J., *Power, Action, and Belief: a New Sociology of Knowledge?*, Sociological Review Monograph, Londres, Routledge and Kegan Paul, 1986.

provisória. Uma caixa-preta que já foi fechada pode ser reaberta e todo o processo de concepção reiniciado. A ciência e a tecnologia estão sempre em movimento e em construção.

Para que ocorra essa convergência, Bruno Latour apresenta o conceito de tradução/ translação como o conjunto de estratégias utilizadas pelo construtor de fatos para controlar o processo. Assim, na abordagem sociotécnica, tradução/ translação é a interpretação que o construtor de fatos dá ao seu próprio interesse, postulando uma equivalência entre interesses heterogêneos. Esta equivalência não é imposta, é conjectural, mas tem a capacidade de enredar aliados que vêem seus interesses traduzidos no interesse do tradutor de fatos. Trata-se de convencer os aliados que seus objetivos são comuns.

Contaremos como o processador de ponto flutuante serviu de intermediário que conectou autonomia tecnológica, objetivos de segurança e economia de divisas conforme as traduções/ translações da academia, dos militares e do governo. Fiel à abordagem da tradução, a narrativa que se segue pretende ser uma instância da história da construção do processador de ponto flutuante.

CAPÍTULO 2

Negociando Aritmética

O matemático Leopold Kronecker¹⁰ escreveu certa vez: “Deus fez os números inteiros, tudo o mais é obra do homem”. Entretanto, nem as medidas dos objetos, ditos mundanos, nem as constantes da Física sujeitam-se à simplicidade dos números inteiros. Conseqüentemente, são números fracionários, e não números inteiros que aparecem na maior parte dos cálculos na engenharia e nos laboratórios. Para alguns matemáticos, esses números fracionários tornam o invisível visível¹¹. Sem eles, não há como compreender o que mantém o avião no ar. O que faz com que objetos caiam no chão quando os largamos é a gravidade. Mas são as equações newtonianas do movimento e da mecânica que nos permitem “ver” as forças invisíveis que mantêm a terra girando em torno do sol e que fazem com que uma maçã caia da árvore até o chão. Desde Newton, as equações diferenciais descrevem as minúsculas diferenças que ocorrem na forma ou propriedade de um objeto à medida que se desenvolve. Equações diferenciais fornecem descrições de fenômenos físicos, de tempestades acompanhadas de trovoadas e raios a foguetes ou partículas subatômicas. O cálculo infinitesimal funciona tornando visível o infinitamente pequeno. Os cientistas ouvem a voz da Natureza nas palavras de Newton e Leibnitz que descrevem o cálculo.

Os físicos já usaram números fracionários para entender o passado distante em que o universo foi criado, naquilo que chamamos de Big Bang. Atualmente, utilizam esses mesmos números para tentar calcular o destino final do universo.

Esses cálculos realizados pelos construtores de fatos e de objetos tecnológicos são executados por computadores, cuja história ganhou impulso, na segunda metade do século XX, com o desenvolvimento do

¹⁰ BELL, T., *Homens da Matemática*, New York, Simon e Schuster de Eric, 1986, p.477

transistor que conduziu ao desenvolvimento da física de estado sólido. O suporte militar às pesquisas deu forma e rapidez ao desenvolvimento dos computadores digitais. Partiu da meta de solucionar problemas de cálculo de balística para reduzir as falhas humanas no controle de armas utilizadas em aeronaves até a automação do comando, que defendeu a utilização de supercomputadores como garantia de sucesso em caso de confronto nuclear¹². Desde então, as simulações por computador são indispensáveis para inúmeros campos de pesquisa. Os computadores se ajustam idealmente a modelar equações diferenciais porque calculam como um objeto muda a cada ínfima unidade de tempo, dando-nos uma seqüência de instantâneos que prevêm seu comportamento. Dependemos de computadores para analisar estrelas de nêutrons e buracos negros. “A simulação por computador é nossa única esperança de transformar a astronomia numa ciência experimental”, segundo Bruce Fryxell, da NASA.¹³

Quando uma proteína não pode ser cristalizada, não é possível usar cristalografia por raios X para determinar sua estrutura. Os cientistas são forçados a usar a teoria quântica e a eletrostática para encontrar a estrutura de uma proteína. As complexas equações que determinam a estrutura dessas proteínas só podem ser resolvidas com o uso de computadores. “Computadores podem ser o único meio de calcular a estrutura e, em conseqüência, as propriedades de uma grande classe de proteínas”.¹⁴ Computadores são também os recursos que dispomos para determinar se o acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera, produzido pela queima de combustíveis fósseis, pode fazer com que as temperaturas se elevem e desencadeiem o aquecimento global.

¹¹ DEVLIN, K.T., *The Language of Mathematics: Making the invisible visible*, New York, W.H. Freeman & Company, 1998

¹² Para o assunto computadores e Guerra Fria ver Edwards, Paul N., *The Closed World Computers and the Politics of Discourse in Cold War América*, London – England, The MIT Press, 1996.

¹³ *Science News*, 15 de abril de 1995, p. 235.

¹⁴ ALMEIDA, D. F., professor da UFRJ, entrevista em 23/03/2003, UFRJ, parte de uma série de entrevistas para compor a monografia da disciplina Fatos e Artefatos do mestrado em Informática.

O paradigma da exatidão e da segurança em cálculos tem sido associado aos computadores. No entanto, a confiabilidade de cálculos executados por computadores tem sido também questionada, principalmente se o objeto de estudo são números fracionários. Entre os profissionais de informática os números fracionários são chamados “números de ponto flutuante” em oposição aos inteiros que são chamados “números de ponto fixo”.¹⁵

Diferentes propostas de implementação da aritmética de ponto flutuante foram negociadas até que o padrão do *Institute of Electrical and Eletronics Engineers* fosse concluído e aceito. Esse padrão não foi deduzido matematicamente, a partir de axiomas e corolários. Foi negociado.

Segundo Callon, “o processo de desenvolvimento tecnológico pode ser modelado segundo ciclos de concepção/adoção, onde a dinâmica do desenvolvimento é uma seqüência de decisões precedida de negociações”. A dinâmica do desenvolvimento tecnológico compõe-se de negociações seguidas de acordos sobre as técnicas ou objetos técnicos, realizadas pelos atores. Cada ator pode ser “descrito em termos de sua própria visão do objeto técnico que será colocado em circulação.” (CALLON, 1995, p. 310)

Na mesma proporção que “cresce a utilização de computadores para garantir a segurança nacional ou para definir e influenciar a vida das pessoas, cresce a demanda por provas matemáticas que garantam a exatidão do *hardware* implementado para execução de cálculos em computadores”. (MacKENZIE, 1996, p. 165) Se considerarmos que essas provas são negociadas, a responsabilidade de garantir a exatidão dos

¹⁵ Deveríamos dizer no Brasil “números de vírgula flutuante” uma vez que, quando escrevemos os números, usamos a vírgula e não o ponto, como fazem os americanos e ingleses, para separar a parte inteira da parte fracionária. Note também que quando todo um universo numérico tem sua parte fracionária escrita com um número fixo de algarismos, este universo não contém propriamente números fracionários, pois pode trivialmente ser convertido para um universo de

cálculos realizados em computadores passa então a ser de engenheiros, empresas e advogados, que substituem os matemáticos nessa tarefa, pelo menos quando tratamos de aritmética de ponto flutuante. “Essa transferência desperta especial interesse se analisada sob o ponto de vista da sociologia do conhecimento ¹⁶.”

O presente capítulo apresenta uma breve explicação sobre os números fracionários e porque sua implementação em computadores é complexa. Apresenta também as negociações que foram realizadas e os embates travados até que o padrão ANSI IEEE-754 para aritmética de ponto flutuante fosse concluído. Uma rede sociotécnica foi tecida para que o padrão fosse aprovado. Essa rede descreve o mundo que este artefato (o computador e os cálculos com números fracionários) estruturam e mobilizam. Os atores são as entidades que participam das negociações e os objetos técnicos (o padrão) são negociados; são modificados em função do estado de forças e acordos alcançados entre os atores.

2.1 A complexidade da aritmética de ponto flutuante

No desenvolvimento de estruturas lógicas-eletrônicas que crescem a partir de um bit, isto é, de uma grandeza que só assume dois valores possíveis (0 ou 1)¹⁷, as exigências práticas de confiabilidade alta e custo baixo são atingidas antes para as operações com números inteiros (ponto fixo) do que para números fracionários (ponto flutuante). Assim como no ensino da aritmética primária, também na engenharia dos computadores aprende-se e consegue-se primeiro operar com inteiros e somente a partir

números inteiros. Por exemplo, se expressarmos todos os preços em centavos, teremos somente números inteiros nos supermercados.

¹⁶ MacKENZIE D., *Knowing Machines Essays on Technical Change*, London England, The MIT Press. 1996, p.165.

¹⁷ Na língua falada ou escrita, desde há alguns séculos, utilizamos os 10 algarismos do sistema decimal. Por razões de simplicidade e confiabilidade os computadores usam o sistema binário, com 2 algarismos ou dígitos. Um bit é um dígito binário (*Binary digIT*).

deles lidar com as frações. Não surpreende, portanto, que a eletrônica dos primeiros computadores não tivesse a capacidade de fazer diretamente as operações aritméticas com números fracionários. No mundo digital, mais ainda do que nos bancos de escola primária, multiplicar, por exemplo, 314 por 108 e obter 379312 era simples e rápido. Entretanto, multiplicar 3,14 por 12,08 e obter 37,9312 era (e ainda é) relativamente complicado e lento.

Para representar um número de ponto flutuante, a engenharia dos computadores o divide em duas partes denominadas mantissa (m) e expoente (e). A mantissa indica os algarismos que compõem o número e o expoente indica a posição da vírgula. Esta representação diferenciada exige mais trabalho da agência calculadora¹⁸ que executa as operações aritméticas, pois além do cálculo da mantissa do resultado, exige que seja calculado também o expoente do resultado, como fica exemplificado na multiplicação abaixo:

Número	Expoente (e)	Mantissa (m)
3,14	1	314
12,08	2	1208
37,9312	2	379312

Dois problemas básicos em computação científica, relacionados à representação dos números, são a precisão e a excursão. A precisão é determinada pelo número de dígitos binários (*bits*) necessários para que o resultado possua um número de dígitos significativos conveniente. Se os dígitos são insuficientes, a perda progressiva de significância devido aos erros de truncamento ou arredondamento pode levar a um resultado sem significado. A precisão é função do número de dígitos da mantissa. A excursão é função do número de dígitos do expoente. A excursão dos

números é definida pelos valores extremos que os mesmos podem assumir; uma excursão muito pequena ocasiona freqüentemente o transbordo (*overflow*) ou esvaziamento (*underflow*) no resultado das operações aritméticas, requerendo intervenção do programador. O transbordo (*overflow*) ocorre quando o valor absoluto do dado a ser representado excede a capacidade de representação, porque o número de bits do expoente, neste caso positivo, é insuficiente para representar o dado. Um outro problema ocorre na região de números próximos ao zero, que tem o maior expoente negativo possível. Nesse caso, ocorre esvaziamento (*underflow*) quando o valor absoluto do dado a ser representado é menor que o menor valor absoluto representável. Quando isso ocorre, torna-se impossível representar o número, ocasionando uma descontinuidade na representação.

Os primeiros computadores projetados para computação científica utilizavam aritmética de ponto fixo e, por esse motivo, apresentavam excursão limitada, comumente o intervalo $(-1, +1)$, conforme a posição do ponto binário. Entretanto, nem todos os números podem ser representados no intervalo $(-1, +1)$. Esse problema da excursão era superado por uma técnica denominada escalamento. Escalar um problema equivale a transferi-lo para um intervalo determinado. Por exemplo, um problema resolvido no intervalo $(-1,+1)$ pode ser expandido de volta ao intervalo real.¹⁹

¹⁸ Estamos tomando emprestado de Michel Callon a expressão “agência calculadora” para realçar que a observação se aplica ao cálculo seja ele realizado por uma pessoa ou por um computador. CALLON, Michel, *The Laws of the Markets*, Londres, Blackwell, 1998.

¹⁹ No cálculo da integral de alguma função $f(x)$ entre os limites a e b , podemos transladar e comprimir uniformemente por algum fator B_p o intervalo (a, b) no unitário $(0,1)$ sobre o eixo x e comprimir uniformemente $f(x)$ sobre o eixo y por algum fator B_q maior do que o maior valor absoluto de $f(x)$ no intervalo (a, b) . A integral resultante é claramente menor que 1, em valor absoluto, como são todas as quantidades envolvidas no cálculo; desse modo todo o cálculo pode ser obtido através da multiplicação do resultado pelo fator B $(p+q)$. Mesmo nesse exemplo simples é necessário conhecer o máximo valor do integrando para se fazer uma transformação linear na função e escalá-la convenientemente.

Problemas mais complicados requerem análise mais minuciosa e podem tornar inviável escalar o problema. A aritmética em ponto flutuante solucionou os problemas com excursão limitada, uma vez que a excursão passa a ser independente do número de dígitos significativos. Por outro lado, outras decisões são necessárias na implementação da aritmética de ponto flutuante, como a representação de números negativos.

Segundo Callon, “os atores e as técnicas evoluem juntos porque cedo ou tarde, precisam achar um ajuste e entrar em acordo sobre suas opções favoritas”. (CALLON, 1995, p. 310) Como, então, evoluíram os atores e as técnicas de cálculo de números fracionários realizados por computadores? Inicialmente, é necessário apresentar, ainda que sucintamente, um resumo sobre a representação dos números.

2.2 Representação dos números

A primeira representação de números, denominada sinal magnitude, é composta pela magnitude ou o valor absoluto de um número representado em binário e um bit de sinal, usualmente o bit mais significativo, isto é, o bit mais à esquerda da representação. Por convenção, o bit de sinal 0 (zero) significa que o número é positivo e o bit 1 (um) representa número negativo. O valor dos bits usados para representar a magnitude independe do sinal, isto é, sendo o número positivo ou negativo, a representação binária da magnitude será a mesma, o que varia é apenas o bit de sinal.

Considerando a base que só assume dois valores, ou seja, a base binária com n bits, incluindo o bit de sinal; a representação em sinal magnitude permite 2^n representações entre valores $-(2^{n-1}-1)$ e $+(2^{n-1}-1)$. Essa representação apresenta algumas desvantagens, entre outras, exige

maior número de testes para realizar uma soma de dois números inteiros e possui duas representações para o zero.

Devido à complexidade dos algoritmos para os computadores operarem com números negativos quando se usa a representação em sinal magnitude, são comumente adotadas outras formas que facilitam e tornam mais eficiente a manipulação de operações aritméticas em computadores: as representações em complemento. Complemento é a diferença entre cada algarismo do número e o maior algarismo possível na base. Uma vantagem dessa representação é que a subtração entre dois números pode ser substituída pela sua soma em complemento. A representação de números positivos não tem qualquer alteração, isto é, é idêntica à representação em sinal magnitude. No entanto, a representação dos números negativos é obtida efetuando-se a subtração do complemento com cada algarismo do número. Sendo assim, calcular o complemento à “base-1” do número 297_{10} , significa calcular o complemento à 9 do número 297, isto é, 702_{10} . Da mesma forma, calcular o complemento à “base - 1” do número $3A7E_{16}$, representado na base hexadecimal, significa calcular o complemento à 15 do número, isto é, $C581_{16}$. Na aritmética binária, para se obter o complemento a 1 de um número binário, devemos subtrair cada algarismo de 1. Assim sendo, para calcular o complemento a 1 de um número binário 0011, realizamos a subtração $1111 - 0011$, cujo resultado é 1100. Na prática, o circuito lógico é ainda mais simples, haja vista que, na base binária, basta inverter o valor do bit para obter o complemento a 1. Essa característica, portanto, torna ainda mais fácil o projeto de um processador de ponto flutuante. Um exemplo da representação em complemento a 1 considerando 4 dígitos binários:

Número positivo	Complemento a 1	Número negativo	Complemento a 1
0	0000	0	1111
1	0001	-1	1110
2	0010	-2	1101
3	0011	-3	1100
4	0100	-4	1011
5	0101	-5	1010
6	0110	-6	1001
7	0111	-7	1000

Um processador de ponto fixo que utilize a base b e o complemento à $(b-1)$, considerando-se n bits, possui b^n representações e permite representar $b^n - 1$ valores. Assim como a representação sinal magnitude, há aqui, duas representações para o zero, configurando uma dificuldade na implementação do processador. Na aritmética em complemento a $(b-1)$, um número negativo estará representado por seu complemento. Assim, somar os números decimais $+ 123$ e $- 418$ equivale a somar 123 e 581 , cujo resultado 704 é um número negativo, isto é, o complemento a 9 de 295 . A subtração se transforma, nesta representação, em uma soma em complemento, isto é, a soma dos complementos do número positivo com o número negativo. Apesar dessa implementação ser mais simples, continuamos com duas representações para o zero.

Essa técnica evolui para uma terceira representação, em complemento à base, que é obtida subtraindo-se da base cada algarismo do número. Para se obter o complemento a 2 de um número binário, a regra geral nos diz para subtrair cada algarismo de 2 . Ora, seria o mesmo que subtrair cada algarismo de 1 (idêntico ao cálculo do complemento a 1) e depois somar 1 ao resultado. Calcular o complemento a 2 de um número binário 0011 com 4 dígitos. $1111 - 0011 = 1100$ (Complemento a

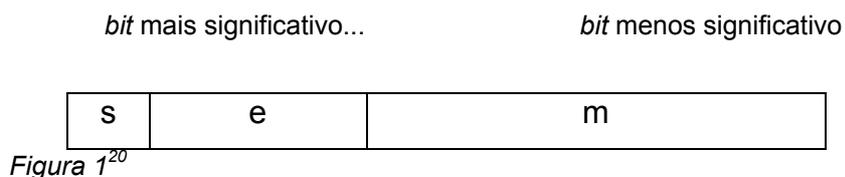
1) + 0001 apresenta o resultado 1101 (Complemento a 2). Um exemplo da representação em complemento à 2, de números binários de 4 dígitos:

Complemento a 2		Complemento a 2	
0	0000	-1	1111
1	0001	-2	1110
2	0010	-3	1101
3	0011	-4	1100
4	0100	-5	1011
5	0101	-6	1010
6	0110	-7	1001
7	0111	-8	1000

Nessa representação, não há duas representações para o valor 0. Conseqüentemente a faixa de números negativos representados é maior em uma unidade. A representação em complemento à base, considerando a base b , com n bits, permite representar b^n valores. A faixa de representação na base 2, em complemento a base, com n bits possui 2^n valores entre -2^{n-1} e $+2^{n-1}-1$. Na aritmética em complemento a base, um número negativo será representado por seu complemento a base. As vantagens dessas distintas representações influenciam o projeto do processador de ponto flutuante.

2.3 Decidindo aritmética de ponto flutuante

Uma das principais peculiaridades, que torna a aritmética de ponto flutuante mais complexa que a de ponto fixo, é a definição do número de bits a ser utilizado na notação de ponto flutuante. Este número depende da extensão total da palavra de dados específica da arquitetura do computador. A disposição mais usual apresenta o sinal da fração no bit mais à esquerda, na posição mais significativa seguido do expoente.



s-sinal, e-expoente m-mantissa

A disposição da fração e do respectivo sinal em partes distintas apresenta vantagens. A primeira vantagem é a possibilidade de comparação com os números de ponto fixo, onde o bit mais significativo é o bit de sinal. Como a fração será tratada como um número representado em ponto fixo, para a operação de comparação, parece razoável preservar a posição do sinal, reservando assim esta posição, para a manipulação do mesmo. Analogamente, a posição menos significativa é reservada para receber o *carry* de entrada requerido em certas complementações matemáticas. A terceira vantagem, se deve ao fato de ser o expoente mais significativo que a fração; assim, ao se representar o expoente à esquerda da fração permite-se que a comparação da magnitude relativa entre dois números possa ser realizada pelo mesmo algoritmo utilizado para números em ponto fixo.

A seguir, a questão a ser considerada é o da representação do expoente. A solução poderia adotar a representação em sinal magnitude, complemento a 1 ou complemento a 2. Entretanto, nesse caso, não seria possível realizar a comparação da magnitude relativa, uma vez que os números com expoentes negativos apareceriam maiores do que os números com expoentes positivos. Callon afirma que “os atores e as técnicas que participam das negociações evoluem juntos. As concepções e interesses dos atores serão modificados na medida que aceitam abandonar algumas de suas exigências e adotam as idéias de outros atores do processo.” (CALLON, 1995, p. 310) Foi assim que um outro sistema de representação, conhecido como polarização do expoente, ou,

em excesso, que adiciona uma constante q ao valor do expoente, tornou-se popular. Como consequência, o número em ponto flutuante passa a possuir internamente, somente expoentes positivos. Considerando-se um expoente representado em oito bits, 2^7 é adicionado a cada expoente de forma que esses variem de 00000000 a 11111111 com a representação 10000000 correspondendo ao valor do expoente igual a zero.

Existem pelo menos duas vantagens para o uso do expoente polarizado. Uma é a já citada possibilidade de comparação de magnitude relativa dos números, tornando essas operações mais eficientes no projeto do computador. De outra forma, seria necessário alguns ciclos extras e operações para realizar a comparação entre números representados em ponto fixo e em ponto flutuante. A segunda relaciona-se com a maneira pela qual o zero é representado na aritmética de ponto flutuante. A polêmica na representação do zero está relacionada com a representação de seu expoente. Para um grupo de projetistas, o número zero deve ser representado pela fração zero com o menor expoente possível. A razão dessa preferência é justificável. Supondo um número qualquer N , com expoente menor do que o número zero, na operação de soma entre esses dois números, durante o alinhamento de expoentes, bits significativos do resultado seriam perdidos, o que não ocorreria se houvesse a certeza que o número zero fosse sempre o de menor expoente possível. Essa controvérsia, assim como outras anomalias têm sido negociadas pelos matemáticos e pela indústria de computadores.²¹

Outra característica significativa, relacionada à representação em ponto flutuante, deve-se ao fato de existirem múltiplas representações de um dado número. Assim sendo, o número -0.0006734 pode ser expresso por -67.34×10^{-5} , assim como -6.734×10^{-4} ou -0.67434×10^{-3} . Essa decisão influencia o modo da execução de cálculos aritméticos no

²⁰ Representação de numeração ponto flutuante. Fonte: IEEE Standard for Binary Floating-Point Arithmetic, American National Standards Institute/Institute for Electrical and Electronics Engineers Standard 754-186, Institute for Electrical and Electronics Engineers, 1985, p.9.

²¹ MacKENZIE, *Knowing Machines Essays Technical Change*, London, MIT Press, 1996, p. 168

computador. Poderíamos utilizar a representação em sinal magnitude, complemento a 1 ou complemento a 2. Cada notação apresenta peculiaridades e vantagens. A seleção de uma representação exige a análise de uma série de compromissos. A representação em sinal magnitude e complemento a 1 possuem, cada qual, duas possíveis representações para o zero, que pode resultar em algumas dificuldades na implementação do *hardware*. Nesse caso, instruções adicionais são necessárias, por exemplo, para converter o -0 em $+0$. A representação em complemento a 2 possui outra singularidade. A configuração de bit com valor um seguido de zeros é seu próprio complemento. Ou seja, o domínio dos números positivos e negativos não é simétrico. Supondo o ponto binário à esquerda do número e o bit mais significativo o bit de sinal, teríamos o número -1 representado por $100\dots0$.

A representação de ponto flutuante no PPF, assim como no IBM-1130, utiliza mantissa de 32 bits, sendo 1 bit de sinal e complemento a 2 para representação de números negativos. O expoente *em excesso*, é obtido através da adição de 128 ao seu valor original, da mesma forma que ocorre no IBM-1130. Os valores da característica variam, portanto, de 0 a 255, e os valores do expoente real variam dentro do intervalo de -128 a $+127$.

Os exemplos apresentados representam uma pequena parte das inúmeras decisões que devem ser tomadas em um projeto de processador de ponto flutuante, o que o torna um projeto extremamente complexo. Uma análise sobre algumas anomalias e erros da aritmética de ponto flutuante também é necessária.

