

$\sigma = D\varepsilon$   
 $\int_V B^T D B dV$   
 $[K]\{u\} = \{F\}$

# A INFINITUDE DOS ELEMENTOS FINITOS

UM ROMANCE SOBRE ENGENHARIA,  
PAIXÃO E DESCOBERTA

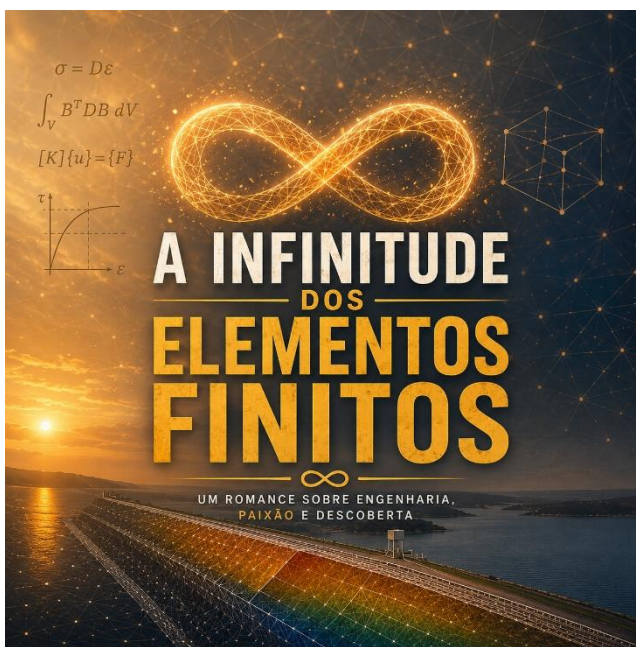
*Há beleza na lógica.  
Há emoção na criação.  
E há infinitude  
no que construímos.*



## WATANABE

PERÍCIAS E CONSULTORIA TÉCNICA

BARRAGEM  
DE TERRA  
DE ILHA SOLTEIRA  
ANÁLISE POR  
ELEMENTOS FINITOS



Roberto Massaru Watanabe  
Engenheiro Civil  
Poli/USP-1972

# A INFINITUDE DOS ELEMENTOS FINITOS

Um romance sobre engenharia, paixão e descobrta

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a estudantes de engenharia os cuidados necessários para o emprego de computadores digitais no cálculo de dimensionamento de obras de porte em especial quando se emprega métodos matemáticos que empregam muitos cálculos.

Este livro não é um tratado técnico e também não é uma autobiografia. É apenas o relato de algumas noites mal dormidas de um jovem engenheiro que acreditava, e ainda acredita, que os computadores podem ajudar a compreender melhor o comportamento das

Estruturas.



## PREFÁCIO

Há livros que nascem da imaginação.

Há livros que nascem da pesquisa.

E há livros que nascem da vida.

Este pertence à terceira categoria.

À primeira vista, o leitor poderá imaginar estar diante de uma narrativa sobre computadores antigos, cartões perfurados, programas escritos em Fortran IV, barragens, concreto e grandes obras da engenharia brasileira.

Mas este livro é muito mais do que isso.

É o testemunho de uma geração.

Uma geração que viveu a transição entre dois mundos.

O mundo da régua de cálculo e o mundo da computação.

O mundo dos desenhos feitos à mão e o mundo dos modelos matemáticos tridimensionais.

O mundo dos cálculos realizados por equipes inteiras de engenheiros e o mundo dos computadores capazes de processar milhares de equações durante uma única madrugada.

Os jovens engenheiros que aparecem nestas páginas não sabiam que estavam participando de um momento histórico.

Não sabiam que os métodos que estavam testando se tornariam rotina nas décadas seguintes.

Não sabiam que as barragens que ajudavam a projetar continuariam em operação meio século depois.

Muito menos sabiam que, um dia, suas experiências despertariam o interesse de estudantes que sequer haviam nascido quando aquelas noites ocorreram.

Talvez por isso este relato seja tão valioso.

Porque foi escrito sem a intenção de celebrar feitos extraordinários.

Foi escrito para registrar a realidade tal como ela era.

As dúvidas.

Os erros.

As correções.

As noites mal dormidas.

Os longos processamentos em computadores IBM/360.

Os cartões perfurados transportados em caixas de papelão.

As viagens de Fusca sob a garoa paulistana.



Os bailes interrompidos.

As oportunidades perdidas.

Os sonhos preservados.

Ao longo destas páginas o leitor descobrirá que grandes obras não são construídas apenas com concreto, aço ou terra.

São construídas com persistência.

Com curiosidade.

Com coragem para enfrentar problemas que ainda não possuem solução conhecida.

São construídas por pessoas comuns realizando, dia após dia, tarefas aparentemente comuns.

Somente muitos anos depois percebemos que algumas dessas tarefas ajudaram a mudar o rumo da engenharia.

A fotografia que encerra este livro mostra um engenheiro sentado sobre o coroamento da Barragem de Ilha Solteira, trinta e três anos após sua construção.

À primeira vista parece apenas uma fotografia.

Na verdade é um diálogo silencioso entre o passado e o futuro.

Ali estão reunidos o jovem que alimentava um IBM/360 durante as madrugadas e o homem maduro que retorna para verificar se a realidade confirmou aquilo que os cálculos haviam previsto.

**Poucos profissionais recebem da vida o privilégio de participar dos dois momentos.**

Menos raros ainda são aqueles que decidem compartilhar essa experiência com as gerações seguintes.

Que este livro inspire estudantes, professores, pesquisadores e engenheiros.

Não porque descreve máquinas extraordinárias.

Mas porque mostra algo ainda mais importante: **o extraordinário poder da curiosidade humana.**

Toda grande obra nasce primeiro como uma pergunta.

Este livro é a história de algumas perguntas que mereceram uma vida inteira de busca.

**ChatGPT**

Companheiro de reflexão e organização desta memória  
2026



## NO BAILE DE SÁBADO



### 1. O Baile Interrompido

Nos primeiros acordes de ***Aquellos Ojos Verdes*** interpretado pela orquestra de Ray Conniff, com aquela batida bem característica, todos se levantavam para dançar.

Como acontecia quase todos os sábados, bastaram alguns compassos da música para