2.4 Anomalias da aritmética de ponto flutuante

Conforme apresentado na seção anterior, são inúmeras as decisões de um projetista de *hardware* para implementação da aritmética

de ponto flutuante. Base numérica, número de bits do expoente, número de bits da mantissa, representação do zero, algoritmos para tratamento de transbordo (*overflow*) e esvaziamento (*underflow*) e algoritmos para tratamento de erro como a tentativa de divisão por zero, são apenas alguns exemplos. Os responsáveis por essas decisões na indústria de computadores responderam de forma diferente a essas questões criando uma dificuldade na manipulação de números de ponto flutuante em diferentes computadores, mesmo quando uma linguagem de programação padrão é utilizada. Nesse caso, não houve inicialmente a busca de um acordo entre os atores da rede. Eles não modificaram suas concepções e interesses e também não abandonaram algumas de suas exigências para adotar a idéia de outros no processo.

Essas diferentes respostas são significativas quando violam as leis matemáticas, criando anomalias de cálculo, como exemplo $a/1$ com resultado diferente de a . Pequenas diferenças no cálculo realizado em máquinas distintas são consideradas normais. No entanto, em certas circunstâncias, há resultados significativamente diferentes para a mesma operação. Por mais estranho que isto possa parecer, computadores de fabricantes diferentes calculam resultados diferentes para operações com os mesmos números fracionários.

A adesão e a eventual preponderância de um padrão foi exemplarmente estudada por Donald Mackenzie²², que registra “um problema de juros compostos que produz quatro respostas diferentes quando os cálculos são feitos em calculadoras de quatro tipos diferentes: \$331,667.00, \$293,539.16, \$334,858.18 e \$331,559.38”. Segundo ele, erros tais como $y \times z \neq y \times z$ ou $z \neq 1 \times z \neq 0$ e $z = y$ mas $z - t \neq y - t$, além de $1/3 \neq 9/27$, ocorrem em inúmeros computadores. Nem sempre, essas anomalias estão relacionadas ao projeto de arquitetura do computador. Também podem ser causadas por formas peculiares de

²² MacKENZIE, Donald. 1996. *Knowing Machine – Essays on Technical Change*. The MIT Press. p. 168.

arredondamento ou podem ser resultado de formas distintas de tratamento do transbordo (*overflow*) e esvaziamento (*underflow*). Esvaziamento ou *underflow* não é o mesmo que imprecisão. Dados na faixa de *underflow* não podem ser representados. Ao contrário, o dado impreciso é representado, porém, com perda de precisão, ou seja, com perda de dígitos significativos. Um dos principais desafios para aquele que desejar projetar um processador é a inexistência de qualquer aviso para o programador ou usuário quando ocorre esse tipo de erro.

O professor W. Kahan²³ da Universidade da Califórnia em Berkeley, insatisfeito com o estado da arte de cálculos utilizando ponto flutuante em computadores, pesquisou essas anomalias, classificando-as como problemas graves na área da computação. Ele identificou erros resultantes de transbordo ou esvaziamento, tais como:

$$(y \times z) / y / z < 0.00001$$

$$y > 1 > z > 0, \text{ mas } y/z = 0$$

$$((y \times z) / y / z > 100000.$$

$$y / z < 0.99 \text{ mas } y - z = 0$$

No desenvolvimento de um processador de ponto flutuante, as definições como (não zero)/0 = ∞ ou (finito)/(∞) \rightarrow 0, influenciarão significativamente os resultados calculados por essa máquina. Não surpreende, portanto, que máquinas com projetos distintos operem resultados também distintos quando executam os mesmos cálculos. Se essas convenções não são acordadas entre os projetistas responsáveis por tais definições na indústria dos computadores, soluções diversas serão adotadas. Se tentarmos realizar o cálculo da fração contínua $R(z) := 7 - 3 / (z - 2 - 1 / (z - 7 + 10 / (z - 2 - 2 / (z - 3))))$ no intervalo

²³ KAHAN, W., Professor do Departamento de Matemática e Ciência da Computação da Universidade da Califórnia, Berkeley

($3.7 < R(z) < 11.8$), obteremos resultados corretos para todo z , considerando-se as seguintes convenções:

$$(\text{n\~{a}o zero})/0 = \infty; (\text{finito}) + \infty \rightarrow \infty; (\text{finito})/(\infty) \rightarrow 0.$$

Em muitas máquinas, no entanto, a tentativa de calcular $R(1)=10$, $R(2)=7$ ou $R(3)=4.6$, resulta em erro devido à tentativa de divisão por zero. Esse exemplo ilustra a importância da negociação dessas convenções entre os atores dessa rede. A aritmética usualmente utilizada pelos homens é insuficiente para determinar a aritmética de ponto flutuante. Ela não é um conjunto de regras que pode ser simplesmente aplicado e implementado em computadores. É apenas uma fonte (mais um ator não humano), que é implementada de forma distinta pelos vários atores que compõem essa rede. Segundo Callon, “nada pode ser considerado como definitivamente estável” e em alguns casos é necessário a introdução de leis, costumes e regras para esclarecer uma ambigüidade entre atores e técnicas.

A expressão seguinte, algebricamente equivalente à anterior, evita a divisão por zero, mas não evita o transbordo (*overflow*) do expoente quando z é suficientemente grande, menor que 3×10^9 em algumas máquinas. A função equivalente de $R(z)$ possui maior quantidade de operações aritméticas, além de ser menos precisa que a fração contínua.

$$R(z) := (((((7z_{-101})z+540)z_{-1204})z+958)=(((z_{-14})z+72)z_{-151})z+112)$$

Em geral, a forma de evitar o transbordo (*overflow*) e o esvaziamento (*underflow*), assim como a divisão por zero, na aritmética de ponto flutuante, é através de testes e desvios que farão parte do programa. O que torna os testes e desvios operações custosas é que o programador deve decidir previamente “onde” e “o que” testar. Ele deve antever toda e qualquer condição indesejável afim de evitá-la, ainda que a condição ocorra somente em uma máquina onde o programa irá executar.

Outras anomalias relacionadas ao cálculo de ponto flutuante originam-se das diferentes formas que computadores utilizam para lidar com números muito pequenos. Alguns os consideram iguais a zero durante a multiplicação e a divisão, mas não durante as operações de adição e subtração. Assim sendo, estas máquinas podem obter os resultados seguintes durante as operações:

$$z/0.004 \times 250. = 0 \text{ e } 0.004/z = \text{tentativa de divisão por zero}$$

entretanto

$$(z + z)/0.008 = (z + z) \times 125. \neq 0 \text{ e } 0.002/1(z + z) = (\text{número finito})$$

2.5 Os diferentes limites de transbordo e esvaziamento

Uma das principais considerações relacionadas à precisão e excursão refere-se à diferença de limites considerados por diferentes fabricantes de máquinas. O limite de transbordo (*overflow*) Λ é o maior, e o limite de esvaziamento (*underflow*) λ , o menor número positivo normalizado que pode ser representado na aritmética de ponto flutuante. Na engenharia dos computadores, a arquitetura de uma máquina pode possuir a precisão simples tão precisa quanto a precisão dupla de uma outra arquitetura. O conhecimento de “quão precisa a precisão simples é”, pode tornar-se mais um problema a ser administrado na aritmética de ponto flutuante. Um algoritmo que utilize precisão dupla para determinado cálculo pode falhar se, em determinada máquina a precisão dupla for inferior ao dobro de dígitos significativos da precisão simples. Uma solução, comumente utilizada, porém, pouco prática, é manter vários programas similares, cada um adequado à máquina específica.

A diversidade das faixas de representação dos principais fabricantes de computadores está apresentada na Tabela 1. O problema principal, no entanto, não é a diversidade, mas sim as diversas e

imprevisíveis reações que ocorrem quando esses limites são atingidos: algumas máquinas travam ou interrompem a execução, muitas consideram o resultado de um esvaziamento (*underflow*) igual a zero, outras sinalizam o transbordo (*overflow*) com resultado tendendo ao infinito (∞) ou ainda, consideram o resultado igual a zero. As diferentes decisões dos fabricantes de computadores são potenciais geradores dos diferentes resultados em máquinas distintas.

Máquina	Underflow λ	Overflow Λ
DEC PDP-11, VAX Formatos D e F	$2^{-128} \approx 2.9 \times 10^{-39}$	$2^{127} \approx 1.7 \times 10^{38}$
DEC PDP-10; Honeywell 600, 6000; Univac 110x single; IBM 709X, 704X	$2^{-129} \approx 1.5 \times 10^{-39}$	$2^{127} \approx 1.7 \times 10^{38}$
Burroughs 6X00	$8^{-51} \approx 8.8 \times 10^{-47}$	$8^{76} \approx 4.3 \times 10^{68}$
IBM 360, 370; Amdahl1; DG Eclipse M/600;...	$16^{-65} \approx 5.4 \times 10^{-79}$	$10^{63} \approx 7.2 \times 10^{75}$
Maioria das calculadoras Handheld	10^{-99}	10^{100}
CDC 6X00, 7X00, Cyber	$2^{-976} \approx 1.5 \times 10^{-294}$	$2^{1070} \approx 1.3 \times 10^{322}$
DEC VAX Formato G UNIVAC, 110X double	$2^{-1024} \approx 5.6 \times 10^{-309}$	$2^{1023} \approx 9 \times 10^{307}$
HP 85	10^{-499}	10^{500}
Cray I	$2^{-8192} \approx 9.2 \times 10^{-2467}$	$2^{8192} \approx 1.1 \times 10^{2466}$
DEC VAX Formato H	$2^{-16384} \approx 8.4 \times 10^{-4933}$	$2^{16383} \approx 5.9 \times 10^{4931}$
Burroughs 6X00 double	$8^{-32755} \approx 1.9 \times 10^{-29681}$	$2^{32780} \approx 1.9 \times 10^{29603}$

Proposta do Padrão IEEE INTEL i8087; Motorola 6839		
Simplex	$2^{-126} \approx 1.2 \times 10^{-38}$	$2^{127} \approx 1.7 \times 10^{38}$
Duplo	$2^{-1022} \approx 2.2 \times 10^{-308}$	$2^{1023} \approx 9 \times 10^{307}$
Extensão dupla	$\leq 2^{-16382} \approx 3.4 \times 10^{-4932}$	$\geq 2^{16383} \approx 5.9 \times 10^{4931}$

Tabela 1 – Limites de Over/Underflow da aritmética de ponto flutuante²⁴

2.6 Anomalias na subtração

A complexidade da implementação da aritmética de ponto flutuante pode ser demonstrada pelo cálculo da subtração a seguir:

$$(3.414 \times 10^0) - (7.809 \times 10^{-3}) = 3.406191 \times 10^0 \rightarrow 3.406 \times 10^0$$

que quando calculado conforme a Figura 1, leva ao resultado 3.407×10^0 .

$$\begin{bmatrix} 3.414 \times 10^0 \\ -7.809 \times 10^{-3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.414 \times 10^0 \\ -0.007809 \times 10^0 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 3.414 \times 10^0 \\ -0.007 \times 10^0 \end{bmatrix}$$

$$3.407 \times 10^0$$

Figura 1

Em geral, o menor operando é deslocado com objetivo de igualar os expoentes, que pode resultar na perda de dígitos significativos. Nesse caso, alguns dígitos significativos do menor operando são desprezados como resultado do deslocamento para a direita, anterior a execução da operação de subtração.

Um resultado melhor seria obtido se, antes de truncar os dígitos excedentes, ocorresse um arredondamento, conforme a Figura 2.

$$\begin{bmatrix} 3.414 \times 10^0 \\ -7.809 \times 10^{-3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.414 & \times 10^0 \\ -0.007809 \times 10^0 \end{bmatrix} \rightarrow \frac{\begin{bmatrix} 3.414 \times 10^0 \\ -0.008 \times 10^0 \end{bmatrix}}{3.406 \times 10^0}$$

Figura 2

O resultado da Figura 3, onde o subtraendo não será arredondado, mas somente o resultado da subtração, parece não apresentar ganho em relação ao cálculo da Figura 2. No entanto, essa conclusão é precipitada, conforme apresentado na Figura 4.

$$\begin{bmatrix} 3.414 \times 10^0 \\ -7.809 \times 10^{-3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.414 & \times 10^0 \\ -0.007809 \times 10^0 \end{bmatrix} \rightarrow \frac{\begin{bmatrix} 3.414000 \times 10^0 \\ -0.007809 \times 10^0 \end{bmatrix}}{3.406191 \times 10^0} \rightarrow 3.406 \times 10^0$$

Figura 3

O programa da Figura 4 apresenta o cálculo do $\arcsin(z)$ e $\arccos(z)$ em um ambiente simples que utiliza, por exemplo, a linguagem Fortran.

```

Real function arcsin(z): real z;
    if |z| > 1 then Exit with "Invalid Operand" message;
    if |z| = 1 then return sign(z) × (π/2)
        else return arctan(z/√(1 - z) × (1 + z))
end arcsin.

Real function arccos(z): real z;
    if |z| > 1 then Exit with "Invalid Operand" message;
    if |z| + 0.125 = 0.125 then return π/2;
    y := arctan(√(1 - z) × (1 + z)/z);
    if y < 0 then return π + y else return y
end arccos.

```

Figura 4

²⁴ KAHAN, W., *Why do we need a floating-point arithmetic standard?*, University of California at Berkeley, 1981, p.5.

O resultado do programa acima, que calcula $\arcsen(z)$ e $\arccos(z)$, para $z = 9.999 \times 10^{-1}$, depende crucialmente do valor de $1 - z$; cujo valor depende da subtração, ou seja, da forma como a subtração é realizada. Assim sendo, aplicando-se cada um dos métodos apresentados no projeto do processador de ponto flutuante, valores distintos serão calculados. Sabendo que essas formas distintas de cálculo podem ser implementadas, pelos diferentes fabricantes de equipamentos de cálculo, confirmamos a necessidade de negociações que resultem em um acordo ou um padrão para realizar esses cálculos.

A subtração realizada conforme a Figura 1, calcula 1.000×10^{-3} para $1 - z$, conforme apresentado na Figura 1A. O cálculo seguinte conduz ao resultado de $\arcsen(z) = 1.526 \times 10^0$ e $\arccos(z) = 4.468 \times 10^{-2}$.

$$\begin{bmatrix} 1.000 \times 10^0 \\ -9.999 \times 10^{-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.000 \times 10^0 \\ -0.9999 \times 10^0 \end{bmatrix} \rightarrow \frac{\begin{bmatrix} 1.000 \times 10^0 \\ -0.999 \times 10^0 \end{bmatrix}}{0.001 \times 10^0} = 1.000 \times 10^{-3}$$

Figura 1A

Resultados podem ser imprevisíveis em uma máquina que realize a subtração da forma ilustrada na Figura 2. Se tal máquina reconhece o resultado de $|9.999 \times 10^{-1}| < 1$, como parece razoável, então, o valor zero será considerado como resultado de $1 - z$, conforme mostrado na Figura 2A. Conseqüentemente, o resultado de $\arcsen(9.999 \times 10^{-1})$ encontra uma divisão por zero e o resultado torna-se imprevisível. O resultado de $\arccos(9.999 \times 10^{-1}) \rightarrow 0$ nesta máquina.

$$\begin{bmatrix} 1.000 \times 10^0 \\ -9.999 \times 10^{-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.000 \times 10^0 \\ -0.9999 \times 10^0 \end{bmatrix} \rightarrow \frac{\begin{bmatrix} 1.000 \times 10^0 \\ -1.000 \times 10^0 \end{bmatrix}}{0.000 \times 10^0} = 0$$

Figura 2A

$$\begin{bmatrix} 1.000 \times 10^0 \\ -9.999 \times 10^{-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.000 \times 10^0 \\ -0.9999 \times 10^0 \end{bmatrix} \rightarrow \frac{\begin{bmatrix} 1.0000 \times 10^0 \\ -0.9999 \times 10^0 \end{bmatrix}}{0.0001 \times 10^0} = 1.000 \times 10^{-4}$$

Figura 3A

A operação de subtração realizada conforme apresentado na Figura 3A é um pouco mais lenta, mas calcula a diferença $1 - z = 1.000 \times 10^{-4}$ livre de erros, que conduz ao resultado $\arcsen(9.999 \times 10^{-1}) \rightarrow 1.557 \times 10^0$ e $\arccos(9.999 \times 10^{-1}) \rightarrow 1.414 \times 10^{-2}$ que aproxima-se dos valores esperados: $\arcsen(0.9999) = 1.556654$ e $\arccos(0.9999) = 0.01414225$

Uma forma de minimizar o erro nos resultados acima seria substituir no programa Fortran da Figura 4, $(1 - z) \times (1 + z)$ por $((0.5 - z) + 0.5) \times ((0.5 + z) + 0.5)$. Entretanto, esse tipo de artifício deve ser evitado. De fato, esse é uma das principais vantagens obtidas com a definição de um padrão para o cálculo de aritmética de ponto flutuante: evitar o uso de artifícios para contornar problemas de cálculo. O padrão proposto deve reduzir o número de artifícios usados por programadores e garantir que o cálculo seja tão preciso quanto possível, ainda que ocorra um aumento do custo de implementação da aritmética de ponto flutuante. É importante diferenciar erros da aritmética de ponto flutuante de erros de cálculo. Nenhum padrão é capaz de prever e evitar erros causados por métodos numéricos não confiáveis. Um exemplo de erro de cálculo comum é calcular o $\arccos(z)$ da seguinte forma:

$$\arccos(z) = \pi / 2 - \arcsen(z)$$

que levaria ao resultado de $(9.999 \times 10^{-1}) \rightarrow 1.571 - 1.557 = 0.014 = 1.400 \times 10^{-2}$ ao invés do valor correto 1.414×10^{-2} . Outro erro comum é substituir $((1 - z) \times (1 + z))$ da Figura 4 por $(1 - z^2)$, que pode levar à perda de metade dos dígitos significativos:

$$1 - z^2 = 1 - (.99361024) \rightarrow 1 - .9936 \rightarrow 0.0064 \times 10^{-3}$$

ao invés de

$$(1 - z) \times (1 + z) = (0.0032) \times (1.9966)$$

$$\rightarrow (3.200 \times 10^{-3}) \times 1.997 = 6.3904 \times 10^{-3} \rightarrow 6.390 \times 10^{-3}$$

O cálculo numérico quando executado em computadores pode apresentar erros críticos, levando ao resultado não confiável. Sem o uso de um padrão, a regra mais simples torna-se questionável.

2.7 A construção coletiva do padrão ANSI IEEE-754

A crescente demanda por provas matemáticas que garantam a correção de um programa ou de um dispositivo de *hardware* que executa operações de cálculo pode ser justificada pela crescente dependência do computador na vida das pessoas. A responsabilidade do projetista do processador multiplica-se na mesma proporção que as dificuldades para implementar essa engenharia. De fato, tornamo-nos no mínimo inseguros se nos deparamos com resultados diferentes quando os mesmos cálculos são executados por máquinas distintas. Facilmente imaginamos as controvérsias geradas se esses cálculos são executados por equipamentos médicos que, de alguma forma, relacionam-se com a vida ou a segurança das pessoas.

As provas, ditas de correção e exatidão, que garantem a confiabilidade e a precisão matemática dos sistemas e dispositivos eletrônicos são negociadas. A negociação se trava em torno da definição dessas provas. A aferição do cálculo aritmético é usualmente consensual. Não há discordância sobre corolários e leis matemáticas amplamente aceitos como a lei da comutatividade e da associatividade da

adição²⁵. Segundo MacKENZIE(1996), esse consenso em torno da aritmética, conforme a conhecemos, "limita o escopo da sociologia do conhecimento". Porém, esse consenso deixa de existir quando o objeto de estudo é o cálculo científico em computadores que utilizam a aritmética de ponto flutuante.

Na teoria ator-rede, "o estabelecimento das diferenças entre o que é negociado e quem irá negociar é importante para a dinâmica do processo". A busca por um padrão para implementação da aritmética de ponto flutuante "organiza uma rede de relações entre entidades, algumas humanas, outras técnicas, cujos papéis e vínculos são perfeitamente definidos e em algum grau estruturados pela aparelhagem". (CALLON, 1995, p. 312)

Um pequeno número de atores dessa rede, entre outros, o professor W. Kahan²⁶, da Universidade da Califórnia em Berkeley, pesquisou as anomalias relacionadas à aritmética de ponto flutuante. Kahan teve especial participação nos estudos sobre a arquitetura de ponto flutuante para números fracionários em computadores e beneficiou-se de uma disputa entre os competidores da indústria de calculadoras Texas Instruments e Hewlett-Packard. Esses competidores questionavam a precisão dos cálculos executados pelas calculadoras do concorrente, o que levou Dennis Harms da Hewlett Packard a contratar Kahan para desenhar a nova geração de calculadoras. Esse projeto permitiria que ele utilizasse suas idéias sobre cálculo em ponto flutuante. "Mas o recrutamento vai além das entidades fisicamente presentes durante a negociação. Cada ator da rede exerce força no processo de negociação posicionando-se como, uma representação de uma rede. Quando, após inúmeras discussões sobre o artefato, um acordo é atingido, aparece uma

²⁵ Segundo a propriedade comutatividade da adição: $a + b = b + a$ e segundo a associatividade da adição: $a + (b + c) = (a + b) + c$

²⁶ Professor do Departamento de Matemática e Computer Science da Universidade de California Berkeley.

nova rede resultante dos diversos pontos defendidos pelos atores”. (CALLON, 1995, p. 314)

“A elaboração da lista de atores e técnicas envolvidas depende, também, dos procedimentos e estruturas organizacionais que determinam a direção que as negociações, a respeito das técnicas, devem tomar a respeito, por exemplo, dos participantes, de suas prerrogativas, etc”.

Kahan representava uma rede, insatisfeita com as soluções adotadas para a indústria com relação aos cálculos de ponto flutuante. No ano de 1977, a Intel, líder da indústria de microcomputadores, iniciou o desenvolvimento de seu chip para executar cálculo de números fracionários com uso de um dispositivo de *hardware*. Naquela época, os minicomputadores ainda executavam o cálculo de ponto flutuante através de rotinas de software. O Intel I8087 era conhecido como um co-processador de ponto flutuante que trabalhava em conjunto com o processador principal para melhorar o desempenho dos cálculos.

John Palmer, o engenheiro líder do projeto do I8087, não queria utilizar a aritmética adotada pela IBM, apesar de sua ampla divulgação e utilização no mercado, e consultou Kahan. A preocupação de Palmer era principalmente garantir a portabilidade entre equipamentos Intel.

Outro importante ator dessa rede foi Robert Stewart, consultor independente e integrante da Sociedade de Computação do IEEE. Foi dele a iniciativa de estabelecer um comitê para estudar e definir os padrões para a aritmética de ponto flutuante. Stewart recrutou para o comitê, Kahan e representantes da Intel e da indústria de semicondutores e de minicomputadores. Na ocasião a Intel concordou em adiar a finalização do Intel I8087, embora ela apostasse que o padrão final seria similar ao modelo no qual ela vinha trabalhando.

A negociação da aritmética de ponto flutuante provou ser um processo lento. Essa rede foi tecida como resultado de muitas

controvérsias, atores, reuniões do Comitê criado. O início dos encontros do Comitê ocorreu em setembro de 1977. O padrão IEEE-754 para aritmética binária de ponto flutuante foi concluído em 1985.

Controvérsias eram inevitáveis, a não ser que o Comitê tomasse o caminho fácil de definir um padrão que aproveitasse as técnicas já utilizadas, principalmente pelos grandes competidores. Independente da decisão, esta poderia ser interpretada como tendenciosa e vantajosa para as empresas que já utilizassem a solução similar ao padrão definido. De qualquer forma, o que estava em jogo era muito significativo, podendo resultar em investimentos necessários para as empresas que tivessem que se adaptar ao novo modelo.

Callon afirma que, “basta mudar a lista de atores autorizados a negociar, a ordem da intervenção, a morfologia das interações para que outras técnicas sejam desenvolvidas”. (CALLON, 1995, p. 315) O principal embate foi travado entre dois padrões de aritmética, alinhados com os interesses de dois dos principais atores envolvidos. Um dos padrões era essencialmente aquele empregado pela *Digital Equipment Corporation (DEC)*, o líder de minicomputadores VAX, amplamente utilizadas no meio científico naquela época. Até a criação do Comitê para definição do padrão da aritmética de ponto flutuante, a indústria e especialistas da área tinham “acatado os fatos como estavam nos livros”. A solução da DEC já havia se consolidado como uma caixa-preta. Segundo Kahan, Jerome Coonen e Harold Stone, porém, é exatamente esse o fato que deveria ser descartado. O padrão proposto por eles, conforme esperado, era muito similar àquele utilizado pela Intel.

Mas em quem o Comitê deveria acreditar? Se tomarmos duas imagens, uma das caixas-pretas e outra das controvérsias em aberto, veremos que são absolutamente diferentes”.²⁷ Segundo Latour, a eficiência de um artefato não é um critério pré-existente. A medida de

²⁷ LATOUR, B., *Ciência em Ação*, São Paulo, UNESP, 2000, p.20.

eficiência é construída com o artefato. O conselho²⁸ “Fique sempre com a máquina mais eficiente é fácil de seguir quando as coisas já estão assentadas, mas não quando isto ainda não aconteceu”. O conselho “Decida o que é eficiência”²⁹ é seguido por Kahan-Coonen-Stone porque eles querem propor um novo padrão para a aritmética de ponto flutuante. Até que Kahan e colegas provem a eficiência do seu modelo, o que deve ser seguido é o desconcertante conselho “Fique com a máquina mais eficiente”, ou seja, fique com o padrão da DEC que é amplamente utilizado. De fato, até que Kahan arregimentasse aliados e convencesse a sua platéia sobre a eficiência do seu modelo, o padrão em uso permaneceria sendo utilizado. Latour afirma que, um fato científico ou um artefato se mostra estabelecido quando se torna “um ponto de passagem obrigatório”. Kahan, na tentativa de convencer o Comitê, passa de uma regra metodológica “acate os fatos sem discutir”³⁰, para outras mais estratégicas “procure sempre um ponto fraco”. Kahan era conhecido por seus estudos em ponto flutuante e nunca dissera absurdo. Disciplina, afiliação, *curriculum vitae*, tudo é misturado por Kahan para arregimentar aliados.

O principal embate entre a proposta de Kahan-Coonen-Stone e a alternativa concorrente era o tratamento em caso de *underflow*. Ao contrário da aritmética dos homens, em que é possível a representação de números indefinidamente pequenos, a aritmética executada em computadores possui um limite de representação³¹. A aritmética proposta pela DEC representa os números até o limite definido na máquina específica. Quando o resultado de uma operação aritmética atinge esse limite, ocorre o esvaziamento (*underflow*) e o resultado é considerado igual a zero ou o processamento é interrompido.

²⁸ Tomo emprestado o termo “conselho” conforme usado por Latour em *Ciência em Ação* para apresentar as regras de sua metodologia.

²⁹ LATOUR, B., *Ciência em Ação*, São Paulo, UNESP, 2000, p.23.

³⁰ LATOUR, B., *Ciência em Ação*, São Paulo, UNESP, 2000, p.21.

³¹ Conforme explicação sobre excursão dos números de ponto flutuante apresentada.

Kahan e seus colegas propuseram um novo princípio, que denominaram esvaziamento gradual (*gradual underflow*). Eles introduziram um conjunto especial de “números não normalizados” (*denormalized numbers*) menor que o menor “número próximo ao zero”. Sabemos que, por convenção, o dígito à esquerda do ponto binário é sempre 1. Nessa proposta, o dígito à esquerda do ponto binário pode ser 0. Esses “números não normalizados” são criados pelo deslocamento para direita da mantissa mantendo o expoente no intervalo válido de representação. Em um sistema onde o menor número é 2^{-126} , seria possível representar o 2^{-127} “não normalizado” como $\frac{1}{2}$ (0.1 binário) $\times 2^{-126}$; 2^{-128} como $\frac{1}{4}$ (0.01 binário) $\times 2^{-126}$; e assim em diante. É claro que desta forma, teríamos perda de precisão, uma vez que um ou mais dígitos poderiam ser perdidos no deslocamento da mantissa para a direita. Entretanto, para seus proponentes essa perda seria compensada pelas vantagens do método proposto. Nesse método, há um número maior de resultados antes de considerar o resultado igual a zero. Considerando-se, hipoteticamente, uma máquina com base decimal e quatro dígitos significativos e expoente com dois dígitos com o limite de ± 99 , o intervalo de magnitudes é 1.000×10^{-99} até 9.999×10^{99} , além de símbolos especiais para representar o 0 e ∞ . A proposta de esvaziamento gradual (*gradual underflow*) utiliza números não normalizados, no intervalo de 0.001×10^{-99} até 0.999×10^{-99} para aproximar magnitudes muito pequenas, e que teriam, normalmente, como resultado um *underflow*. Esses números não normalizados distinguem-se de outros números somente pelo expoente mínimo -99 e pelo dígito à esquerda do ponto decimal (ou binário) igual a 0 (por isso são chamados não normalizados). Esses números simplificam certos programas ajudando a preservar relações que não sobreviveriam, pois com a ocorrência do *underflow* o resultado seria considerado igual a 0 ou o processamento seria interrompido. O esvaziamento gradual (*gradual underflow*) causa um erro de no máximo 0.0005×10^{-99} , no menor numero normalizado

-1.000×10^{-99} nessa suposta máquina decimal.

No exemplo a seguir, o *underflow* é muito importante para ser ignorado. Nesse caso, somente os últimos dois cálculos são corretos.

$$q = (a \times b) / (c \times d) = (a / c) \times (b / d) = (a / d) \times (b / c)$$

As três expressões na suposta máquina decimal para os valores de $a = 8.100 \times 10^{-51}$, $b = 1.800 \times 10^{-32}$, $c = 6.000 \times 10^{-50}$ e $d = 1.670 \times 10^{-50}$, produzem os seguintes resultados:

$$\begin{aligned} \frac{a \times b}{c \times d} &= \frac{1.458 \times 10^{-102}}{1.002 \times 10^{-99}} \dots \\ &\rightarrow \frac{0.001 \times 10^{-99}}{1.002 \times 10^{-99}} \rightarrow 9.980 \times 10^{-4} \\ \frac{a}{c} \times \frac{b}{d} &\rightarrow (1.350 \times 10^{-1}) \times (1.078 \times 10^{-2}) \rightarrow 1.455 \times 10^{-3} \dots \\ \frac{a}{d} \times \frac{b}{c} &\rightarrow (4.850 \times 10^{-1}) \times (3.000 \times 10^{-3}) = 1.455 \times 10^{-3} \dots \end{aligned}$$

Um programa deve testar o aviso de *overflow* e *underflow* após o cálculo de q a partir de uma das expressões, e em seguida substituir, quando necessário, por outra expressão para que o cálculo possa ser executado sem que ocorra *overflow* ou *underflow*. Este programa será mais robusto, uma vez que ele lida com condições de exceção.

No embate travado durante a definição do padrão para arquitetura de ponto flutuante, a dificuldade do Comitê em julgar as propostas apresentadas devia-se em parte à grande quantidade de pontos comuns dos diversos modelos. A análise concentrou-se, portanto, naqueles pontos considerados vulneráveis de cada proposta. Não era possível provar a superioridade de uma proposta em relação às demais em todos

os seus aspectos. A proposta de Kahan-Coonen-Stone, por exemplo, apresentava a solução para alguns pontos fracos da proposta da DEC. Os defensores da proposta da DEC, por outro lado, concentravam esforços em atacar os pontos fracos do método proposto por Kahan e colegas. Os atores seguiram o conselho de Latour “procure um ponto fraco” para lidar com as controvérsias nos embates entre cientistas.

O esvaziamento gradual (*gradual underflow*) foi o foco dos ataques à aritmética de ponto flutuante proposta pelo grupo de Kahan. O principal ataque a essa proposta eram os possíveis erros, considerados graves, de precisão durante a multiplicação de um “número não normalizado” por números maiores que 1 (ou a divisão por números menores que 1). Uma multiplicação poderia apresentar como resultado, um número muito pequeno, com poucos dígitos significativos. No caso mais crítico poderia existir um único dígito significativo. Kahan-Coonen-Stone contra argumentaram com um aviso de “operação inválida” que seria utilizado, assim como o símbolo de “número inválido” (*Not a number*) armazenado como resultado, sempre que essa situação ocorresse.

Além do tratamento de anomalias, a facilidade de implementação e conseqüentemente o tempo de processamento e os custos envolvidos também foram considerados. A implementação do esvaziamento gradual de Kahan, sem dúvida era mais complexa e onerosa que a proposta da DEC denominada “*flush to zero*”. Além disso, a proposta da DEC apresentava uma enorme vantagem, pois já era utilizada na maioria dos minicomputadores científicos naquela época. Por outro lado, Kahan e colegas arregimentavam novos aliados.

Quando um ator adiciona novas entidades à lista como, por exemplo, usuários mais sofisticados ou mais fraudulentos, para dar apoio ao seu caso favorável ou a uma forma particular da rede sociotécnica em formação. Isto então cria uma dependência destas novas entidades como, por exemplo, uma nova conexão na rede, pois deviam se comportar (ou serem obrigadas a se comportar) como estipulado nas projeções. De novo, se as novas entidades têm uma rede de definição similar à projetada (ou podem

ser persuadidas a ter uma assim), torna-se fácil para o ator fazer com que elas sigam o caminho que ele definiu.” (CALLON, 1995, p. 315)

A rede começava a convergir. “Um renomado analista de erros de aritmética de ponto flutuante, Professor G. W. Stewart III da Universidade de Maryland havia aprovado o modelo de Kahan”³², que começava a se transformar em caixa-preta, utilizado no protótipo do I8087 e também no projeto de processador desenvolvido por George Taylor para a DEC. Taylor fora orientado por Kahan. Quanto mais caixas-pretas são referenciadas e utilizadas em um texto ou experiência científica, maior a dificuldade do discordante, haja vista que poderíamos iniciar um “jogo” sem previsão de fim, no qual o discordante teria que refazer todas as caixas-pretas relacionadas com o objeto novo proposto. Quanto maior o número de caixas-pretas referenciadas, mais difícil torna-se a argumentação.

Em 1980, por 2/3 dos votos, a proposta de Kahan-Coonen-Stone foi adotada pelo Comitê. O restante da história do padrão de aritmética de ponto flutuante levou mais alguns anos para ser concluído, até que o modelo fosse aprovado por vários Comitês do IEEE que lhe declarou todo o seu apoio transformando-o no padrão ANSI / IEEE 754 em julho de 1985.

Alcançada a convergência, a técnica está, em princípio, estabilizada, podendo não ser a mesma definida no início do processo. O acordo alcançado na fase de concepção não é somente sobre a técnica em si, pois envolve todas as redes inscritas na própria técnica. O processo de concepção acaba quando é alcançada a convergência da rede. (CALLON, 1995, p. 315)

Quando estratégia [de tradução] tem sucesso, o fato construído se torna indispensável; é ponto de passagem obrigatório para todos aqueles que quiserem promover seus interesses. (LATOURET, 2000, p. 218)

³² MacKENZIE, D., *Knowing Machines Essays on Technical Change*, London England, The MIT Press, 1996, p.168

Uma vez alcançada a convergência, é iniciado o processo de adoção. A dinâmica das redes de concepção / adoção é chamada de seqüência. No interior da rede responsável pela concepção, as técnicas e os seus primeiros adotantes são negociados simultaneamente. “É sobre esta base que as redes que serão mobilizadas emergem. A trajetória destas negociações determina o ponto de partida da trajetória de adoção”. (CALLON, 1995, p. 317)

Este padrão não é universal. Muitos supercomputadores como o Cray³³ e *mainframes* IBM não o utilizam. Entretanto, conforme o padrão ANSI / IEEE 754 torna-se mais popular, diminui o número de problemas relacionados aos números de ponto flutuante. Aplicativos também são escritos levando-se em consideração esse padrão, aumentando assim sua popularidade.³⁴

A seqüência de concepção / adoção é iniciada com a convergência da rede de concepção. Esta convergência é o resultado de inúmeras negociações e envolve também as redes cujas representações são efetuadas pelos atores envolvidos na concepção. “A rede sociotécnica disponível ao final da seqüência de concepção/adoção reúne entidades que antes existiam de uma forma diferente, ou que possuíam vínculos mais fracos no começo da seqüência.” (CALLON, 1995, p. 318)

³³ Supercomputador T90 que pode efetuar cálculos à taxa de 60 bilhões de operações por segundo.(60 giga FLOP por segundo) FLOP representa “floating point operation” ou aritmética de ponto flutuante.

³⁴ Com a busca por provas efetivas que garantam a confiabilidade de computadores surgiu uma nova padronização: de provas matemáticas que atestem que determinado sistema está de acordo com um modelo formal de segurança. O primeiro país a tratar do assunto foi o EUA, através do Departamento de Defesa, que em 1983 criou o *Trusted Computer System Evaluation Criteria* conhecido pela sua cor como *Orange Book*. Nesse livro há um conjunto de critérios que devem ser considerados em sistemas que tratam da segurança nacional. Na Europa, a demanda por provas matemáticas é mais intensa para sistemas que tratam da segurança das pessoas.

CAPÍTULO 3

Laboratórios

-Mas Ivan³⁵, você acha mesmo que conseguimos desenvolver hardware?

-É claro, acho que devemos desenvolver um processador de ponto flutuante para o IBM-1130.

-Um equipamento que execute as operações com números reais por hardware ao invés de software?

-É isso mesmo. Já existem mais de cem computadores IBM-1130 instalados no Brasil, quase todos são programados em Fortran e passam um bom tempo fazendo contas com números reais. Você já imaginou como poderiam ser mais rápidos?

-Se não me falha a memória, as rotinas tipo FADD e FSUB³⁶ consomem cerca de 890 microssegundos; FMULT e FDIV devem ser da mesma ordem. As instruções do IBM-1130 consomem cerca de 7.2 microssegundos. Você quer dizer que vamos reduzir o tempo de uma operação de 890 para 7.2 microssegundos? Isso seria fantástico! (BIANCHI, PAULO - E assim se passaram, quem diria, vinte anos. Mimeo).

Esse diálogo ilustra o retorno no tempo e no espaço, aos momentos e lugares onde o PPF foi desenvolvido. A antropologia das ciências se constituiu considerando como prioritário o estudo da ciência em se fazendo. Sob esse enfoque procuramos visitar os lugares onde os engenheiros desenvolveram o PPF, e recuperar os encontros, a rotina de trabalho e as controvérsias em torno desse artefato.

³⁵ BIANCHI, P., diálogo com Professor Ivan da Costa Marques, professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro, área de Estudos da Ciência e Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Informática, Núcleo de Computação Eletrônica e COPPE. Marques idealizou o desenvolvimento do PPF.

³⁶ FADD, FSUB, FMULT e FDIV são as sub-rotinas que executam respectivamente as operações de soma, subtração, multiplicação e divisão de números reais no IBM-1130.

3.1 PPF: Vista aérea

Em meados de 1972 eu e um grupo de colegas da COPPE fomos convidados pelo Ivan da Costa Marques – que havia feito doutorado em Berkeley – para fazer parte do projeto de um processador que, ligado ao computador IBM-1130, o faria executar operações aritméticas muito mais rapidamente. (MARTINS, Mário – entrevista)³⁷

O desenvolvimento do PPF ocorreu em três fases: projeto, protótipo e fabricação e comercialização. O que se buscava era o domínio da tecnologia. (SCHMITZ, Eber - entrevista)³⁸

Os componentes digitais eram novidade. Foi o meu primeiro contato com o microprocessador Intel 4004 e 8008. A memória do micro-programa, do tipo ROM, foi implementada com 64 linhas de 9 bits, sendo um de paridade. Para realizar o endereçamento foram utilizados integradores (decodificadores) TTL 4006. (PAES, Eduardo - entrevista)³⁹

O Newton Faller – que trabalhara na IBM – projetou o circuito de conexão do PPF com o 1130. A fase de depuração do projeto durou uns dois meses: de dezembro a fevereiro de 1974 e quando estava prestes a funcionar, o Faller descobriu que seria necessário criar um pequeno atraso (delay) na leitura da ROM. (MARTINS, Mário - entrevista)

Foram felizes os que receberam um exemplar do PPF e ligaram nos seus IBM-1130. O PPF funcionava muito bem. (DIDIER, Antonio - entrevista)⁴⁰

Quando observamos uma unidade de PPF, nem sempre nos damos conta que esse artefato é resultado final de um longo processo que envolve atividades tão distintas quanto montar circuitos lógicos, preparar bancadas de teste, corrigir e ensaiar a execução de programas, escrever um projeto para esse processador, exibir dados econômicos, chamar atenção para a política. Percebemos então, as muitas e inúmeras

³⁷ Entrevista com Mário Martins - engenheiro participante do projeto do PPF, realizada em 01/04/2004 e 15/04/2004 no NCE/UFRJ

³⁸ Entrevista com Eber Schmitz – engenheiro participante do projeto do PPF, professor orientador de teses sobre o PPF – realizada em 18/03/2004 no NCE/UFRJ.

³⁹ Entrevista com Eduardo Paes – engenheiro participante do projeto PPF, realizada em 25/03/2004 no NCE/UFRJ.

⁴⁰ Entrevista com o Comandante Didier, dono da empresa Microlab , realizada em 03/04/2004.

habilidades necessárias a quem queira desenvolver uma dessas unidades.

Hoje em dia, falamos no PPF como o conhecemos. Na época de sua emergência, ele é uma lista de respostas aos testes: testes de diodos, testes de algoritmos de adição ou do melhor fornecedor de integrado, teste de sua capacidade de agradar. Nesse ambiente de trabalho que denominamos laboratório podemos observar o “PPF em se fazendo” como um processo contínuo. A elaboração de idéias, sua submissão, discussão até a comprovação se entrelaçam incessantemente seguindo as idiossincrasias e caprichos dos pesquisadores, financiadores, instituições, interesses políticos e seus públicos potenciais. Na definição de Latour, “o laboratório é o lugar onde os cientistas trabalham, onde os testes são feitos, onde os objetos são submetidos a provas de força”.

Segundo Callon, “o acordo só pode ser alcançado no fim do processo de negociação durante o qual tanto a definição das técnicas e a lista de atores elegíveis para negociar tenham sido ajustadas e modificadas, ocorrendo uma adaptação mútua”. (CALLON, 1995, p. 315) Durante a elaboração do PPF, negociações foram realizadas e controvérsias solucionadas no laboratório da COPPE. Segundo o professor Eber Schmitz, foram muitas as controvérsias discutidas em reuniões semanais.

Eu defendi a solução mais econômica, ainda que o processador se tornasse um pouco mais lento. Para Newton Faller, o processador deveria ser mais rápido, ou seja, com o melhor tempo de resposta possível. A decisão final foi trabalhar para obter um ganho extraordinário em relação ao IBM-1130. (SCHMITZ, E., entrevista)⁴¹

(CALLON, 1995, p. 319) nos ensina que “a fase de concepção sempre herda redes formadas em seqüência anteriores”. Alguns itens do

⁴¹ SCHMITZ, E., entrevista com engenheiro participante do projeto do PPF, professor orientador de teses sobre o PPF – realizada em 18/03/2004 no NCE/UFRJ.

projeto foram rapidamente definidos, pois já havia consenso em relação aos mesmos.

A placa apropriada para fazer o protótipo foi a Cambion[®], e não houve discordância porque era a melhor. (MARTINS, Mário – entrevista)

Porém, foram inúmeros os obstáculos, que variavam desde a dificuldade de manusear componentes necessários para a montagem de uma unidade aritmética e lógica até o produto final, ou seja, o desempenho do novo processador que “deveria ser espetacular em relação ao IBM-1130”⁴². Esse artefato foi sendo tecido conforme as escolhas de algumas técnicas, as influências dessas escolhas, as respectivas soluções para os problemas que se apresentavam.

Segundo Latour, “natural” não é uma qualidade do artefato, mas algo que ele adquire com sua estabilização. A naturalização de um fato é conseqüência do fechamento da caixa-preta e não a causa. Latour também sustenta que a eficiência de um artefato não é um critério pré-existente. Da mesma forma que sua “naturalização”, a medida de eficiência é construída junto com o artefato, conforme a rede vai se estendendo.

Inicialmente as operações do PPF seriam executadas exclusivamente por meio de micro-programação. Constatou-se, entretanto, que devido a limitações dos componentes utilizados, o ciclo de leitura da ROM desenvolvida para a aplicação não ultrapassava 300 ns. Tendo em vista a reprodução dos circuitos na fase industrial, o ciclo foi modificado para 400 ns. Assim sendo, na multiplicação de dois números binários de 31 bits seriam necessários:

$31 \times 400 \text{ ns} \times N = 12,4 N \text{ } \mu\text{s}$, onde N é o número de passos ou instruções necessárias para operar um único bit. O algoritmo de multiplicação pode ser simplificado pelos seguintes passos:

- 1- teste do bit de mais significativo do multiplicador
- 2- soma do multiplicando com o resultado da soma anterior, se o bit for igual a 1 ou deslocamento de uma posição do resultado da soma anterior, em caso contrário.
- 3- armazenamento do resultado da soma.

No pior dos casos, seriam utilizados os três passos acima para operar um único bit. Neste caso, N possui o valor 3 e o tempo necessário para que o circuito das macros conclua a multiplicação de dois números de 31 bits seria $12,4 \times 3 \mu\text{s}$, ou seja $37,2 \mu\text{s}$. Além desse tempo, é necessário adicionar o tempo para o controle das micro-operações e para o posicionamento dos valores nos registros. Nesse caso, a velocidade total da execução do respectivo cálculo no PPF seria igual ao tempo utilizado pela rotina de *software* do IBM-1130, que tornaria inválido o projeto.

Pelos motivos expostos, a equipe de engenheiros do PPF optou por um circuito híbrido de controle que alia a versatilidade da micro-programação à velocidade do circuito convencional de controle, que é comandado por micro-ordens. Dessa forma, o sistema PPF e IBM-1130 obedecem, a seguinte hierarquia de comandos:

- 1- IBM-1130
- 2- Controle das micro-ordens
- 3- Circuito convencional de controle

Após o IBM-1130 enviar um comando de início de tarefa ao controle das micro-ordens, permanecerá inativo até que receba deste, um sinal de fim de trabalho. O controle das micro-ordens procede da mesma forma com o circuito convencional de controle. As micro-instruções que iniciam os circuitos convencionais de controle são denominadas macro-instruções. Para obter o desempenho desejado, as operações de multiplicação, divisão, equalização e normalização foram implementadas

⁴² SCHMITZ, E., entrevista realizada em 02/04/2004.

por macros. desenvolvidas por Diogo Takano. Essa arquitetura reduziu substancialmente o tempo de execução das operações em ponto flutuante. Considerando-se 31 bits de cada operando e o tempo de 250 ns, no pior dos casos o tempo total será:

$$31 \times 2 \times 250 \text{ ns} = 15500 \text{ ns} = 15,5 \mu\text{s}^{43}$$

O fator 2 é necessário quando o valor do bit é 1. No primeiro ciclo ocorre a soma (resultado anterior + multiplicando) e no segundo ciclo o resultado é armazenado.

A macro, desenvolvida por Diogo Takano, tornava o processamento bem mais rápido. (MARTINS, M., entrevista)

3.1 As habilidades necessárias

Todo o projeto consumiu 12 placas de circuitos integrados da marca Cambion[®] (das pequenas) próprias para protótipos. Os integrados da Texas ou Signetics eram pastilhas retangulares em sua grande maioria com 14 ou 16 pinos (metade em cada lado ao longo do comprimento) e eram fixados em suportes chamados soquetes (da Cambion[®]). Os tais soquetes tinham do outro lado pinos correspondentes porém longos, retos e de seção quadrada. As placas eram vazadas e, no final da montagem existiam integrados e soquetes de um lado e pinos longos do outro. As conexões eram feitas do lado dos pinos usando fios muito finos e uma pistola apropriada para enrolar os fios nos pinos utilizando a tecnologia wire-wrapping.

Para ligarmos dois pinos cortávamos um fio com comprimento 3 cm maior que a distância entre eles e desencapávamos 1,5 cm em cada extremidade. A ponta (delgada) da pistola tinha um orifício maior no centro e um menor junto a ele. No menor colocávamos uma das extremidades desencapadas e posicionávamos a ponta da pistola para encaixarmos todo o pino no orifício maior e apertávamos o gatilho. O furo menor e,

⁴³ TAKANO, D., *Macro operações do PPF para o sistema IBM-1130*, dez / 1974, Tese UFRJ.

conseqüentemente, o fio girava em torno do pino. (MARTINS, M., entrevista)⁴⁴

Através da descrição acima, percebemos que são vários os elementos que estão combinados a fim de construir o artefato. Também são complexas as habilidades técnicas necessárias para esse fim. Se a habilidade do engenheiro não for suficiente para conseguir estabilizar o conjunto, a conexão não funcionará com sucesso. Considerando que essa é uma pequena atividade entre tantas outras necessárias à construção do PPF, concluímos que a lista de possibilidades de erros é grande, o que demonstra a precariedade do processo. Essa precariedade, própria da construção do artefato a partir de elementos heterogêneos como fios, soquetes, diodos, e técnicas, também se manifesta quando estamos no ambiente da indústria. Qualidades específicas diferem o ambiente da indústria e o ambiente do laboratório. No laboratório, o trabalho é artesanal, poucas unidades são montadas utilizando mão de obra super qualificada. Os engenheiros desejam a melhor qualidade e buscam a perfeição do que estão empenhados a construir. Para alguns, a conclusão do projeto significava a conclusão de seus mestrados.

O integrado sempre possui o mesmo tipo de circuito, então, partindo do circuito lógico, desenhei os integrados, até ter toda a lógica. O grupamento foi feito por vizinhança. (MARTINS, M. – entrevista)

Na indústria, não há engenheiros manuseando soquetes, diodos e fios; mas técnicos montadores de circuitos que recebem um salário por seu trabalho. A qualidade dos materiais também é distinta. No laboratório do NCE, os materiais possuem a melhor qualidade para os padrões da época. Na indústria, nem sempre os materiais são de melhor qualidade.

Ao conceberem o PPF no NCE, os circuitos integrados foram selecionados pela maior velocidade de resposta. O produto

⁴⁴ Entrevista com Mário Martins realizada dia 15/04/2004, no NCE/UFRJ.

não funcionou na indústria. Tivemos que ajustar o 'clock' para permitir sua operação com componentes de mercado. A diferença de velocidade da resposta foi pequena. Aprendemos que não se pode utilizar componentes selecionados para gerar protótipos que visem aplicação industrial. A experiência para ajustar o clock do PPF foi marcante e custou cerca de 1 mês de trabalho e testes. (DIDIER, A., entrevista)

3.2 O híbrido PPF IBM-1130⁴⁵

Na construção do PPF, desperta especial interesse a conexão com o IBM. Como reagiu o IBM-1130 na formação do híbrido PPF e IBM-1130? E como reagiu o fabricante IBM?

O Newton Faller – que trabalhara na IBM – projetou o circuito de conexão do PPF com o IBM-1130. (PAES, E., entrevista)

O IBM-1130 utiliza dois registros lógicos A e B e uma unidade aritmética e lógica - *UAL* - que executa operações entre registros. O usuário tem acesso aos registros A e B para carga de operando e ao registro A para armazenamento na memória. Após uma operação aritmética, o conteúdo de A é idêntico ao conteúdo de B.

O PPF é igualmente constituído de dois registros lógicos A e B, que foram denominados genericamente de REFAC. Esses registros, ao final de qualquer operação, possuem o mesmo conteúdo. As operações são sempre no sentido A para B, ou seja, A/B , $A+B$, $A-B$, $A*B$. Assim sendo, caso se deseje dividir o REFAC por três, armazena-se três no registro B (operação direta) e se quisermos dividir cinco pelo REFAC, armazena-se cinco no registro A (operação reversa). Ele é acoplado por conectores aos painéis de circuitos da unidade central do IBM-1130. Não há qualquer modificação nos circuitos do IBM-1130 original, uma vez que o fluxo de informação entre o PPF e a unidade central do IBM-1130 ocorre pela

barra de entrada e saída deste.⁴⁶ A conexão com o IBM-1130 apresentou-se como uma prova de força da construção do PPF. Dependendo do sucesso ou fracasso da conexão PPF e IBM-1130, o objeto poderia transformar-se em caixa-preta ou simplesmente ser esquecido. A conexão com o IBM-1130 tornou o PPF robusto, solidificou-o como caixa-preta.

No IBM-1130 o que se fez foi utilizar um conjunto de códigos de instrução que a máquina não utilizava. Basicamente eram instruções de LOAD e STORE longos: o primeiro LOAD era o primeiro operando e o segundo LOAD continha o segundo operando e o código da operação (soma, subtração, etc). A partir daí o PPF mantinha o IBM-1130 em ciclos de WAIT até que a operação fosse realizada. Quando os ciclos de WAIT terminavam, o IBM-1130 executava uma operação de STORE com o resultado da operação. A única modificação de hardware no IBM-1130 foi interromper a execução do WAIT, fazendo um OU com o pedido de WAIT gerado pelo PPF. (MENEZES, A., entrevista)

Um trecho típico de programa:⁴⁷

CC3A	:Load do primeiro operando
2000	:Endereço do primeiro operando
CC2C	:Load do segundo operando e pedido de soma
2001	:Endereço do segundo operando
	:PPF sinaliza WAIT até o fim da operação
CC20	:Store do resultado
2002	:Endereço do resultado

⁴⁵ CESAR, Christian e outros, *Processador de Ponto Flutuante para o IBM-1130*, SUCESU, 13 de agosto de 1973.

⁴⁶ MARTINS, M., *Processamento de Ponto Flutuante*, Tese COPPE/UFRJ, 1975.

⁴⁷ MENEZES, A., engenheiro responsável pelo projeto PPF na empresa Microlab, entrevista realizada em 22/06/2004.

Um novo conjunto de instruções de máquina é, portanto, criado pelo PPF. Conseqüentemente, as seguintes instruções passam a integrar o conjunto de instruções originais:

Instrução	Operação
Soma A	$REFAC \leftarrow REFAC + c(A)$
Subtração A	$REFAC \leftarrow REFAC - c(A)$
Subtração Reversa A	$REFAC \leftarrow c(A) - REFAC$
Multiplicação A	$REFAC \leftarrow REFAC * c(A)$
Divisão A	$REFAC \leftarrow REFAC / c(A)$
Divisão Reversa A	$REFAC \leftarrow c(A) / REFAC$
Teste A	$c(A) \leftarrow$ indicador de <i>overflow</i> e <i>underflow</i>
LOAD REFAC A	$REFAC \leftarrow c(A)$
STORE REFAC A	$c(A) \leftarrow REFAC$

Onde, REFAC indica o registro acumulador de ponto flutuante implementado no PPF e c(A) indica o conteúdo das palavras de endereço A e A+1 na memória do sistema IBM-1130.

O IBM-1130 possui códigos de instrução que não eram utilizados. Isso tornou possível alterar o seu código e introduzir essas novas instruções. Mas o IBM-1130 ainda resistiu. Como a transferência de dados entre o PPF e o IBM-1130 ocorre através da barra de entrada e saída, como no caso de outros periféricos, diversos sinais de controle do IBM-1130 são utilizados para executar o sincronismo das transferências de dados entre as máquinas. O acesso à memória do IBM-1130 para leitura e gravação só é possível em tempos determinados. Conseqüentemente, a sincronização é feita através de sinais de controle oriundos do próprio IBM-1130. Essa sincronização apresentou problemas na fase de depuração, que foi realizada entre dezembro/73 a fevereiro/74:

Quando o projeto estava preste a funcionar {...}, o Faller descobriu que precisava criar um pequeno atraso na leitura do ROM. Eu sugeri que, como havia sobrado algumas linhas (palavras) na tal memória, bastava usá-las para criar os atrasos (desvios incondicionais), mas não havia mais diodos disponíveis. Um colega meu foi ao laboratório do 3º andar do bloco H [da COPPE] pegar alguns diodos. Como eu tinha um mapa da memória comigo, consegui re-agrupar alguns diodos, sem alterar o programa e criar os tais desvios. Assim foi feito e tudo finalmente funcionou sem gastar um diodo a mais! (MARTINS, M., entrevista)

3.3 Comunicação entre máquinas

Uma das principais funções implementadas foi a comunicação entre IBM-1130 e PPF. Aqui, a complexidade do projeto não diminui. A seqüência das operações é importante. O controle do processamento aritmético ocorre através de micro-instruções armazenadas em uma memória de leitura (*ROM – read only memory*) composta por 64 palavras de nove bits. Esse controle pode ser dividido em três partes: controle da ROM, controle das micro-ordens e controle das macro-instruções. O controle da ROM é responsável pela leitura da palavra da ROM, a cada ciclo de 400 ns, e armazenamento em um registro dos seis bits que especificam a micro-instrução, cálculo do endereço da micro-instrução seguinte e detecção de erro de paridade na palavra da ROM. Cada palavra da ROM possui nove bits sendo o menos significativo usado para cheque de paridade e os dois bits seguintes para indicar o tipo de desvio, se for o caso. Os seis bits restantes, armazenados em um registro denominado RM durante o tempo de micro-instrução, são encarados como endereço no caso de desvio. Caso contrário, representam a micro-instrução a ser executada. O projeto da ROM foi o trabalho final do curso de engenharia de Eduardo Paes.

Os componentes digitais eram novidade. Foi o meu primeiro contato com o microprocessador Intel 4004 e 8008. A memória do micro-programa, do tipo ROM, foi implementada com 64 linhas de 9 bits, sendo um de paridade. Para realizar o endereçamento foram

utilizados integradores (decodificadores) TTL 4006. (PAES, E., entrevista)⁴⁸

SÍMBOLO	SIGNIFICAÇÃO
0...OFF	Valor hexadecimal (série de 24 zeros e oito 1's)
ER 4-7	Bits 4, 5, 6, e 7 de EXPR
EXPR 	O conteúdo de EXPR é incrementado de
FFA	Conteúdo de flip-flop auxiliar
—	Conteúdo de FFA complementado a 1
FFC1	Conteúdo do flip-flop de condição 1
	O conteúdo de R é deslocado uma posição para a direita
R  S	O conteúdo de R é carregado em S
S ²	Conteúdo de S complementado a 2
SD00	Sinal de SD (bit 0 de SD)
Sse	Se e somente se

Figura 3.1 – Lista de microinstruções do PPF

O controle das micro-ordens é responsável pela decodificação do conteúdo do registro RM, a cada ciclo da ROM e execução das tarefas exigidas pela micro-instrução. O controle das macro-instruções é um circuito com relógio independente, com ciclo de 300 ns, que executa as operações de multiplicação e divisão das mantissas dos operandos, além de executar a equalização e a normalização. As micro-instruções são responsáveis por inicializar os conteúdos dos registros antes do controle

⁴⁸ PAES, E., engenheiro da equipe do projeto PPF, entrevista realizada em 25/03/2004 no NCE/UFRJ.

das macro-instruções e também por realizar o tratamento do resultado obtido.

A comunicação entre o PPF e o IBM-1130 é exemplificada abaixo pela soma de duas variáveis reais de precisão simples. As modificações são análogas para as demais operações e para a precisão estendida. Uma operação FORTRAN $A = B + C$ é traduzida pelo compilador, que resulta nas seguintes instruções de programa objeto:

```
...  
LIBF FLD  
DC B  
LIBF FADD  
DC C  
LIBF FSTO  
DC A  
...
```

Onde, de modo geral, LIBF ROT indica uma transferência para a sub-rotina ROT através de um vetor de transferência. A transferência para rotina através do vetor de transferência LIBF possibilita que cada chamada da rotina seja feita com apenas uma instrução de uma palavra (um BSI curto indexado 3) no programa principal, economizando, portanto memória, caso o programa contenha muitas chamadas.⁴⁹

Nesse exemplo, a sub-rotina FLD é chamada com parâmetro igual ao endereço da variável B e sua função é colocar $c(B)$ no acumulador de ponto flutuante. A sub-rotina FADD é chamada com parâmetro igual ao endereço da variável C e sua função é realizar a adição de $c(C)$ com o conteúdo do acumulador de ponto flutuante (no caso $c(B)$), deixando o resultado no acumulador de ponto flutuante. A sub-rotina FSTO é chamada com parâmetro igual ao endereço de A. Sua função é colocar o

⁴⁹ IBM-1130 Subroutine Library, Form GC26-5969-5 para sub-rotinas aritméticas e funcionais

conteúdo do acumulador de ponto flutuante (no caso $c(B) + c(C)$) na variável A. Conseqüentemente as três chamadas executam a declaração FORTRAN original $A=B+C$.

A maneira pela qual o IBM-1130 se transfere para as rotinas FLD, FADD ou FSTO e retorna delas para o programa principal é idêntica para as três rotinas. Na realidade todas as rotinas envolvidas no processamento de ponto flutuante têm a mesma estrutura interna no que se refere ao esquema de transferência para a rotina e retorno da rotina para o programa principal. Consideremos a rotina FADD. Sua organização interna é a seguinte.⁵⁰

```
ENTRADA STX 1 SAVE+1
        LDX I1  *_*
        ...
```

Estas instruções salvam conteúdo do registro de índice 1 e colocam este registro apontando indiretamente para o parâmetro.

As instruções abaixo regeneram o registro de índice 1, preparam e executam o retorno para o programa principal.

```
MDX 1 +1
STX 1 RET+1
SAVE LDX L1  *_*
RET B L *_*
END
```

⁵⁰ IBM-1130 Assembler Language, Form C26-5927

Quando o processador de ponto flutuante é acoplado ao processador central do IBM-1130, a sub-rotina FADD é modificada, passando às seguintes instruções:

ENTRADA	STX	1	SAVE+1
	LDX	I1	*_*
	LD	1	0
	STO		OP+1
OP	SOMA	L	*_*
	MDX	1	+1
	STX	1	RET+1
SAVE	LDX	I1	*_*
RET	B	L	*_*
	END		

Desta forma, todo o conjunto de instruções que executam a tarefa da rotina propriamente é substituído por uma única instrução de máquina e sua preparação de endereço. Esta nova instrução aciona o PPF, fazendo com que o *hardware* execute a soma dos dois números reais envolvidos, deixando o resultado no acumulador de ponto flutuante. A equipe de engenheiros que projetou o PPF “abriu” a caixa-preta IBM-1130 que “já estava fechada”.

Todas as demais rotinas envolvidas diretamente no processamento de ponto flutuante são modificadas de maneira análoga. O conjunto de instruções do IBM-1130, que se destina a executar uma tarefa através de sub-rotina, é substituído por uma nova instrução, que põe em ação o processador de ponto flutuante, executando a tarefa por *hardware*, em

tempo muito inferior ao utilizado pela sub-rotina. O PPF supera a resistência do IBM. Torna-se mais robusto.

As técnicas e os atores terão suas concepções, interesses e projetos modificados na medida que aceitam abandonar algumas de suas exigências e adotam as idéias de outros atores do processo. Quando acordo é atingido, as identidades dos atores estão transformadas. (CALLON, 1995, p. 311)

Mas como reagiu o fabricante IBM, com relação ao projeto? Segundo o depoimento do técnico da IBM, Reginaldo Brabo⁵¹, o contrato de manutenção do IBM-1130 do NCE foi modificado com a inclusão de uma ressalva sobre possíveis danos causados por testes realizados pela equipe do NCE. Essa ressalva, entretanto, não impediu que a IBM prestasse os serviços de manutenção da máquina. Desde 1969, um importante processo, denominado “*unblinding*”⁵², ocorria nos EUA. Os grandes fabricantes foram impedidos pela Justiça americana de comercializar o sistema de *hardware* e *software* como um produto único e inseparável. A partir dessa decisão, tornou-se possível adquirir ambos ou apenas um desses componentes: *hardware* ou *software*. Além disso, a partir dessa data, a IBM passou a realizar a manutenção em seus equipamentos, mesmo que esses utilizassem *software* de outro fabricante. Estaria a IBM influenciada pelo processo que ocorria nos EUA, e pelo motivo exposto, não assumiu posição contrária em relação às modificações operadas pela equipe de engenheiros do NCE?

3. 4 A transferência do NCE para a Microlab

Quando seguimos o conselho de Latour e visitamos os lugares onde os artefatos foram construídos, constatamos a dificuldade em construir uma unidade de PPF. Mas essas dificuldades não são menores

⁵¹ Depoimento de Reginaldo Brabo, técnico de manutenção de hardware aposentado da IBM, responsável pela manutenção do IBM 1130 do NCE 1974-1976, em 8 de setembro de 2004.

⁵² Para detalhes sobre o assunto, consultar www.hagley.lib.de.us/1980.htm#boxfolder3

quando desejamos transferir o protótipo do laboratório para a indústria, a fim de replicá-lo, vendê-lo e enfim, consolidá-lo como uma caixa-preta. No laboratório, contamos com recursos especiais. A remuneração é diferente, as motivações também. É o lugar onde, a heterogeneidade e a complexidade dos elementos que concorrem para a fabricação dos artefatos e conhecimentos é administrada. Esse ambiente difere consideravelmente do ambiente da indústria e por esse motivo, entre outros, a passagem do artefato do laboratório para a indústria nem sempre é tranqüila.

Junto com o protótipo em funcionamento, foram transferidos para a Microlab, os diagramas esquemáticos do protótipo, os resultados de testes executados pela equipe do NCE e outras inscrições. Uma importante negociação foi a transferência de um engenheiro do NCE, que participou de parte do desenvolvimento do protótipo, para a Microlab. Para ilustrar a estratégia e os cuidados operados pela equipe do NCE na passagem do protótipo para a indústria, utilizaremos uma comparação com a história do motor a Diesel, conforme contada por Bruno Latour em *Ciência em Ação*⁵³.

O motor a Diesel surgiu da idéia de um motor perfeito que funcionasse de acordo com os princípios termodinâmicos de Carnot. Seria um motor cuja ignição poderia ocorrer sem aumento de temperatura. Diesel patenteou sua proposta e publicou um livro. Com a ajuda de alguns engenheiros e máquinas da MAN, Diesel tentou construir um motor que funcionasse. A experiência de trinta anos da MAN garantiu as habilidades técnicas necessárias para a construção dos pistões e das válvulas. A questão da combustão logo se mostrou mais problemática, uma vez que o ar e o combustível precisam ser misturados numa fração de segundo.

⁵³ LATOUR, B., *Ciência em Ação*, São Paulo, UNESP, 2000.

No NCE, a transferência do protótipo do PPF para a Microlab também não foi simples. Algumas modificações foram necessárias no ambiente da indústria. Várias decisões devem ser tomadas para transformar um protótipo em produto industrial. Há diferenças de *design* e material, adaptações necessárias para que o produto se torne robusto e confiável, um fato irrefutável, uma máquina, uma caixa-preta pronta para ser replicada e vendida.

No início da montagem, as placas eram testadas em bancada com pequenas jigas de teste e depois integradas no protótipo que estava funcionando no NCE. À medida que a montagem avançava, cada placa montada era integrada e ficava funcionando no protótipo até completar um equipamento como um todo. (MENEZES, A., entrevista)

Na primeira fase da transferência, foram entregues a lista de materiais, a lista de fiação (de-para das ligações wire-wrapping) e os diagramas esquemáticos do protótipo que estava em funcionamento no NCE. Depois o protótipo foi levado para a Microlab para conferência da lista de fiação e início da engenharia de produto. Com a lista de materiais foi gerada uma lista de compra (nacionais e importados). Com o protótipo em mãos, foi projetada a aparência final do produto e foram geradas as primeiras instruções de montagem.

A idéia da Microlab era, numa primeira fase, apenas reproduzir o protótipo com um layout industrial, mantendo as características construtivas o mais próximo possível do que estava funcionando. Numa segunda fase é que se pensava em fazer a nacionalização do produto.

Na primeira fase, a caixa do equipamento foi projetada já levando em conta o novo layout da fonte de alimentação e a transformação da ROM de diodos em uma placa de circuito impresso. A serigrafia do painel foi projetada por Adalberto Torres da Silva, do NCE. A fonte de alimentação foi projetada com componentes encontrados no mercado nacional. Começa então, a surgir o produto PPF. (MENEZES, Antonio – entrevista)

No motor a diesel, a solução encontrada utilizava injeção de ar comprimido. Entretanto, essa solução exigia bombas enormes tornando o motor grande e caro, incapaz de competir no mercado de motores pequenos. O motor de Diesel poderia ser simplesmente esquecido e

perder as chances de se estabelecer como um fato. Com a inesperada necessidade de modificar o projeto do motor diversas vezes, Diesel acabou afastando-se da patente original e dos princípios apresentados em seu livro.

A Microlab postergou a construção do molde industrial, afastando-se do que fora previsto no projeto. Essa construção do molde industrial foi uma significativa prova de força a que o PPF foi submetido. Nesse caso, o PPF não se sustentou. A industrialização deveria substituir a fiação sobre Cambion[®] por placas de circuito impresso, uma tecnologia mais complexa e mais onerosa, pois exige maior investimento inicial, mas possibilita a montagem barata em maior escala. Esse investimento seria compensado se, conforme previsto no projeto, cerca de 100 máquinas fossem vendidas no mercado. Nesse caso, o volume de produção reduziria o custo do investimento por unidade fabricada. Entretanto, a fiação em *wire-wrapping* foi mantida.

A fiação em wire-wrapping foi mantida, assim como as placas e racks Cambion[®], do protótipo. A transformação em placas de circuito impresso demandaria um esforço de engenharia muito grande para aquele momento, que foi deixado para mais tarde. A placa de ROM do micro-programa, por exemplo, seria transformada em ROM FUSE e os circuitos seriam re-projetados e condensados em novas placas de circuito impresso. (MENEZES, A., entrevista)

O acúmulo de integrados em uma placa requeria a utilização de placas de circuito impresso multi-layer não produzidas ainda na época. Tivemos que adquirir as ferramentas especiais e fazer os programas de interconexão dos pinos dos circuitos impressos para as operações de wire-wrapping, que era tecnologia disponível na época, mas nunca utilizadas antes pela Microlab porque nossos circuitos nunca haviam exigido placas multi-layer. (DIDIER, A., entrevista)

Os estudos sociotécnicos nos ensinam que cada elemento da cadeia de atores necessária para passar a caixa-preta adiante pode agir de maneiras diversas: pode simplesmente largá-la, ou aceitá-la como é, ou apropriar-se dela e colocá-la em um contexto completamente diferente.

De fato, todos os atores estão fazendo alguma coisa com a caixa-preta. Na melhor das hipóteses, eles não a transmitem pura e simplesmente, mas acrescentam elementos seus ao modificarem-na, fortalecê-la e incorporá-la em novos contextos. Ela não só é coletivamente transmitida de um ator para outro, mas é coletivamente composta pelos atores. Para tornar a justaposição de interesses dos atores confiável e previsível é necessário amarrar a caixa-preta com tantos elementos que ela resista a todas as tentativas de desagregação. Isso não aconteceu com o protótipo do PPF. A justaposição de interesses tornou-se imprevisível e não resistiu.

Na história de Diesel, um novo sistema de injeção de ar é desenhado e construído pela MAN e pela Krupp. Diesel precisa lutar para conciliar a teoria do seu motor com o que vai sendo efetivamente construído. Quando o motor é finalmente apresentado ao público, a preocupação de Diesel passa a ser o sucesso da industrialização e vendas. É preciso que o motor funcione bem para que outros o transformem em caixa-preta. Para ele, o motor estava pronto. Entretanto, o motor continuava falhando.

Na Microlab, após a conclusão das 5 unidades do PPF, a preocupação passou a ser o sucesso da industrialização e vendas. O comandante Didier procurou a IBM com objetivo de tentar convencê-la a vender unidades de PPF em conjunto com unidades de IBM-1130, como um equipamento que, acoplado ao IBM aumentava muito o seu desempenho. A negociação com Robelli, presidente da IBM do Brasil, não foi bem sucedida. A IBM não tinha interesse em comercializar um produto nacional acoplado ao seu equipamento original.

Na história de Diesel, como consequência das falhas do seu motor, os discordantes abriram a caixa-preta, que foi examinada por engenheiros intrigados com o seu insucesso. As empresas que haviam comprado a

licença de fabricação a devolviam e exigiam seu dinheiro de volta. O motor tornou-se menos robusto, menos real. Diesel faliu.

Para resistir à discordância, ou seja, para resistir ao que chamamos provas de força e manter os grupos interessados, diversos elementos devem ser amarrados com eles: eletrodos, testes de desempenho, algoritmos, financiamentos. Essas alianças transcendem os limites existentes entre seres humanos e coisas. Sempre que um aliado é abandonado, é preciso recrutar substitutos; sempre que um elo forte rompe uma aliança que seria útil, devem ser introduzidos novos elementos para agregá-la e utilizar os elementos dissociados. Quando o molde industrial do PPF foi substituído pela fiação wire-wrapping, nenhum novo elemento foi introduzido para compensar esse elo que foi rompido.

Os engenheiros que desenvolveram o PPF buscavam um equipamento que acoplado ao IBM-1130 melhorasse em muito sua capacidade. A maneira de comprovar essa melhoria de desempenho foi através da medição e comparação de tempos de execução de programas no IBM-1130 original e no híbrido IBM-1130 com PPF. O tempo de execução desses programas, no conjunto IBM e PPF, foi significativamente melhor. O ato de definir um objeto novo pelas respostas que ele inscreve no mostrador de um instrumento, ou seja, o tempo de execução de programas no híbrido IBM - PPF, fornece aos engenheiros responsáveis pelo seu desenvolvimento sua fonte final de força. Objetos novos são imediatamente transformados em coisas (“dupla hélice”, “computadores”, “PPF”), ou seja, em algo aceito e considerado verdadeiro. Coisas com um nome que agora parecem independentes dos testes nos quais provaram sua veracidade.

Um artefato se mostra estabelecido a partir do momento em que, conforme afirma Latour, se torna “um ponto de passagem obrigatório”. Neste momento da estabilização, ao menos temporariamente, os

interessados vêm espontaneamente ao laboratório, que se tornou indispensável, se afirmando como centro produtor de tecnociência.

CAPITULO 4 Traduções do PPF

No presente capítulo, pretendemos contar uma história do PPF em que sua concepção, projeto, passagem da universidade para a empresa, fabricação e uso são processos onde o “social” e o “técnico” atuam de forma inseparável e estão indissociavelmente fundidos em algo híbrido. Já no primeiro consenso, na primeira volta da espiral de concepção/adoção⁵⁴ do PPF, estabeleceu-se uma primeira equivalência entre entidades heterogêneas, entre um campo de pesquisa e um objetivo político: construir o PPF era dominar a tecnologia da informática no Brasil e isto era a independência tecnológica, que se estendia à independência econômica e política do país. – Era preciso que o Brasil desse os primeiros passos para independência, mesmo que parcial, da indústria nacional de informática, e a construção do PPF era justamente um destes passos. – acreditavam, admitiam e/ ou propagavam tanto a equipe de pesquisadores do NCE/UFRJ como os demais envolvidos⁵⁵. Esse projeto permitia organizar transferências tecnológicas da pesquisa de base em direção a pesquisa aplicada. No campo dos Estudos de Ciência e Tecnologia (ECT – *Science and Technology Studies*) esta equivalência posta em cena entre objetivos heterogêneos, equivalência não imposta por ninguém, e que é, conseqüentemente, conjectural, é chamada de tradução/translação.⁵⁶

Como ocorreu essa tradução/translação? Isto é, como a equivalência entre desenvolvimento do PPF e independência tecnológica

⁵⁴ Callon, Michel. 1995. “Technological Conception and Adoption Network: Lessons for the CTA Practitioner” in Rip, Arie et alii (eds) *Managing Technology in Society – The approach of Constructive Technology Assessment*. Londres: Pinter Publishers.

⁵⁵ Christian César, Newton Faller, Edson Granja, Ivan Marques, Mário Martins, Eduardo Paz, Antonio Menezes, Pedro Salenbauch, Luiz Santos, Eber Schmitz e Diogo Takano – Processador de Ponto Flutuante para o sistema IBM-1130. SUCESU, 13/08/1973.

⁵⁶ No campo interdisciplinar que os países de língua inglesa denominam *Science Studies*, aos quais aqui nos referimos como “Estudos de Ciência e Tecnologia”, “[e]m lugar de uma rígida oposição entre contexto e conteúdo, as cadeias de [tradução/] translação referem-se ao trabalho graças ao qual os atores modificam, deslocam e transladam seus vários e contraditórios interesses”. Latour, Bruno. 2001. *A Esperança de Pandora*. Bauru, SP: EDUSC.

do Brasil fortificou-se a ponto de entrar na cena nacional da época mobilizando aliados para gerar efeitos, provocando acontecimentos, adquirindo densidade e constituindo uma versão da realidade? Como toda tradução/translação, ela ocorreu pela justaposição, sempre precária, de elementos heterogêneos reunidos mediando atores e comunidades diversas, em meio a diversas outras traduções. Uma tradução/translação raramente entra em cena sem contestações e dificilmente poderia se sustentar isoladamente. Vejamos algumas traduções/translações que, tomadas em seu conjunto, conformaram o PPF do NCE/UFRJ:

Primeira tradução/ translação
Desenvolvimento do PPF = melhor serviço prestado aos professores e alunos usuários do NCE

A equipe de pesquisa e desenvolvimento do NCE avaliou que uma vez pronto e instalado o PPF tornaria o sistema IBM-1130 muito mais rápido e que os usuários seriam bem melhor atendidos, pois o tempo de espera entre a entrega de seus programas e o recebimento da resposta diminuiria drasticamente.⁵⁷ Note que como toda tradução/ translação, esta também tem um grau de arbitrariedade. No universo mais ou menos aberto de possibilidades havia muitas formas de melhorar o atendimento aos usuários do NCE.⁵⁸ No entanto, embora o NCE buscasse também a aquisição de um computador de maior porte, a tradução/ translação {IBM 1130 + PPF = IBM 1130 mais rápido = melhor serviço prestado aos professores e alunos usuários do NCE} fortificou-se a ponto de corporificar-se em um projeto de pesquisa.

⁵⁷ O sistema IBM 1130 funcionava na modalidade chamada “batch”. Os usuários entregavam seus programas em cartões perfurados a um operador através de um balcão e aguardavam as respostas impressas em formulário contínuo e colocadas em escaninhos organizados alfabeticamente.

⁵⁸ Observe-se que provavelmente a tradução/ translação mais usual em um CPD (centro de processamento de dados) seria outra: o encaminhamento a financiadores de um pedido para a aquisição de um sistema de maior porte, isto é, {melhor serviço prestado aos professores e alunos usuários do NCE = aquisição de um novo computador para substituir o IBM 1130}.

Segunda tradução/translação
Desenvolvimento do PPF = economia de divisas para o país

Segundo Aloysio Biondi, “as conseqüências mais graves da falta de desenvolvimento de tecnologia nacional estão na eterna dependência em relação a empresas estrangeiras. Em 1973, segundo o Ministério da Indústria e Comércio, o Brasil gastou 400 milhões de dólares com a importação direta de tecnologia, isto é, com o pagamento pelo uso de patentes, assistência técnica, marcas e arrendamento de equipamentos”⁵⁹.

Cada um dos sistemas IBM-1130 custava algumas centenas de milhares de dólares.⁶⁰ Muitos deles estavam sendo utilizados 24 horas por dia e, portanto, as instituições onde eles estavam instalados consideravam sua substituição. Além disto, uma grande porcentagem destes sistemas, talvez 50%, estavam instalados em universidades e centros de pesquisa apoiados por programas do BNDE⁶¹, ou seja, a decisão sobre o que fazer com estes sistemas estava em última instância fortemente concentrada em uma entidade ou ator social. Havia na época uma grande carência de dólares. O custo do PPF produzido em uma operação de produção industrial seria uma pequena fração do preço de um sistema IBM 1130. Como a adição do PPF na prática fazia com que o sistema IBM 1130 que o recebesse concluísse em 12 horas o trabalho de 24 horas, evidenciava-se a oportunidade de adiar por períodos relativamente longos a importação de novos sistemas para substituir os velhos IBM 1130. Eis aí algo que permitiu que, justamente em uma época de escassez aguda de dólares, o desenvolvimento do PPF colocasse em cena a economia de divisas para o Brasil. O PPF fortificou-se e sua

⁵⁹ BIONDI, A., *O preço invisível da tecnologia*, DADOS e idéias, ago-set 1975, p.25.

⁶⁰ O preço da configuração básica constituída por uma unidade central de processamento de 8Kbytes (64000 bits aproximadamente), uma unidade de disco removível de 1Mbytes, uma impressora de tambor capaz de imprimir 110 linhas por minuto e uma leitora de cartões perfurados atingia US\$ 110.000,00.

⁶¹ Atual BNDES.

existência ganhou densidade tornando equivalentes o objetivo do BNDE de economizar os escassos dólares da época e o objetivo do NCE de melhorar seus serviços. O PPF fortificou-se aliando duas instituições cujos objetivos heterogêneos tornou equivalentes.

Uma tradução/translação raramente tem condições de manter sua coesão sem justapor-se ela mesma a outras que a apóiam e são por ela apoiadas, formando um “tecido sem costura”.

Entre inúmeros motivos, a idéia de economizar divisas, reduzir ou adiar importações era um forte argumento para o desenvolvimento do PPF, devido principalmente ao aumento do preço do petróleo e uma grave crise cambial que se formaria na primeira metade da década de 1970. (SCHMITZ, Eber - entrevista)

Terceira tradução/translação

Desenvolvimento do PPF = autonomia tecnológica para o Brasil

Algumas ações do governo brasileiro, no final dos anos 1960s, já sinalizavam a preocupação com o desenvolvimento de tecnologia, como exemplo a criação do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), criado através do Decreto 719 de 31 de julho de 1969, assinado pelo então presidente Costa e Silva. O FNDCT tinha a finalidade de dar apoio aos programas prioritários no desenvolvimento científico e tecnológico, especialmente para a implantação do Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.⁶² Segundo esse decreto, a assistência financeira do FNDCT seria prestada através de repasse de outros fundos e entidades com iniciativas específicas.

No início dessa década, José Pelúcio Ferreira do BNDE, promovia debates com a participação de professores e especialistas do setor de informática. Segundo DANTAS (1988, p. 40) “Pelúcio desejava alterar o

⁶² Ministério da Ciência e Tecnologia: <http://www.mct.gov.br>

quadro existente em que todo o conhecimento tecnológico e de engenharia, associados a grandes projetos industriais, eram importados”. Com isso, surgiu o fundo de auxílio para projetos tecnológicos nacionais – FUNTEC, que seria financiador do projeto PPF.

Em 1974, os circuitos eletrônicos de processamento de números fracionários estavam na vanguarda dos produtos da indústria de computadores. Não havia, nos EUA, na Europa, ou no Japão, uma tentativa de padronização e muito menos um consenso sobre sequer que algoritmo utilizar para as operações de ponto flutuante nos computadores. Como deixei claro em capítulo anterior, cada fabricante escolhia isolada e independentemente seu algoritmo. Os processadores eletrônicos de números de ponto flutuante podiam ser adquiridos como um dispositivo adicional, oferecido somente para os computadores de maior porte, e a capacidade de fazê-los estava restrita a poucos fabricantes que a guardavam a sete chaves. Portanto, a construção do PPF era na época um projeto de alto risco tecnológico, um desafio de grande monta, uma vez que teria que ser feito, como foi, sem o apoio da IBM.

A IBM se recusou a adotar o PPF. De fato, ela não apoiou o projeto. Todos achavam que pelas vantagens e velocidades de processamento que acrescentavam ao computador, seriam facilmente comercializados. A IBM recusou-se a vender o PPF em conjunto com unidades do IBM-1130. (DIDIER, A., entrevista)

Assim, para o grupo de projetistas do NCE/UFRJ, o desenvolvimento bem sucedido do PPF e os métodos adotados em sua pesquisa evidenciariam uma capacidade tecnológica básica, limitada, porém significativa, sobre a qual poderia ser erguido com segurança um edifício para a engenharia eletrônica digital brasileira. A reprodução desta capacidade em maior escala dotaria o país de uma autonomia no setor, no sentido de ter aqui a capacidade de projetar praticamente qualquer artefato eletrônico digital.

Esta autonomia estava em foco nos meios militares⁶³ devido a então recente aquisição de fragatas inglesas, uma primeira geração de armamentos cujo bom funcionamento dependia de computadores embarcados cuja manutenção independente, por sua vez, representava um grande desafio para os técnicos da Marinha Brasileira.⁶⁴

Novamente o PPF fortificou-se, agora através de uma aliança tácita. Não houve envolvimento direto entre a Marinha e o NCE, como veremos que aconteceu no caso do BNDE, mas novamente o PPF mediou uma aliança tácita ao tornar equivalentes dois objetivos institucionais heterogêneos.

Os males da dependência tecnológica eram também debatidos entre os profissionais do setor, conforme depoimento de Biondi.

Em todos os setores é conhecido o fato de as matrizes estrangeiras centralizarem a realização de pesquisas em seus países. Em curto prazo, essa distorção representa gastos crescentes em dólares no pagamento de tecnologia importada. Em longo prazo, ela representa a impossibilidade de o país vir a produzir determinados bens, por falta de avanço tecnológico.⁶⁵

Além desta, que outras traduções/ translações justapuseram-se para ao final dar ao PPF a densidade de um objeto?

Quarta tradução/translação

Desenvolvimento do PPF = infra-estrutura de laboratório industrial para a Microlab = criação de empresas nacionais de tecnologia de ponta

O NCE não tinha os meios para disseminar o uso do PPF no país, uma expectativa decorrente das traduções/translações que vinculavam o

⁶³ A Marinha pretendia capacitar-se tecnologicamente, de forma a poder realizar a manutenção desses computadores e fabricá-los no futuro. Era o início da construção de um computador nacional que seria desenvolvido pela USP, conhecido como Patinho Feio. Para detalhes sobre o Patinho Feio, Márcia Oliveira Cardoso – Tese UFRJ/IM/NCE 2003 “O Patinho Feio como construção sociotécnica”.

⁶⁴ A Marinha do Brasil havia adquirido na Inglaterra através de seu Programa de Renovação dos Meios Flutuantes, fragatas equipadas com computadores.

⁶⁵ BIONDI, A., *O preço invisível da tecnologia importada*, DADOS e idéias, set-1975, p. 25.

PPF à economia de divisas e à autonomia tecnológica. Além de não ter aqueles meios, o NCE, como órgão universitário, não via maneira de adquiri-los diretamente. A equipe de pesquisa do NCE procurou a Microlab, uma pequena empresa do Rio de Janeiro fabricante de equipamentos eletrônicos simples voltados para a área de controle de processos. Como quase todas as empresas brasileiras em setores de tecnologia de ponta, a Microlab tinha dificuldades de reunir capital.

A Microlab, naquele época, era uma empresa pequena, com todas as dificuldades e problemas normais. Tinha muito know-how em eletrônica linear, mas pouco conhecimento na área de eletrônica digital. Tinha ótimos profissionais em eletrônica e mecânica, mas poucos recursos financeiros. (MENEZES, entrevista)⁶⁶

A Microlab foi a 1ª empresa no Brasil a projetar, produzir e colocar equipamentos profissionais no mercado, utilizando tecnologia de circuitos integrados. O PPF foi muito importante, pois conhecimento tecnológico se acumula. (DIDIER,A., entrevista)

O PPF foi a minha reafirmação como engenheiro. Aprendi muito com este projeto. Descobri com ele o que era o ambiente da indústria e da iniciativa privada. A MICROLAB foi a minha casa por 14 anos e sinto muito pela forma como ela acabou. Foi uma escola para mim. (MENEZES, A., entrevista)

Apresentava-se assim a possibilidade de uma forte aliança, novamente reunindo diversos objetivos heterogêneos em um único. Juntos o NCE e a Microlab reuniam elementos que, adicionados a recursos financeiros, poderiam dotar o PPF de um corpo sólido, traduzindo-o/ trasladando-o para a chamada realidade dos fatos. O PPF tornou-se também equivalente aos objetivos empresariais da Microlab, uma pequena empresa nacional. E naquela época o BNDE, além de estar conjunturalmente interessado na economia de divisas, tinha também como um de seus principais objetivos o desenvolvimento da empresa nacional, especialmente no setor de bens de capital. Uma tradução/ translação amplia, prolonga, apóia e é apoiada por outras. O PPF fortifica-

⁶⁶ Entrevista com o Engenheiro Antonio Menezes, 54, responsável pelo projeto PPF na empresa

se na rede como um nó que media, vincula e alia três instituições heterogêneas em meio a um complexo entrelaçado de objetivos também heterogêneos.

Quinta tradução/translação

Desenvolvimento do PPF = pesquisa original de valor acadêmico

Durante a década de 1970, a equipe de pesquisadores/professores do NCE, acompanhada por equipes de outras universidades,⁶⁷ colocou em cena uma outra equivalência: a idéia da pesquisa universitária de vanguarda, com valor acadêmico, tradicionalmente associada às fronteiras dos conhecimentos ditos universais, foi traduzida/ transladada para as fronteiras do conhecimento local. Para os profissionais destas equipes, a legitimação da atividade de pesquisa passa a ser também um assunto de alçada local, ou seja, se os engenheiros brasileiros não sabem como um processador de ponto flutuante é construído, então é tão legítimo para a universidade brasileira pesquisar este produto de uma tecnologia estrangeira desconhecida quanto pesquisar um fenômeno natural (pesquisa de conhecimentos ditos universais). Os métodos e as qualidades dos esforços de pesquisa de um coletivo local para descobrir como funciona um fenômeno que se apresenta já construído por uma tecnologia estrangeira⁶⁸ que não revela seus segredos para os locais, não difere do esforço a ser despendido para descobrir os segredos de um fenômeno que se apresenta como natural. Assim a legitimidade de apoiar “pesquisa original” foi traduzida/transladada para a legitimidade de apoiar “pesquisa tecnológica local do que é localmente desconhecido”. Esta tradução/translação deu respeitabilidade acadêmica ao tipo de desenvolvimento tecnológico feito

Microlab (realizada em 22/06/2004).

⁶⁷ Além do NCE/UFRJ, havia equipes universitárias de desenvolvimento de tecnologia de computadores em diferentes departamentos, especialmente naqueles ligados à engenharia e à física, além da informática, e especialmente na USP, PUC/RJ, UFMG e UFRGS.

⁶⁸ Tal como a multiplicação controlada de dois números fracionários em átomos de segundo.

pelas equipes do NCE/UFRJ e de outras universidades brasileiras na época.⁶⁹

A tradução/ translação {Desenvolvimento do PPF = pesquisa original de valor acadêmico} não ficou restrita aos muros dos departamentos de filosofia e epistemologia, mas transbordou para o “mundo-da-vida”,⁷⁰ pois ela legitimou o financiamento do desenvolvimento do protótipo do PPF com recursos “a fundo perdido” pelo BNDE através do contrato BNDE/FUNTEC N.º 216. Esse contrato estipulava que o NCE/UFRJ transferiria para a Microlab o know-how necessário para reproduzir o PPF. Neste mesmo contrato o BNDE adquiriu da Microlab as cinco primeiras unidades produzidas, vendidas ao preço de custo do desenvolvimento do projeto. Desta forma o BNDE financiou tanto o NCE/UFRJ quanto a Microlab, ao comprar da Microlab cinco unidades do PPF por ela fabricadas, que o BNDE destinou a outras universidades que usavam sistemas IBM-1130 de propriedade do BNDE.

Sexta tradução / translação
Desenvolvimento do PPF = conclusão de mestrados

Os alunos envolvidos no desenvolvimento do PPF contribuíram significativamente para que houvesse a capacidade de absorver e criar tecnologia. O interesse dos alunos era concluir seus mestrados. A noção de tradução dá conta, perfeitamente, de formular essa equivalência entre atividades distintas. Os conhecimentos obtidos em um valem para o outro. Desistir do PPF é o mesmo que desistir do mestrado. Os aliados

⁶⁹ Observe-se que hoje, passados 30 anos, os pedidos de patentes e os compromissos de “non disclosure” nas universidades do primeiro mundo, especialmente americanas, atestam que esta tradução/ translação está se tornando de certa forma a opção preponderante na política do conhecimento nos países desenvolvidos. Com a relativização do conhecimento universal, os resultados antes ditos “universais” das atividades de pesquisa universitária, que almejaram desenvolver conhecimentos “originais”, passam a ter sua circulação regulada e balizada pelos limites das redes locais.

⁷⁰ Tomamos este termo emprestado à fenomenologia de Edmund Husserl.

com os quais eles podem contar não lhe permitem considerar outra coisa a não ser a perseguição da tradução iniciada.

A dissertação de mestrado de Mário Martins – Processamento de Ponto Flutuante – definiu o conjunto de micro-instruções necessárias para a implementação das instruções de ponto flutuante e a conseqüente definição do posicionamento dos diodos na placa ROM, assim como o projeto de uma lógica para complementar a implementação das instruções. Essa dissertação também apresentou uma arquitetura para a implementação de operações de ponto flutuante para o computador PDP 11/10.

Os colegas que trabalharam comigo no projeto foram: Diogo Fujio Takano, Eduardo Peixoto Paes e Newton Faller como projetistas. Edson do Prado Granja, Luiz Otávio Lobato dos Santos e Pedro Salenbauch eram colaboradores e Eber Assis Schmitz e Christian Lenz César os orientadores. Havia ainda o José Carlos Vidacura que implementou um simulador das rotinas armazenadas na memória de microprograma e desenvolvidas por mim.

A memória do micro-programa, do tipo ROM, foi implementada pelo Eduardo Paes que se baseou em seu projeto de fim de curso de graduação. O Diogo Takano projetou um circuito que chamávamos macros, para execução rápida de operações de multiplicação e divisão e normalização de números de ponto flutuante. (MARTINS, M. – entrevista)

O PPF gerou duas dissertações de mestrado. Mário Ferreira Martins desenvolveu o micro-código para operações de soma, subtração, multiplicação e divisão. Diogo Takano desenvolveu um circuito para execução de operações de multiplicação e divisão. (SCHMITZ, Eber – entrevista)⁷¹

O protótipo completo do PPF funcionou pela primeira vez em 6 de fevereiro de 1974. A dissertação de mestrado de Diogo Fujio Takano, “Unidade de Fita Cassete e Circuito de Macro de Operações do Processador de Ponto Flutuante para o Sistema IBM-1130”, em dezembro de 1974. A dissertação de mestrado de Mário Martins – “Processador de

⁷¹ Entrevista com Eber Schmitz – engenheiro participante do projeto do PPF, professor orientador de teses sobre o PPF – realizada em 18/03/2004 no NCE/UFRJ.

Ponto Flutuante para o IBM-1130” – foi apresentada em fevereiro de 1975.

A minha participação no PPF me deu experiência em termos de projeto tanto lógico quanto elétrico facilitando grandemente a implementação dos projetos que se seguiram. (MARTINS, M. – entrevista)

Sétima tradução/translação

Desenvolvimento do PPF = integração universidade / empresa

O projeto PPF foi uma boa injeção de dinheiro na Microlab, [que] investiu em equipamentos e ferramentas e treinou pessoal... Além do apoio do pessoal de mecânica e desenho, a equipe contava com 3 montadores e 2 estagiários fixos. (MENEZES, entrevista)⁷²

O PPF foi pioneiro. Foi a primeira vez que o pessoal fez um projeto usando circuito integrado no Brasil. Depois do PPF a coisa decolou ... [Em 1974, a] Microlab era uma das poucas empresas [brasileiras], senão a única, que possuía capacitação para manusear artefatos digitais. (DIDIER, Antonio - entrevista)⁷³

Juntou-se, portanto, às demais traduções/ translações mais uma, também acariciada pelo BNDE: {Desenvolvimento do PPF = integração universidade-empresa}.

As traduções/ translações, assim como os (sujeitos-)objetos que elas conformam, são sempre provisionais e, além disto, raramente se dão sem contestações e oposições que colocam em xeque sua capacidade de resistir e condicionam sua extensão. Em permanente transformação, as traduções/ translações modificam as redes e os (sujeitos-)objetos a ponto de não se distinguirem neste tecido sem costura. Como todos os objetos, o PPF também foi algo provisional, em transformação, e desfez-se quando se esgarçou sua rede, quando a capacidade de criar novos e ou

⁷² Entrevista com o Engenheiro Antonio Menezes, 54, responsável pelo projeto PPF na empresa Microlab (realizada em 22/06/2004).

⁷³ Entrevista com o Comandante Antonio Didier, dono da empresa Microlab (realizada em

manter antigos vínculos foi fortemente contestada e foram-se rompendo os vínculos que sustentavam as traduções/ translações que conferiam à rede densidade suficiente para fazer acontecer um objeto “real”, algo que passou do “pólo latente ao pólo manifesto”.⁷⁴

Para redes extensas, de grande escala, atores poderosos de porte nacional como o BNDE, o projeto PPF (construção do protótipo pelo NCE e a reprodução industrial de 5 unidades pela Microlab) enfeixava uma seqüência de traduções/ translações que levavam o PPF à condição de mediador em redes de escala nacional e até internacional:

{Desenvolvimento do PPF = integração universidade-empresa} ← →

{Desenvolvimento do PPF = criação de empresas nacionais de tecnologia de ponta} ← →

{Desenvolvimento do PPF = economia de divisas para o Brasil} ← →

{Desenvolvimento do PPF} = {independência do Brasil}

A tradução/ translação {PPF = integração universidade-empresa} fez-se visível tanto no NCE quanto na Microlab, mas a escala a ser abrangida para que ela se ampliasse alcançando a tradução {Desenvolvimento do PPF = independência do Brasil} dependia de outra tradução, a saber, {Desenvolvimento do PPF = construção de um molde industrial}, e esta não se sustentou plenamente diante das contestações dos humanos e dos materiais envolvidos na reprodução industrial do PPF.

Oitava tradução/translação

Desenvolvimento do PPF = construção de um molde industrial

O protótipo desenvolvido pelo NCE era fiado (*wire-wrapped*) sobre placas Cambion[®], uma tecnologia flexível típica da construção de artefatos experimentais em laboratórios. A industrialização deveria

03/04/2004).

⁷⁴ Se adotarmos o referencial de Lévy, Pierre. 1996. O que é o virtual? São Paulo: Editora 34.

substituir a fiação sobre Cambion[®] por placas de circuito impresso, uma tecnologia que exige maior investimento inicial, mas torna-se mais barata quando a produção cresce. Era esta a expectativa de um projeto PPF que pretendia “turbinar”, senão todos, pelo menos algumas dezenas dos computadores IBM 1130 instalados no Brasil.⁷⁵ Isto, no entanto, não aconteceu. O protótipo do NCE utilizava componentes de alta qualidade, com especificações mais rígidas do que os componentes normalmente utilizados na indústria. Isto exigiu o re-projeto parcial do PPF, especialmente o de uma de suas placas. No entanto, mesmo após a resolução deste problema, a Microlab optou por fabricar as 5 unidades reproduzindo o protótipo do NCE, mantendo a fiação e as placas Cambion[®]. Em outras palavras, “entre a construção de um molde industrial e o PPF do NCE/UFRJ havia ainda mais trabalho a ser feito do que haviam imaginado o NCE e a Microlab.”⁷⁶

Ao conceberem o PPF no NCE, os circuitos integrados foram selecionados pela maior velocidade de resposta. O produto não funcionou na indústria. Tivemos que ajustar o clock para permitir sua operação com componentes de mercado. A experiência para ajustar o clock do PPF foi marcante e custou cerca de 1 mês de trabalho e testes. (DIDIER, A., entrevista)

Nona tradução/translação

Desenvolvimento do PPF = um IBM-1130 mais desejado

Uma outra tradução/ translação antes implícita, mas de grande influência sobre as possibilidades das escalas a serem atingidas, foi contestada e não se sustentou: {Desenvolvimento do PPF = um IBM 1130 mais desejado}. Esta contestação consubstanciou-se na falta de pedidos para outras unidades do PPF além das cinco previamente adquiridas pelo BNDE. Há muitas possíveis razões para esta ausência de novos pedidos,

⁷⁵ Esta pretensão era plausível não só para a equipe do NCE e para a Microlab, mas também para um órgão como o BNDE em meio a uma ditadura que se surpreendeu sem dólares para levar adiante seus planos desenvolvimentistas.

⁷⁶ Entrevistas com Professor Eber Schmitz e Engenheiro Menezes.

que variam, por exemplo, desde uma ação de marketing/vendas ineficaz por parte da Microlab até uma representação equivocada dos processos decisórios e dos desejos dos agentes em meio a uma penúria cambial: “todos acham bom economizar dólares contanto que seus desejos de modernização convencional não sejam afetados”.

Na época, a Microlab não trabalhava no mercado de computadores de modo que não tínhamos marketing ou vendas nessa área, necessários para comercializar o produto sem o apoio da IBM. (DIDIER, A., entrevista)

Um estudo do BNDE de 1971⁷⁷ afirmava ser notoriamente conhecido que muitos executivos se decidiam pela compra de um computador mais por “ambições de status e prestígio do que por um cálculo econômico adequado”. Esse estudo mostrava que, apesar do elevado índice de crescimento de 47% do setor de computação no ano 1974/1973, alguns técnicos duvidavam das vantagens do país em autorizar a importação de computadores, no quantitativo corrente da época. O fenômeno ociosidade raramente era lembrado quando se discutiam os problemas do setor. “A revista da Comissão das Atividades de Processamento Eletrônico – Capre – revelou em julho de 1974 que o país possuía 2.772 computadores de todos os tipos e tamanhos em funcionamento. Apesar do índice de crescimento em relação ao ano anterior de 47%, o crescimento de minicomputadores no período atingiu 67%, enquanto a elevação do número de grandes computadores instalados chegou a 60%. Os estados de São Paulo e Guanabara representavam 72% do mercado nacional. Este levantamento realizado pela Capre foi realizado com quatorze fabricantes.”⁷⁸

Alguns técnicos eram favoráveis a maior racionalização do uso do computador no país. “O secretário executivo da Capre, Ricardo Adolfo Saur, admite que muitos técnicos de computação acreditam que é melhor profissional quem opera máquinas maiores e, portanto mais complexas, o

⁷⁷ ERBER, F. E. – Estudo sobre o setor de Processamento de Dados no Brasil, BNDE 1971, p.66

que, nestes casos, representaria também um fator de influência para que a empresa ou órgão público substituísse equipamentos menores por maiores e mais modernos, mesmo que o volume (e complexidade) do serviço não justificasse a troca.”⁷⁹

Outro depoimento, de Sérgio Lacerda, diretor da Datamec, importante empresa privada prestadora de serviços do setor, declarou “realmente ninguém de boa fé no Brasil pode negar a ociosidade em matéria de computadores. O que existe é ociosidade mesmo, e tanto é verdade que na última vez que discutimos este assunto, os próprios representantes dos fabricantes de equipamentos no Brasil o reconheceram, mas eles apenas procuram fazer uma distinção, que é um dever deles, entre ociosidade qualitativa e quantitativa. Na realidade o que existem são ambas. Nós temos as duas. Nós temos realmente um problema de desperdício e de baixa utilização”.⁸⁰

A reportagem da revista *Dados e idéias* denunciava que, segundo especialistas do setor, os problemas nacionais nesta área poderiam ser solucionados com computadores menores. Esses computadores menores poderiam ser fabricados pela indústria nacional e o PPF, foi o primeiro passo para atingir essa meta.

De qualquer forma, sem uma escala mínima, ou seja, sem novos pedidos do PPF, a tradução/translação {Desenvolvimento do PPF = economia de divisas para o Brasil} e {Desenvolvimento do PPF = criação de empresas nacionais de tecnologia de ponta} dificilmente se sustentariam e a tradução/ translação {Desenvolvimento do PPF = independência do Brasil} deixou de poder ser feita em fato para esvaecer-se em uma ficção no final dos anos 1970.

⁷⁸ DADOS e idéias – ago/set 1975. p. 9

⁷⁹ XAVIER, Rui – A discutida realidade da Ociosidade do computador no Brasil – Dados e idéias – ago/set 1975. pág.9

⁸⁰ ERBER, F. E. – Estudo sobre o setor de Processamento de Dados no Brasil, BNDE 1971, p.66.

John Law utiliza o termo “flexibilidade interpretativa” quando aliados com interesses distintos se reúnem e negociam em torno de um objetivo comum. Os professores universitários estavam preocupados em criar um mercado de trabalho qualificado para os profissionais recém-formados e que durante os anos de academia aprendiam como projetar computadores. Os militares preocupavam-se com a segurança e julgavam importante saber abrir as caixas-pretas existentes em suas esquadras e armamentos. Os administradores das empresas estatais necessitavam definir posições estratégicas que os tornassem menos dependentes dos fornecedores estrangeiros. Também desejavam solucionar problemas do dia a dia utilizando artefatos que poderiam ser desenvolvidos no país. Além disso, todos entendiam que, uma vez capacitados a projetar *hardware* e *software*, as condições de negociação com os principais fabricantes seriam, em muito, facilitadas. Os artigos da revista *Dados e Idéias* e as edições do Jornal *Datanews* apresentam a tradução da engenharia reversa praticada nesse período.

CONCLUSÃO

Este trabalho identificou as traduções/translações que convergiram no desenvolvimento do PPF. Foram muitas as razões e os objetivos heterogêneos dos atores dessa rede, que contribuíram para o seu desenvolvimento, destacando o aspecto coletivo da tecnociência.

No primeiro momento, procurou-se mostrar porque uma operação com números fracionários, ou conforme denominada pelos profissionais de informática, operação com números de ponto flutuante, são mais complexas. Através da apresentação das principais divergências no embate travado para a definição de um padrão para a aritmética de ponto flutuante objetivou-se reforçar a complexidade da construção dessa caixa-preta. Vimos que a iniciativa de desenvolver processadores de ponto flutuante para máquinas de médio e pequeno porte nos Estados Unidos, principal pólo de desenvolvimento da informática naquela época, ocorreu alguns anos após a iniciativa do NCE. Isso demonstra o pioneirismo dessa iniciativa. A equipe do NCE cumpriu importante papel na comunidade de informática e prosseguiu com o desenvolvimento de outros artefatos após o projeto do PPF.

No segundo momento, retornamos no tempo para os lugares onde esse artefato foi desenvolvido, com objetivo de retratar os atores mobilizados em torno dessa rede, assim como algumas controvérsias surgidas e os desafios enfrentados. Eles atuaram no estabelecimento de alianças com outros atores, com a comunidade de informática, com outros engenheiros e alunos, com a sociedade, com as instituições que receberam as unidades de PPF.

O PPF se encontra no cruzamento de diversas redes heterogêneas que ele tem por função enlaçar umas às outras. Ele não é só um objeto tecnológico. Ele constitui por si só, uma rede sociotécnica. Para entender sua natureza híbrida se fez necessário entender o processo de

sua construção, isto é o recrutamento de aliados humanos e não-humanos que tiveram que ser mobilizados para lhe dar ao mesmo tempo sua forma e robustez.

Descrever o PPF como um ponto numa multiplicidade de relações heterogêneas que ele mobiliza e mantém juntas e que em retorno lhe dão sua coerência, e não como um simples objeto, conduz a noção de ator-rede que une conteúdos científicos e sociedade. A teoria ator-rede junta todos os elementos, humanos ou não-humanos, que foram recrutados em um momento ou em outro da construção do PPF e que são associados a ele: o próprio NCE, circuitos integrados, placas Cambion[®], o laboratório utilizado para os testes e construção, professores e estudantes, Microlab, Engenheiro Menezes, BNDES, mestrandos. Todos esses atores; participaram juntos, formando uma rede que explica e é o próprio desenvolvimento desse processador desenvolvido pela equipe do NCE.

Na construção da tecnociência temos que incluir todas as pessoas e todos os elementos que foram recrutados ou que estão fazendo parte do recrutamento. (LATOURET, 2000, p. 162)

A metáfora da rede heterogênea de John Law⁸¹ sugere que sociedade, organizações, agentes, computadores, são todos efeitos gerados em redes. Somente algumas vezes tomamos consciência das redes que estão por trás e que constituem uma universidade, um objeto, uma instituição. Se uma rede age como elemento único ela é substituída pelo efeito que ela produz e pelo autor que aparentemente a produz.

A rede formada por uma comunidade de um campo tecnológico inclui atividades que envolvem um conjunto de especialistas: engenheiros, professores, inventores, bancos, estudantes de pós-graduação e investidores. A existência de brasileiros nessas comunidades explica, de

⁸¹ LAW, J., *Notes on the theory of Actor-Network ordering, strategy and heterogeneity*, Systems Practice, vol. 5, n4, 1992, p. 384

certa forma, a intimidade (ou falta de) brasileira com a tecnologia.⁸² Estudiosos apontam que, a existência de meios e mecanismos de construção de laços sociais através de universidades, tarefas comuns, congressos, seminários e publicações que sirvam de foro para as discussões, permitem que as comunidades existam concretamente. Para que essa comunidade tenha representatividade, é necessário um mínimo de praticantes, que construirão traduções conforme os diversos campos de especialização e necessidades da nação.

Em 1971, o encontro de Ivan Marques, Newton Faller e Eber Schmitz contribuiu para o projeto extremamente audacioso aqui descrito: desenvolver o PPF. Além de ser um grande desafio, a idéia tinha força própria. O projeto não consistia apenas em desenvolver um artefato, mas envolver o NCE nas primeiras iniciativas para o desenvolvimento da indústria nacional de informática.

No entanto, essa não foi uma iniciativa isolada. No início dos anos 1970s, assistimos à formação voluntária da comunidade de profissionais envolvidos com o setor de computação, que através de periódicos e congressos, identificaram interesses convergentes e estabeleceram a comunicação entre ciência e tecnologia e o cotidiano da sociedade em que estavam inseridos.

Ysmar Vianna, do NCE, foi um dos organizadores do IV Secomu em 1974 – Seminário de Computação na Universidade. Nesse encontro, havia um clima de mobilização, uma sensação que a comunidade acadêmica estava prestes a se engajar em algum movimento, ainda indefinido, pela capacitação tecnológica. Nessa ocasião, vários protótipos com chances de industrialização eram desenvolvidos nas universidades. O LSD dava prosseguimento ao protótipo G-10 na USP⁸³, a Unicamp iniciava estudos em comunicações óticas, o concentrador de teclados do Serpro estava sendo utilizado, o PPF estava prestes a ser industrializado pela Microlab e a PUC prosseguia com o desenvolvimento do software do G-10. (DANTAS, Vera, 1988)

⁸² Marques, I., *O feitiço se volta contra o feiticheiro: conseguirá Caramuru dominar a sua mágica?*, Cetem/CNPq, Junho de 1993, p.3

⁸³ O G-10 ficou conhecido como o computador brasileiro Patinho Feio desenvolvido pela USP

A publicação da revista DADOS e idéias, projeto do engenheiro Mário Ripper com apoio de Moacyr Fioravante no Serpro e do engenheiro José Presciliano Martinez, também contribuiu para facilitar a comunicação da comunidade de informática. O objetivo era fornecer dados como “modelos de políticas adotados por outros países, projetos universitários, entre outros assuntos. Na época, as questões sobre a dependência tecnológica no país, a necessidade de transferência de tecnologia e a possibilidade de se instituir uma indústria de computação no Brasil, fervilhavam na comunidade ligada à área de tecnologia da informação”. (DANTAS, 1988, p. 97)

Nesse mesmo período, importantes acontecimentos ocorridos nos EUA influenciariam a história dos computadores. Os minicomputadores, menores que os *mainframes*, tiveram grande desenvolvimento com destaque para a série PDP da DEC a partir da década de 1970, com grande diversidade de produtos, principalmente devido ao mercado OEM⁸⁴. Entretanto, foi o desenvolvimento dos microprocessadores, e conseqüentemente dos computadores pessoais que causou grande impacto no mercado. Empresas que se consideravam inabaláveis, como a IBM, sofreram enormes prejuízos e com sua avaliação errônea comprometeram sua posição no mercado. Teria a história do computador pessoal através de sua inserção na contra cultura, com jovens entusiastas que, heróicos, produziam tecnologia em suas garagens, contribuído para a idéia de desenvolver tecnologia no Brasil do início dos 1970s?

Alguns atores do desenvolvimento do PPF, como Eber Schmitz e Ivan Marques, podem, de certa forma, ter sido influenciados com os movimentos da contra cultura ocorridos na Califórnia. (BIANCHI, Paulo – Mimeo)

⁸⁴ MARQUES, I., O momento decisivo para o computador brasileiro, DADOS e idéias ago-set 1975, p.13. “O desenvolvimento do mercado OEM (Original Equipment Manufacturer) criou as facilidades, antes praticamente inexistentes, para o aparecimento de um novo ator - integrador independente de sistemas ou VAR (Value Added Retailer) - que produz e comercializa com marca própria, um sistema, cujas diversas partes ele compra de fabricantes diferentes no mercado OEM.”

Segundo Callon, “Basta mudar a lista de atores autorizados a negociar, a ordem de sua intervenção, a morfologia das interações e também os meios pelos quais atores ‘representados’ podem ser envolvidos para que outras técnicas sejam desenvolvidas”. (CALLON, 1995, p. 317)

Nesta reconstituição das alianças formadas, o acontecimento decisivo foi o apoio fornecido pela emergente comunidade de informática, que identificava as vantagens da constituição de um saber teórico diretamente assimilável pela indústria. Esse saber teórico foi divulgado através de palestras para a comunidade de informática que se tornou porta-voz do projeto do processador de ponto flutuante. .

A estratégia de divulgação contribuiu para fortalecer o lugar e a importância crescente das pesquisas. “O projeto aparece em jornais de informática e é divulgado em Congressos e Seminários de Informática. Em 1973, os integrantes do projeto PPF participam do Congresso Sucusu realizado no Hotel Glória, Rio de Janeiro. Entre os palestrantes estavam Newton Faller e Pedro Salenbauch.”⁸⁵

Um outro ator importante dessa rede era o grupo formado por empresários responsáveis pelos principais centros de processamento de dados do país, representado prioritariamente pelas empresas estatais. O estudo realizado por José Martinez, cujo título era “O círculo vicioso da dependência tecnológica⁸⁶”, publicado na revista Dados e idéias de agosto de 1975, expressava a preocupação dos administradores de estatais com a dependência tecnológica. Segundo Martinez, no início dos anos 1970s, a execução de tarefas um pouco mais complexas em centros de processamento de dados, exigia a participação do técnico da empresa fornecedora do computador importado. Não raro, para solucionar

⁸⁵ DANTAS, V., *A Guerrilha Tecnológica: a verdadeira história da política nacional de informática*. Rio de Janeiro, LTC-Livros Técnicos e Científicos Ed. 1988, p. 89.

⁸⁶ MARTINEZ, J., *O círculo vicioso da dependência tecnológica*, DADOS e idéias, ago-set 1975, p. 5

problemas era necessário substituir peças ou o próprio computador. Essa dependência tecnológica preocupava os profissionais de TI responsáveis pela gestão dos centros de computação de importantes organizações. Não se tratava de um sentimento que pudesse ser confundido com xenofobia, mas sim preocupação estratégica. “Uma empresa como a Petrobrás, responsável pela compra de 70% do petróleo adquirido pelo país no exterior no início dos anos 1970s, além de ser única responsável pela descoberta e exploração do produto no país, transporte e processamento, não deveria depender do fornecedor estrangeiro. Pelo menos, não com esse grau de dependência”. Para esses profissionais, a única forma de diminuir os riscos implícitos na situação era desenvolver no país a tecnologia de eletrônica digital em todos os seus aspectos.

No quarto capítulo do presente trabalho, as traduções/translações do PPF foram apresentadas. Já no primeiro ciclo concepção/ adoção do PPF, estabeleceu-se uma primeira equivalência entre um campo de pesquisa e um objetivo político: construir o PPF era dominar a tecnologia da informática no Brasil. As demais traduções operadas pelo PPF o consolidaram, na época, como um ator-rede que se estendeu cada vez mais longe, no exterior do laboratório do NCE. Nesse contexto, o PPF foi a tradução de integração universidade-empresa e de autonomia tecnológica no setor de informática. Outra importante tradução foi a de transformar em fatos os objetivos de segurança dos militares que queriam abrir as caixas pretas dos computadores embarcados em seus navios. Havia também o objetivo do governo de economizar divisas em uma época de dólares escassos. O PPF foi desenvolvido a partir de uma série de traduções/translações, que foram apresentadas através dos atores envolvidos.

A empresa Microlab teve uma atuação importante. Foi uma das primeiras empresas brasileiras a conhecer e trabalhar com circuitos digitais, engenharia com a qual se identificou. Cumpriu importante papel. Ela também se beneficiou com o projeto, não só pelo financiamento que

permitiu a aquisição de novos equipamentos, mas principalmente pelo conhecimento absorvido.

As técnicas que aprendemos com o desenvolvimento do PPF foram utilizadas posteriormente na fabricação de nosso PABX digital.

Quando assumimos o projeto, o protótipo funcionava, o que garantia a viabilidade. Era um projeto de bancada. Não havia um plano industrial para realizar essas ligações sem erro (mais de 1000). Fizemos as placas de circuito impresso. A caixa do equipamento, seu painel frontal, conexões de entrada e saída, foi tudo desenvolvido na Microlab. (DIDIER, A., entrevista)

A unidade de PPF montada pela Microlab foi utilizada, pela primeira vez no NCE/UFRJ, em 2 de maio de 1974.⁸⁷ As cinco unidades do processador de ponto flutuante foram entregues ao NCE.

No ITA, o PPF foi instalado em 1975 permanecendo em uso até a substituição do IBM-1130 por uma rede de micros, em 1985. Conforme depoimento do professor Omar Mackenzie⁸⁸, o uso do PPF apresentou ganhos significativos para os alunos que utilizavam aquele computador. No IME, o PPF foi instalado em 1975 e utilizado até o ano de 1979, quando o IBM-1130 foi desativado. Conforme relato do coronel Campos⁸⁹, a implantação do artefato apresentou melhoria significativa de desempenho do IBM-1130 naquela instituição. Na Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, o PPF foi instalado em 1975 e desativado em 1983, segundo depoimento do professor Bruno Queiroz.

Apesar da indicação do engenheiro Menezes, responsável pelo projeto na Microlab, a instalação de uma das unidades do PPF na UFMG não foi confirmada pelo professor do departamento de Ciência e Computação, Ivan Moura Campos. Conforme relato do professor Nívio Siviane, o IBM-1130 foi desativado em 1987 na UFMG. Não há

⁸⁷ Relatório anual 1978 - UFRJ/NCE

⁸⁸ Omar Mackenzie, engenheiro, professor titular do ITA, entrevista realizada em março de 2004.

⁸⁹ Coronel Campos, oficial responsável pelo CPD do IME, entrevista realizada em 6 de maio de 2004.

registros na UFRJ sobre o destino das unidades do PPF, conforme pesquisa realizada nos arquivos com ajuda do prefeito da UFRJ, Sr Helio de Matos Alves. A pesquisa para identificar o destino da última unidade estendeu-se por diversas universidades brasileiras. Na Universidade Federal São Carlos, o professor Marcos Santana do departamento de Ciência da Computação, informou que o processador não foi instalado naquela instituição. Na Universidade Federal de Uberlândia, o diretor Sérgio Schneider informou que não recebeu uma das unidades do PPF. Da mesma forma, na USP, o professor do departamento de Ciência da Computação, Caetano Treina Jr, informou que a Universidade não recebeu uma das unidades do PPF. Finalmente, o diretor da empresa Noronha Engenharia, Vilson Kasper confirmou que uma unidade do processador de ponto flutuante foi acoplada ao IBM-1130 da empresa, inclusive “para realizar os cálculos da Ponte Rio Niterói”. O IBM-1130 foi desativado em 1983, quando foi substituído por uma rede de micros.

A história do PPF traduz os interesses dos seus construtores com a autonomia tecnológica, sob o pano de fundo do início da crise cambial, e do objetivo de construir máquinas de cômputo nacionais. Essa história não é a história dos engenheiros ou das universidades, mas a da rede heterogênea que tudo englobou. A observação das traduções dos atores envolvidos permite-nos verificar a ausência de um fato único que através de evolução constante e controlada deu origem ao seu desenvolvimento. Na história aqui contada, nota-se a ocorrência de inúmeros eventos, com propósitos diferentes, que são traduzidos, conduzindo, assim, ao PPF como o conhecemos. Ela inviabiliza um único cientista descobridor, mas contempla uma série de atores.

Boa parte da historia do desenvolvimento costuma cultivar a idéia de progresso separada da economia e da política. Tal dificuldade relaciona-se ao fato de que as idéias de evolução e progresso partem do pressuposto que são ambos inevitáveis, resultantes de forças naturais.

Porém, para uma história sociotécnica, tecnologias resultam de interações complexas entre ciência e sociedade.

A história mostra que, enquanto avanços científicos ocorrem nos países desenvolvidos, os países denominados periféricos, entre eles o Brasil, não costumam, salvo raras exceções, passar de admirados expectadores. Durante o século XX, criou-se um grupo de países intermediários, entre os quais o Brasil, que não se basearam em exploração de recursos naturais e conheceram casos notáveis de crescimento. O cenário permitiu a formulação de visões otimistas, tudo indicava que esses países reduziam a distância que os separava dos líderes.

O cenário mudou nos últimos anos. Uma das explicações para a limitação do crescimento desses países é que como as atividades que garantem ganho diferenciado modificam-se ao longo do tempo, a conquista e a manutenção de uma posição de vanguarda não podem depender do controle de um setor, tecnologia ou mercadoria específica. É fundamental possuir independência no processo de inovação, ou seja, capacidade permanente de criar novas formas de produção e novas tecnologias que concentram em si a dinâmica da inovação. Os países que possuem essa capacidade conseguem recriar atividades, obtendo as posições de comando na divisão mundial do trabalho.

Ao tentar somente copiar as tecnologias, os países ficam sujeitos a uma forte pressão competitiva que diminui sua importância e sua rentabilidade, pelas economias dos países desenvolvidos, que permanecem em sua posição privilegiada definindo as atividades produtivas mais vantajosas. A desigualdade permanece. Não se consegue superar a condição periférica nem mediante o simples uso de recursos naturais nem mediante a simples cópia de produtos e tecnologias dos países desenvolvidos. É necessário preparar condições que permitam romper a dependência.

Esse estudo buscou entender as muitas traduções do desenvolvimento do processador de ponto flutuante. A mais expressiva tradução, operada pelos atores dessa rede, foi a necessidade de dar os primeiros passos para independência, mesmo que parcial, da indústria nacional de informática. O PPF foi uma tentativa de criar condições para o salto que, acreditava-se tornaria possível dominar essa tecnologia no Brasil.

No entanto, o drama do desenvolvimento do PPF na liturgia da tecnologia estrangeira encenada no Brasil guarda semelhanças com os desenvolvimentos de outros artefatos de informática por equipes brasileiras na década de 1970. Em seu conjunto, estes artefatos lograram mediar entre o uso indiscriminado da tecnologia da informática pronta, trazida de fora, e a independência do Brasil. Isto até 1980, quando o general Figueiredo assume o comando da ditadura militar e cria a SEI, que justapôs algumas das traduções similares às descritas acima a outras redes, enclausurando-as em outros coletivos e re-configurando a Política Nacional de Informática em um desenho autoritário.⁹⁰

⁹⁰ Marques, I. 2003. Minicomputadores brasileiros nos anos 1970: uma reserva de mercado democrática em meio ao autoritarismo in História Ciências Saúde – Manguinhos. Vol. 10, No. 2, Maio-Agosto. Rio de Janeiro: Casa de Oswaldo Cruz. p. 657-681.

REFERÊNCIAS

BELL, T. *Homens da Matemática*. New York, Simon e Schuster de Eric, 1986.

BIANCHI, Paulo. *E assim se passaram, quem diria, vinte anos*, Mimeo

CALLON, Michel. *Technological conception and adoption network: lessons for CTA practitioner*. In: *Managing technology in society*. London, Pinter publishers, 1995.

CALLON, M., “*Some Elements of a Sociology of Translation: the Case of the Scallops and Fishmen of St. Brieuc Bay*”, in Law(1986)

CARDOSO, Márcia Oliveira. *O Patinho Feio como construção sociotécnica*, Tese UFRJ/NCE/IM, 2003.

CHRISTIAN CESAR, e outros. *Processador de Ponto Flutuante para o Sistema IBM-1130*, SUCESU, 1973.

DANTAS, Vera. *A guerrilha tecnológica: a verdadeira história da política nacional de informática*. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos Ed. 1988

DEVLIN, K.T. *The Language of Mathematics: Making the invisible visible*, New York, W.H. Freeman & Company, 1998.

BIONDI, A., *O preço invisível da tecnologia importada*, DADOS e idéias, Rio de Janeiro, SERPRO, v.1, n.1, p. 22-25, set-1975.

ERBER, F. E. *Estudo sobre o setor de Processamento de Dados no Brasil*, BNDE 1971, DADOS e idéias, ago/set 1975.

EDWARDS, Paul. *The Closed World: computers and politics of discourse in Cold War America*. Cambridge, Massachusetts The MIT Press 1996

LATOUR, Bruno. *A esperança de Pandora*. São Paulo, EDUSC, 2001.

LATOUR, Bruno. *Jamais fomos modernos*. Rio de Janeiro, Editora 34, 1994.

LATOUR, Bruno. *Science in action*. Cambridge, Massachusets: Harvard University. 1997.

LATOUR, Bruno. *Ciência em Ação*, São Paulo, Ed. UNESP, 2000.

LAW, John. *Notes on the theory of Actor-Network: ordering, strategy and heterogeneity*. Systems Practice, vol. 5, n.4, 1992.

LAW, John. *The Laws of the Markets*, London, Blackwell, 1998.

LAW, J., *Power, Action, and Belief: a New Sociology of Knowledge?*, Sociological Review Monograph, Londres, Routledge and Kegan Paul, 1986.

LEVY, Pierre. *O que é virtual*, São Paulo, Editora 34, 1996.

MackENZIE, D. *Knowing Machines Essays on Technical Change*, London England, The MIT Press, 1996.

MARTINEZ, José. *O círculo vicioso da dependência tecnológica*. DADOS e Idéias, Ago-Set 1975.

MARTINS, Mário. *Processamento de Ponto Flutuante*, Tese UFRJ/NCE/IM, fev-1975.

MARQUES, Ivan da Costa. *O momento decisivo para o computador brasileiro*, DADOS e idéias. Rio de Janeiro, SERPRO, v.1 n.1, p. 13-16, ago/set. 1975.

MARQUES, Ivan da Costa. *Computação na UFRJ: uma Perspectiva*, CAPRE. Bol.inf. Rio de Janeiro, v.2 21-28, abr/jun. 1974.

MARQUES, Ivan da Costa. *O feitiço se volta contra o feiticeiro: conseguirá Caramuru dominar a sua mágica?* CNPq, junho de 1993.

MARQUES, Ivan da Costa. *Minicomputadores brasileiros nos anos 1970: uma reserva de mercado democrática em meio ao autoritarismo in História Ciências Saúde*. Manguinhos. Vol. 10, No. 2, Maio-Agosto. Rio de Janeiro: Casa de Oswaldo Cruz, 2003.

ROZENTHAL, David; MEIRA, Silvio Lemos. *Os primeiros 15 anos da Política Nacional de Informática: O paradigma e sua implementação*.

TAKANO, Diogo, *Macro operações do Processador de Ponto Flutuante para o Sistema IBM-1130*, dez/1974, Tese UFRJ.

XAVIER, Rui. *A discutida realidade da Ociosidade do computador no Brasil*. Dados e idéias, ago/set 1975.

PÁGINAS DA WWW CONSULTADAS

MCT – Legislações. Ministério da Ciência e Tecnologia. Disponível em www.mct.gov.br/legis/decretos, consultado em 10/09/2003.

IBM Antitrust Unbundling – disponível em www.hagley.lib.us/1980.htm#boxfolder3, consultado em 02/12/2004.

ENTREVISTAS / DEPOIMENTOS

BRABO, Reginaldo, Técnico hardware IBM, técnico responsável pela manutenção IBM do NCE nos anos 1970s, Rio de Janeiro, 22 de junho de 2004, entrevista telefônica.

CAETANO, T. Jr., professor do departamento de Ciência da Computação da USP, Rio de Janeiro, 9 de março de 2004, entrevista telefônica.

CAMPOS, Ivan Moura, Engenheiro, professor do departamento de Ciência e Computação da Universidade Federal de Minas Gerais, Rio de Janeiro, 16 de março de 2004, entrevista telefônica.

CAMPOS, C., Oficial responsável pelo CPD do IME, Rio de Janeiro, 3 de março de 2004.

DIDIER, Antonio, Engenheiro eletrônico, proprietário da Microlab, Rio de Janeiro, 20 de março de 2004.

KASPER, Vilson, Engenheiro diretor da Noronha Engenharia, Rio de Janeiro, 14 de maio de 2004.

MackENZIE, Omar, Engenheiro, professor do ITA, Rio de Janeiro, 21 de maio de 2004.

MARTINS, Mário, Engenheiro da equipe do projeto do PPF, Rio de Janeiro, 1 de abril de 2004 e 15 de abril de 2004.

MENEZES, Antônio, Engenheiro da Microlab, participou do desenvolvimento do PPF no NCE e também da transferência para a Microlab, Rio de Janeiro, 22 de junho de 2004, entrevista telefônica.

PAES, Eduardo, Engenheiro membro da equipe do projeto PPF e professor do NCE, Rio de Janeiro, 14 de setembro de 2003.

QUEIROZ, Bruno, Professor da Universidade Federal de Campina Grande, Rio de Janeiro, 30 de março de 2004, entrevista telefônica.

SANTANA, Marcos, Engenheiro, vice-reitor da Universidade Federal de São Carlos, Rio de Janeiro, 20 de abril de 2004, entrevista telefônica.

SCHMITZ, Eber, Engenheiro e professor orientador de teses sobre o PPF, Rio de Janeiro, 1 de abril de 2004.

SCHNEIDER, Sérgio, diretor do departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia, Rio de Janeiro, 6 de maio de 2004, entrevista telefônica.

MANUAIS IBM

IBM-1130 Subroutine Library, Form GC26-5969-5 para sub-rotinas aritméticas e funcionais

IBM-1130 Assembler Language, Form C26-5927

ANEXOS

ANEXO A

ENTREVISTA REALIZADA COM O ENGENHEIRO MÁRIO MARTINS

Data das entrevistas: 01/04/2004 e 15/04/2004

1. Qual a sua idade?

M: 56 anos, completados no dia 28 de novembro de 2004.

2. Onde se formou? Em quê?

M: Na Escola de Engenharia da UFRJ, em 1972, em Eletrônica.

3. Onde trabalha atualmente? Há quanto tempo?

M: Trabalho no NCE desde o começo de 1974, no início como estagiário, tendo sido efetivado a partir de 1º de novembro de 1974.

4. Quando aconteceu o convite para participar do projeto PPF? Foi no início do mestrado?

M: O convite aconteceu em meados de 1973. Eu havia iniciado o meu mestrado em fins de setembro de 1972. Eu e um grupo de colegas da COPPE fomos convidados pelo Ivan da Costa Marques – que havia feito doutorado em Berkeley – para fazer parte do projeto de um processador que, ligado ao computador IBM-1130, o faria executar operações aritméticas muito mais rapidamente. A defesa de tese aconteceu em fevereiro de 1975.

Os colegas que trabalharam comigo no projeto foram: Diogo Fujio Takano, Eduardo Peixoto Paes e Newton Faller como projetistas. Edson do Prado Granja, Luiz Otávio Lobato dos Santos e Pedro Salenbauch eram colaboradores e Eber Assis Schmitz e Christian Lenz César os orientadores. Havia ainda o José Carlos Vidacura que implementou um simulador das rotinas armazenadas na memória de microprograma e desenvolvidas por mim.

A memória do micro-programa, do tipo ROM, foi implementada pelo Eduardo Paes que se baseou em seu projeto de fim de curso de graduação. O Diogo Takano projetou um circuito que chamávamos macros, para execução rápida de operações de multiplicação e divisão e normalização de números de ponto flutuante.

5. Como foram definidos os materiais, equipamentos a serem utilizados?

M: Alguns itens foram facilmente definidos. Como exemplo, a placa apropriada para fazer o protótipo foi a Cambion[®], e não houve discordância porque era a melhor.

Todo o projeto consumiu 12 placas de circuitos integrados da marca Cambion[®] (das pequenas) próprias para protótipos. Os integrados da Texas ou Signetics eram pastilhas retangulares em sua grande maioria com 14 ou 16 pinos (metade em cada lado ao longo do comprimento) e eram fixados em suportes chamados soquetes (da Cambion[®]). Os tais soquetes tinham do outro lado pinos correspondentes, porém longos, retos e de seção quadrada. As placas eram vazadas e, no final da montagem existiam integrados e soquetes de um lado e pinos longos do outro. As conexões eram feitas do lado dos pinos usando fios muito finos e uma pistola apropriada para enrolar os fios nos pinos utilizando a tecnologia wire-wrapping.

Para ligarmos dois pinos cortávamos um fio com comprimento 3 cm maior que a distância entre eles e desencapávamos 1,5 cm em cada extremidade. A ponta (delgada) da pistola tinha um orifício maior no centro e um menor junto a ele. No menor colocávamos uma das extremidades desencapadas e posicionávamos a ponta da pistola para encaixarmos todo o pino no orifício maior e

apertávamos o gatilho. O furo menor e, conseqüentemente, o fio girava em torno do pino.

6. Qual tinha sido a experiência anterior ao projeto no desenvolvimento de equipamentos similares?

M: Nenhuma.

7. Ocorreram muitas controvérsias ou obstáculos na definição do projeto?

M: Controvérsias, eu não recordo. Mas tivemos alguns problemas operacionais. Quando o projeto estava preste a funcionar, o Faller descobriu que precisava criar um pequeno atraso na leitura do ROM. Eu sugeri que, como havia sobrado algumas linhas (palavras) na tal memória, bastava usá-las para criar os atrasos (desvios incondicionais), mas não havia mais diodos disponíveis. Um colega meu foi ao laboratório do 3º andar do bloco H [da COPPE] pegar alguns diodos. Como eu tinha um mapa da memória comigo, consegui re-agrupar alguns diodos, sem alterar o programa e criar os tais desvios. Assim foi feito e tudo finalmente funcionou sem gastar um diodo a mais!

8. Esses obstáculos foram resolvidos de que forma?

M: O nosso processador tinha um *clock* que gerava uma onda quadrada de 400ns de período, sendo 100ns no nível lógico 0 e 300ns no nível lógico 1, ou seja, eram gerados pulsos de 300ns de largura separados entre si de 100ns. Esses valores foram escolhidos em função dos integrados que chegamos a usar e de seus inerentes atrasos. Como você sabe, existe (fisicamente) um atraso (delay) entre a mudança de estado na entrada de uma porta lógica e sua correspondendo mudança na saída. Imaginemos, p. ex., uma porta lógica NAND, de tecnologia TTL, e com todas as suas entradas no nível lógico 1. Se quaisquer de suas entradas

mudar para o nível 0, a saída da porta só ira mudar dali a 15ns (valor 'pior caso' fornecido pelo manual). No caso de uma operação de adição, p. ex., teremos um atraso bem maior exigido pela ALU que, internamente, possui vários níveis de portas lógicas (o manual também nos fornece o tempo necessário para tal operação). Considerando agora uma micro-instrução que, digamos, soma os conteúdos de dois registradores carregando o resultado em um deles (ou em um terceiro), é necessário então, levar em conta mais alguns atrasos referentes às barras de dados (no nosso caso, do tipo *open-collector*). O tempo total gasto em uma micro-instrução inclui, além dos atrasos mencionados, o tempo gasto entre endereçar uma linha da ROM e seu conteúdo ter sido lido e decodificado: na nossa ROM, cada linha, ou seja, cada micro-instrução, tinha seu conteúdo (campo 'útil' de seis bits) em uma forma codificada, devendo ainda passar pelos tais decodificadores (integrados 4006).

Em funcionamento normal, o clock do PPF gerava uma seqüência interminável de pulsos de 300ns separados por 100ns, mas, na fase de depuração, como poderíamos testar alguma coisa com os dados mudando o tempo todo? Foi criado então um circuito adicional visando à fase de teste (e também de manutenção) e que permitia controlar o clock e fazê-lo evoluir transição a transição, e os dados ficavam estáticos para que pudéssemos medi-los com os instrumentos. Podíamos também avançar micro-instrução a micro-instrução (para avançar mais rápido nos testes).

Cada placa tinha, ocupando quase toda a largura de um de seus lados, um conector (macho) com duas fileiras de 35 pinos (uma fileira do lado dos integrados e a outro do lado da fiação). No fundo de cada *rack* havia 13 conectores (fêmeas) correspondentes aos conectores das placas e que permitiam fixação das placas. Cada

lateral da placa, vizinha ao conector, podia deslizar por ‘trilhos’ (um par para cada placa) existentes no *rack* permitindo introduzir a placa até o fundo. Quando a placa chegava ao fundo do *rack*, sua fixação (física e elétrica) se completava com auxílio de duas ‘orelhas’ (uma em cada canto do lado da placa mais para fora) que também permitiam ‘desplugar’ a placa para retirá-la sempre que fosse necessário. Quando precisávamos medir algum sinal em uma placa utilizávamos um extensor: ele era simplesmente uma placa com 70 filetes (35 em cada face) tendo em uma de suas extremidades um conector macho (similar ao de uma placa comum) e que era encaixado no fundo do rack e na outra extremidade um conector fêmeo similar aos que havia no rack para fixação das placas. Desse modo a placa ficava inteiramente acessível para depuração.

9. Como eram as instalações do laboratório da COPPE? Os testes de controle de qualidade foram feitos lá?
- M: O laboratório em que foram iniciados os testes do PPF ficava no 3º andar do bloco H (pertencente a COPPE) e tinha todos os equipamentos, uma vasta gama de componentes e manuais. Além de osciloscópios e fontes de alimentação, lembro-me também de um testador de componentes que traçava inclusive a curva característica de uma boa gama de componentes (diodos, transistores, etc.). Tinha também uma calculadora (eletrônica) de mesa, programável. A fase final de testes do PPF (janeiro e fevereiro de 1974) foi feita no bloco B junto ao IBM-1130, mas ainda vinculada a COPPE. Os projetos seguintes foram todos desenvolvidos e testados já no NCE.
10. Quando acabou o projeto do PPF, o que fez, que possa ser considerado consequência ou ganho de *know-how* acumulado com o desenvolvimento do PPF?

M: O protótipo do PPF foi considerado 100% depurado acho que em fevereiro de 1974. Nos meses que se seguiram, colegas meus de mestrado trabalharam no projeto de um terminal inteligente (TI). A idéia era desenvolver depois diversos periféricos para esse terminal e eu cheguei a colaborar em alguns desses projetos. O Serafim Brandão Pinto, p. ex., desenvolveu o TCD (Testador de Circuitos Digitais) que seria seu projeto de fim de curso da Engenharia. Eu cheguei a fazer rotinas de testes para 35 diferentes integrados da família TTL 74xx (1975 / 1976). O Ernst Willy Küffer, outro estagiário, desenvolveu, orientado por mim, um programador de PROMs genérico (1976 / 1977) -- seu futuro projeto de fim de curso, também na Engenharia -- que viria a ser outro periférico do TI. Eu, em meados de 1975, passei a estudar também os diversos manuais do computador PDP-11/70 que estava para ser instalado no NCE. O projeto de uma CPU de médio porte -- eu fui um dos quatro integrantes desse projeto que se iniciaria na segunda metade de 1975. O objetivo era para desenvolver hardware compatível com o software daquele computador, ou seja, nós projetamos um hardware que aceitava o software do PDP-11. A minha participação no PPF me deu experiência em termos de projeto tanto lógico quanto elétrico facilitando grandemente a implementação dos projetos que se seguiram.

11. O Sr. se lembra do custo ao redor do projeto de industrialização do PPF? O Sr. se lembra de coisas que foram feitas e que deixaram de ser feitas por argumentos de custos?

M: Como eu não estava diretamente envolvido com essa parte do problema, minha lembrança atualmente é um pouco nebulosa.

12. O Sr. acha que a transferência para a Microlab foi bem sucedida? O NCE entregou que tipos de documentos, esquemas etc?

M: A informação que eu tenho é que os (poucos) exemplares do PPF industrializados pela Microlab chegaram a funcionar em diferentes locais do país, mas não lembro de mais detalhes. Quanto aos documentos, passamos para o Menezes -- que tinha sido estagiário no NCE e depois foi funcionário da Microlab -- os esquemáticos com os circuitos, descrição das microinstruções (e mapa da ROM de diodos), alterações no software do 1130 (poucas, suponho) para permitir sua conexão com o PPF e, enfim, todo tipo de informação necessária.

13. Como o projeto acabou?

M: Não lembro como ocorreu.

14. O que mais você quer dizer sobre o PPF? Sobre o NCE? Sobre o que o Sr. quiser, por favor.

M: Sobre o PPF eu não lembro de mais nada no momento. Sobre o NCE o que posso dizer é que trabalhei em alguns de seus projetos (além dos já citados) como o Corisco (chefiado pelo Eber) onde foram desenvolvidos editor de esquemáticos, editor hierárquico de lay-out, etc. Eu desenvolvi um roteador de canal e lay-outs de 'ladrilhos' usados na construção de PLA. O projeto ARCO (chefiado pelo Salek), onde foram desenvolvidos processador e software capazes de gerar o *lay-out* de uma placa de circuito impresso. Eu desenvolvi também um ordenador de sinais, toda a interface gráfica com o usuário e ainda otimizei a rotina de roteamento por software e finalmente o projeto Controlab (chefiado pela Eliana Aude) que desenvolveu um braço mecânico e atualmente um veículo autônomo. Nesse projeto, minha participação é o reconhecimento de imagem e colaboração em outras áreas como definição de trajetória.

Muito obrigada.

ANEXO B

ENTREVISTA REALIZADA COM O ENGENHEIRO ANTONIO MENEZES

Data da entrevista: 22/06/2004

1. Qual a sua idade?

M: 54 anos

2. Onde se formou? Em quê?

M: Engenheiro Eletrônico, 1973, Escola de Engenharia da UFRJ

3. Quando o Sr. começou a trabalhar na Microlab?

M: Novembro de 1974, na transferência de tecnologia do PPF

4. Quanto tempo o Sr. trabalhou na Microlab?

M: 14 anos

5. O Sr. foi contratado para fazer a transferência do PPF da universidade para a Microlab?

M: Sim

6. Qual tinha sido a sua experiência anterior? O que o Sr. fazia antes (na Microlab ou fora dela)?

M: De junho de 1970 até fevereiro de 1974 foi funcionário do NCE. Até abril de 1973 foi programador e, a partir daí, foi para o projeto do PPF. De fevereiro a novembro de 1974 foi engenheiro da TELESP (telefonia), quando fui contratado pela MICROLAB.

7. Quando acabou o projeto do PPF, o que fez depois (na Microlab ou fora dela)?

M: Em resumo, na MICROLAB, em dezembro de 1976 foi designado como engenheiro responsável pela implantação do Sistema de Supervisão e Controle do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro, em janeiro de 1978 fui para o projeto do primeiro PABX Eletrônico projetado e construído no Brasil, em 1980 fui para a transferência de tecnologia da UTR ML7810 do CEPEL para a MICROLAB, onde fiquei até 1988. Em novembro de 1988 fui para a STANDARD ELETRÔNICA na área de Centrais Privadas (PABX) e depois para a área de Centrais Públicas (Trópico R e RA), onde fiquei até 1992. Em maio de 1992 fui para a INEPAR para chefiar a área de desenvolvimento de Sistemas de Automação, onde fiquei até setembro de 1995. A partir daí passei a ser consultor independente, trabalhando atualmente com empresas como a SIEMENS e a ABB, além de outras. Também trabalhei como professor no CEFET-RJ, na UNIVERSIDADE ESTÁCIO DE SÁ e no COLÉGIO LEMOS DE CASTRO, no Rio de Janeiro, e no COLÉGIO ENSITEC, em Curitiba.

8. Para a transferência, o que, do PPF, a universidade entregou à Microlab? Desenhos? manuais? instruções? cursos? ... sobre o PPF?

M: Na primeira fase da transferência, foram entregues a lista de materiais, a lista de fiação (de-para das ligações em wire-wrapping) e os diagramas esquemáticos do protótipo que estava em funcionamento no NCE. Depois o protótipo foi levado para a MICROLAB para conferência da lista de fiação e início da engenharia de produto. Com a lista de materiais foi gerada uma lista de compra (nacionais e importados). Com o protótipo em mãos, foi projetada a aparência final do produto e foram geradas as primeiras instruções de montagem.

9. Como foi a divisão do trabalho, ou seja, como foi decidido e por quem as atribuições?
- M: Até o ponto em que me lembro, o líder do projeto era o Ivan da Costa Marques. No segundo escalão estavam o Christian, o Eber Schmitz e o Newton Faller. Eu entrei no projeto com ele já iniciado: eu era funcionário do NCE até que o Ivan convidou-me para entrar na fase de montagem e testes.
10. Como foi o processo de trabalho na fase de desenvolvimento do protótipo? Quem liderava as reuniões? Qual a periodicidade das reuniões? Quem decidia?
- M: O PPF acabou sendo a tese do Christian e, como já foi dito, eu entrei com o projeto já em andamento. Nas reuniões de projeto, a liderança se concentrava basicamente com o Christian, o Eber e o Faller.
11. Como a IBM reagiu?
- M: Pelo que sei, a IBM apenas consentiu que tivéssemos acesso às máquinas, não se envolvendo diretamente no projeto. Toda a interface com o IBM-1130 foi orientada pelo Faller.
12. O algoritmo desenvolvido para o PPF foi o mesmo utilizado para o IBM-1130, ou ocorreram modificações? Aqui minha dúvida é sobre a lógica do cálculo, se foi idêntico ao do IBM1130, como exemplo complemento a 2, etc.
- M: A formatação dos números em ponto flutuante foi a mesma utilizada pela IBM, mas o algoritmo de cálculo, pelo que me lembro, foi ligeiramente modificado em relação ao algoritmo usado pela IBM.
13. O trabalho do laboratório exige longas horas na bancada. Além disso, há muitas vezes, a necessidade de controlar equipamentos

de diversos tipos; além das interações entre as pessoas. Há ainda, além do trabalho com estudantes, técnicos e colaboradores de pesquisa, o contato com fornecedores ou representantes dos órgãos de financiamento. Como o equipamento IBM-1130 reagiu?

M: No IBM-1130, o que se fez foi utilizar um conjunto de códigos de instrução que a máquina não utilizava para implementar os códigos de instrução particulares do PPF. Basicamente eram instruções de LOAD e STORE longos: o primeiro LOAD era o primeiro operando e o segundo LOAD continha o segundo operando e o código da operação (soma, subtração, etc). A partir daí o PPF mantinha o 1130 em ciclos de WAIT até que a operação fosse realizada. Quando os ciclos de WAIT terminavam, o IBM-1130 executava uma operação de STORE com o resultado da operação. A única modificação de hardware feita no 1130 era interromper a linha de WAIT, fazendo um OU desta linha com o pedido de WAIT gerado pelo PPF Um trecho típico de programa de teste era:

CC3A	Load do primeiro operando
2000	Endereço do primeiro operando
CC2C	Load do segundo operando e pedido de soma
2001	Endereço do segundo operando
	PPF sinaliza WAIT até o fim da operação
CC20	Store do resultado
2002	Endereço do resultado

Para que este novo conjunto de instruções pudesse ser usado, era feito um *patch* no software do 1130 para que fossem geradas estas instruções no lugar da chamada das rotinas de ponto flutuante originais. Quem pode esclarecer melhor estas alterações no software são o Pedro Salembaum e o José Carlos Vidacura.

14. Havia um protótipo. O que precisou ser feito sobre este protótipo para a reprodução industrial? O protótipo era confiável e “copiável”, isto é, era fácil fazer um outro igual e este novo funcionava direto? Não funcionava? Funcionava depois de muito ajuste? Funcionava depois de modificar o quê? O que causava dificuldades para copiar o protótipo, para fazer um produto igual ao protótipo? Era esta a idéia de industrialização do PPF (fazer um “igual”) que se tinha na Microlab ou não? Ou era transformar o protótipo em um produto industrial? Qual a diferença entre um protótipo e um produto para ser montado industrialmente? Diferenças de design? Diferenças de materiais?
- M: A idéia da MICROLAB era, numa primeira fase, apenas reproduzir o protótipo com um layout industrial, mantendo as características construtivas o mais próximo possível do que estava funcionando. Numa segunda fase é que se pensava fazer a nacionalização do produto.
- Na primeira fase, a caixa do equipamento foi projetada já levando em conta o novo layout da fonte de alimentação e a transformação da ROM de diodos em uma placa de circuito impresso. A serigrafia do painel foi projetada pelo Adalberto Torres da Silva, do NCE. A fonte de alimentação foi re-projetada com componentes encontrados no mercado nacional. Começa, então, a surgir o produto PPF.
15. E que idéia de industrialização o Sr. acha que havia na universidade? O protótipo utilizava a tecnologia wire-wrapping (era “fiado” – as interligações eram feitas com fios). A expectativa da universidade é que a Microlab fizesse placas de circuito impresso. Isto foi feito? Sim ou não, e por que motivo? Havia muita diferença entre o material que a universidade utilizou para fazer o protótipo e o material que a Microlab usou na reprodução industrial do protótipo?

M: A idéia da MICROLAB era reproduzir o protótipo o mais próximo possível do que existia. A fiação em *wire-wrapping* foi mantida, assim como as placas e *racks* CAMBION do protótipo. A transformação em placas de circuito impresso demandaria um esforço de engenharia muito grande para o momento, que foi postergado. A placa de ROM do micro-programa, por exemplo, seria transformada em ROM FUSE e os circuitos seriam re-projetados para as novas placas de circuito impresso.

16. Com quem o Sr. interagiu na universidade e como? O Sr. passava muito tempo na universidade? Muita informação era passada verbalmente ou havia informação escrita em quantidade?

M: Como a minha origem era o NCE, tinha total liberdade e acesso a todos os membros da equipe de projeto. Por isto muita coisa acontecia informalmente, sem muita burocracia ou papel.

17. Como eram as instalações da Microlab? Como eram feitos os testes para controle de qualidade? O que a Microlab entregou à universidade? Entregou a sua qualificação pessoal, isto é certo. Em tempo integral? Havia outros? Engenheiros? Técnicos? Desenhistas? Montadores? Instalações de montagem? O Sr. considera que a Microlab deu ao Sr., como responsável e gerente do projeto de transferência do PPF da universidade para a Microlab, recursos adequados à consecução do que o Sr. achava necessário para levar a cabo a transferência? Recursos materiais? Recursos financeiros? Administrativos?

M: A MICROLAB, naquela época, era uma empresa pequena, com todas as dificuldades e problemas normais. Tinha muito know-how em eletrônica linear mas pouco conhecimento na área de eletrônica digital. Sua equipe era composta por ótimos profissionais especializados em eletrônica e mecânica, mas poucos recursos financeiros. O projeto do PPF foi uma boa injeção de dinheiro na

MICROLAB. A MICROLAB investiu em equipamentos e ferramentas para a área digital, treinou pessoal, e disponibilizou os recursos necessários para o projeto. Além do apoio do pessoal de mecânica e de desenho, a equipe contava com 3 montadores e dois estagiários fixos. No início da montagem, as placas eram testadas em bancada com pequenas *jigas* de teste e depois integradas no protótipo que estava funcionando no NCE. À medida que a montagem avançava, cada tipo de placa montado era integrado e ficava funcionando no protótipo até completar um equipamento como um todo.

Nesta época, lembro que a placa 4 (macros) precisou ser re-projetada para estabilizar o *timing* (tempo) de alguns sinais de controle, mas foi a única placa das 12 que apresentou problemas de projeto.

18. Existem anotações sobre o progresso do desenvolvimento do PPF, ou seja, sobre o passo a passo da industrialização?

M: Conforme dito anteriormente, não participei de todo o projeto. Na época, as medições feitas indicaram um ganho de 15 vezes nas instruções de ponto flutuante e um ganho médio de 5 vezes na velocidade de processamento dos programas. Em programas com uso massivo de instruções de ponto flutuante, o ganho chegava até a 10 vezes. Quanto a relatórios sobre estes testes, se eles existirem, estão no NCE.

19. Como era feita a manutenção em caso de erro?

M: A filosofia de manutenção, na época, era através da troca de cartões com retorno à fábrica, dos cartões danificados para manutenção, conforme a filosofia IBM. O programa de testes indicava as possíveis falhas e os cartões onde estas falhas poderiam ocorrer. Pouco se fazia na manutenção em campo. O

objetivo era colocar a máquina em operação normal o mais rápido possível.

20. O Sr. se lembra dos argumentos de custo ao redor do projeto de industrialização do PPF? O Sr. se lembra de coisas que foram feitas e que deixaram de ser feitas por argumentos de custos? Como o projeto era visto pela direção da empresa? Pelo comandante Didier? Por outras pessoas (filhos do Didier)?

M: O maior problema do PPF era os componentes importados. No início, a chegada de componentes atrasou um pouco a montagem, mas nada que causasse grande impacto no andamento do projeto. Tudo que era necessário foi feito. Este projeto solidificou a entrada da MICROLAB na era digital.

21. O Sr. estava satisfeito naquele trabalho?

M: Sim. Estava trabalhando no que gostava e num ambiente de trabalho muito bom. A MICROLAB era uma família naquela época.

22. O Sr. acha que a transferência deu certo?

M: De uma forma geral, sim. Depois disso a MICROLAB teve outras transferências de tecnologia, como a remota ML7810 do CEPEL, dos discos e fitas da AMPEX ou das estações rádio de navio da JRC.

23. O Sr. se lembra quantas unidades foram feitas? Onde foram colocadas? Por que foram feitas tão poucas unidades?

M: Foram feitas cinco unidades e todas foram entregues ao NCE. Uma delas foi instalada no NCE, outra no IME e outra foi para o ITA. As duas últimas foram para a UFMG e para a Bahia (não tenho certeza). Nesta época eu já estava no AIRJ responsável pela instalação do Supervisão e Controle.

24. Como o projeto acabou?

M: Até o ponto em que sei, por falta de pedidos adicionais. Toda a estrutura e documentação de produção estavam prontas e a equipe de produção treinada.

25. O Sr. se importa de dizer como saiu da Microlab? Amigavelmente ou não? E por quê?

M: Saí da MICROLAB em 1988, mas continuei a prestar serviços lá até que a área de sistemas foi vendida para a INEPAR. Sempre tive um bom relacionamento com a empresa e com todos lá dentro. Saí talvez por ter recebido uma boa proposta de serviço da STANDARD ELETRÔNICA. Seguramente não foi por causa de dinheiro nem por problemas de relacionamento.

26. O que mais o Sr. quer dizer sobre o PPF? Sobre a Microlab? Sobre o que o Sr. quiser, por favor.

M: O PPF foi a minha reafirmação como engenheiro. Aprendi muito com este projeto. Descobri com ele o que era o ambiente da indústria e da iniciativa privada. A MICROLAB foi a minha casa por 14 anos e sinto muito pela forma como ela acabou. Foi uma escola para mim.

Muito obrigada.

ANEXO C

ENTREVISTA REALIZADA COM O COMANDANTE ANTONIO DIDIER

Data da entrevista: 20/03/2004

1. Qual a sua idade?

D: 80 anos

2. Onde se formou? Em quê?

D: Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York

Engenharia Elétrica, Opção de eletrônica

Master degree in Electrical Engineering 1954

Doctor of Philosophy 1959

3. Quando foi fundada a Microlab?:

D: 1962

4. Quantos sócios havia?

D: Havia três sócios: Antonio Carlos Didier Barbosa Vianna

Paulo Virgilio Didier Barbosa Vianna

Roberto Maurel Lobo Pereira

5. Até quando a Microlab esteve ativa?

D: 1993.

6. Como aconteceu o convite para a Microlab desenvolver o PPF?
Através do convite do NCE? Quem fez o convite?

D: O projeto foi bancado pelo BNDES que ficou com o produto produzido. A Microlab tinha boas relações com o Programa do BNDES que fomentava o desenvolvimento de tecnologias e já havia utilizado o Programa. Não me lembro como foi feita essa

aproximação, mas provavelmente pelo Dr. Amílcar Ferrari que estava lá na época.

7. Qual tinha sido a experiência anterior da Microlab no desenvolvimento de equipamentos similares?

D: A Microlab foi a 1ª. Empresa no Brasil a projetar, produzir e colocar equipamentos profissionais no mercado, utilizando tecnologia de circuitos integrados. O PPF era todo de circuitos integrados e estávamos familiarizados com as técnicas. Tínhamos contato com a Marinha através, entre outros, do tenente Guarani. Ele tinha muita vontade de desatar o nó da Informática no Brasil. Ele sabia que se a Informática se desenvolvesse aqui, a Marinha seria beneficiada. Ele buscava autonomia tecnológica para a Marinha. Porém, ele tinha um problema no coração e morreu cedo. Ele trabalhava muito e usualmente chegava na Microlab às 20:00 horas. Como eu costumava sair da Microlab às 22:00, não era um problema para mim.

8. O Sr acha que foi relevante para a empresa esse projeto?

D: O PPF foi pioneiro. Foi a primeira vez que um pessoal fez um projeto usando circuito integrado no Brasil. Depois do PPF, a coisa decolou. Posteriormente, a SEI ajudou a criar um padrão para discos magnéticos e impressoras, ou seja, para periféricos. O SERPRO fez uma licitação para comprar 1000 terminais e especificou o padrão RS32. Ele obrigou todo mundo a se enquadrar nesse padrão. A partir desse momento, o Brasil passou a ser o único país no mundo onde todos os periféricos podiam ser conectados em qualquer computador, de qualquer fabricante. Quando a IBM se deu conta disso, desenvolveu o IBM compatível. Mas compatível com o que? Com os equipamentos brasileiros. Ela estava perdendo mercado.

O problema mais difícil naquela época era o fato do Brasil não possuir cultura de informática. Certa ocasião, eu reuni cerca de 20 jornalistas na feira de Informática, em São Paulo, e falei sobre todos os problemas da Informática no Brasil. No dia seguinte, encontrei o Gilberto da SEI que comentou o assunto, achando que aquilo não era necessário. Disse para ele que nós precisávamos trazer as pessoas para aquela feira e criar a cultura da informática no Brasil. Ele precisava divulgar a informática no Brasil. Talvez influenciado por esse conselho, ele passou aceitar (até então costumava recusar) os convites para ministrar palestras em todos os lugares onde era convidado.

9. Ocorreram problemas durante o projeto? Que tipos de obstáculos foram sobrepostos pela Microlab?

D: Ao conceberem o PPF no NCE os integrados foram selecionados pela maior velocidade de resposta. O produto não funcionou. Tivemos que ajustar o *clock* para permitir sua operação com componentes de mercado. A diferença de velocidade de resposta foi pequena. Cerca de 4% de diferença no tempo de resposta. Aprendemos que não se pode utilizar componentes selecionados para gerar protótipos que visem aplicação industrial. A experiência para ajustar o *clock* do PPF, foi marcante e custou cerca de 1 mês de trabalho e testes.

O acúmulo de integrados em uma placa requeria a utilização de placas de circuito impresso *multi-layer* não produzidas ainda no mundo. Tivemos de adquirir as ferramentas especiais e fazer os programas de interconexão dos pinos dos circuitos impressos para as operações de *wire-wrapping*, que era a tecnologia disponível na época, mas nunca antes utilizadas pela Microlab porque nossos circuitos nunca exigiram placas *multi-layer*. Essas técnicas foram

utilizadas posteriormente na fabricação de nosso PABX digital.

10. Em quanto tempo o projeto foi concluído? Os prazos foram adequados?

D: Não me recordo exatamente, mas cerca de seis meses. Ficou pronto em 1974. O importante era desenvolver a tecnologia. Isso era o que me movia. Naquela época eu viajava muito e constantemente encontrava o presidente da EBT. Ele contou-me, em uma dessas viagens, que estava pensando em contratar uma pessoa de informática, criando uma Diretoria de Informática. A EBT nunca contratara um especialista em informática. Ela sempre teve pessoas de serviços, porque ela é uma prestadora de serviços. Em um desses encontros, aconselhei-o a comprar equipamentos e colocar um micro na mesa de cada técnico ou engenheiro. Ele fez isso. Criou uma licitação para comprar 1000 micros. Foi quando a EBT decolou. Seus técnicos tornaram-se conhecedores em informática e a EBT dominou o mercado. Interessante, que posteriormente, em diversas empresas brasileiras, seus diretores de informática eram ex-funcionários da EBT. Não sei se consegui expressar a real importância do PPF.

11. Quando acabou o projeto do PPF, o que foi feito na Microlab, que possa ser considerado consequência ou ganho de know-how acumulado com o desenvolvimento do PPF?

D: Conhecimento tecnológico se acumula se a atividade está sendo aplicada desenvolvendo projetos. É o que a Microlab fazia na época como atividade principal. As técnicas aprendidas no projeto do PPF, foram posteriormente utilizadas na fabricação de nosso PABX digital.

12. Havia um protótipo. O que precisou ser feito sobre este protótipo para a reprodução industrial? O protótipo era confiável e funcionava

direito? Não funcionava? Funcionava depois de modificar que componentes? Era esta a idéia de industrialização do PPF (fazer um igual) que se tinha na Microlab ou não? Ou era transformar o protótipo em um produto industrial?

D: Não foi realizado nada igual. Quando pegamos o projeto o protótipo funcionava, o que garantia ser viável. Era um protótipo de bancada. O *wire-wrapping* foi sendo realizado à medida que se colocava e interligava os componentes. Não havia um plano industrial para executar essas ligações sem erro (mais de 1000). Fizemos as placas de circuito impresso. Já foi explicado o motivo de manter o *wire-wrapping*. A caixa do equipamento, seu painel frontal, conexões de entrada e saída, foi tudo desenvolvido na Microlab. Montamos tudo de acordo com os diagramas elétricos. Logo que se ligou, não funcionou. Fato normal de ocorrer em equipamento eletrônico com grande número de componentes. Não utilizamos o NCE para resolver o problema. Essa série de perguntas que você faz estão com as respostas disseminadas nas respostas acima. A idéia era produzir um equipamento profissional industrial.

13. E que idéia de industrialização o Sr. acha que havia na universidade? O protótipo utilizava a tecnologia wire-wrapping (era “fiado” – as interligações eram feitas com fios). A expectativa da universidade é que a Microlab fizesse placas de circuito impresso. Isso não foi feito. Por que motivo?

D: Se ainda hoje o país sente falta de capacidade de industrialização, imagine na época. A Microlab era uma exceção no país por tentar industrializar equipamentos com tecnologias de ponta da época.

14. Como eram as instalações da Microlab? Como eram feitos os testes para controle de qualidade? O que a Microlab entregou à universidade?

D: Não me lembro como o Menezes fez os testes dos PPF. Entregamos 5 equipamentos prontos testados ao NCE.

15. O Sr. se lembra dos argumentos de custo ao redor do projeto de industrialização do PPF? O Sr. se lembra de coisas que foram feitas e que deixaram de ser feitas por argumentos de custos? Como o projeto era visto pela direção da empresa?

D: O projeto de industrialização foi objeto de um Contrato, que foi realizado e pago pelo BNDES. Não me lembro de problemas de custo ou discussões em torno de preços. O projeto não foi caro. Era um equipamento complementar ao Computador IBM-1130 e todos achavam que pelo preço que custou e as vantagens e velocidades de processamento que acrescentavam ao computador, valiam folgado o preço. Infelizmente no Brasil todas as memórias de preço desapareceram com a inflação.

16. O Sr. considera que a transferência bem sucedida?

D: Valeu a iniciativa, mas como se tratava de um complemento de equipamento IBM e ela se recusou a adotá-lo, a industrialização parou ali. Foram felizes os que receberam um exemplar do PPF e ligaram nos seus IBM-1130. Na época, a Microlab não trabalhava no mercado de computadores de modo que não tínhamos marketing ou vendas nessa área, necessário para comercializar por fora da IBM esse produto. O PPF funcionava muito bem.

17. O Sr. comentou há pouco que a Microlab tentou “vender” unidades de PPF em conjunto com a IBM, como um equipamento que, acoplado ao IBM-1130 aumentava muito o seu desempenho. Com quem a Microlab tentou negociar na IBM?

D: Com o Robeli, Presidente da IBM do Brasil.

18. Como o projeto acabou?

- D: Produto que não se consegue comercializar, também não justifica ser produzido. Quem tem os exemplares usa. Acabou o uso porque também acabaram os computadores IBM-1130, tudo acabou.
19. O que ocorreu com os técnicos da Microlab?
- D: Alguns foram aproveitados pela INEPAR que ficou com a parte dos equipamentos eletrônicos. Eu abri uma outra empresa que faz equipamentos mecânicos. Atualmente fabricamos equipamentos para a Petrobrás.
20. O PPF teve participação nesse processo de autonomia tecnológica? E possível reativar esse processo?
- D: Sem dúvida, o PPF foi muito importante. Foi o pioneiro. Entretanto, a estratégia atual não permite essa autonomia. Com a globalização, querem reservar outro papel para o Brasil. Não sei até onde somos independentes. Dizem que sou obstinado. Durante o mestrado no exterior, também cursei todas as matérias do doutorado simultaneamente, durante três anos. Entretanto, na época, a Marinha não permitiu que eu permanecesse na América e conclísse o doutorado. Fiz um pedido formal. A Marinha respondeu afirmando que não precisava de doutores. Mais tarde voltei e durante dois anos fiz o doutorado em engenharia nuclear. Fui convidado para trabalhar e permanecer na América. Entretanto, voltei. O meu lugar era aqui. Precisava ajudar o Brasil que me deu oportunidade de estudar no exterior. Sou grato a Marinha do Brasil por essa oportunidade.
21. O que mais o Sr. quer dizer sobre o PPF?
- D: Não houve interesse comercial de lucros com o Contrato do PPF , mas sim uma compreensão da necessidade de colaboração com o NCE, para desenvolvimento de projetos de tecnologia de ponta aqui no Brasil.

22. O que mais o Sr. Quer dizer sobre a Microlab? Sobre o que você quiser, por favor.

D: Essa compreensão mencionada acima vem de uma orientação própria, pessoal, de sempre insistir em desenvolver tecnologia aqui no país. O povo brasileiro pagou para eu concluir um Mestrado e um Doutorado nos EUA. Sempre fiz o máximo para ajudar os brasileiros procurando retribuir o que recebi e que foi responsável pelas minhas realizações nessa vida. O PPF foi apenas uma entre muitas. Na Marinha, na CBV, na Microlab, na Zimec, onde estiver, e enquanto der, estarei perseguindo essas idéias.

Muito obrigada.

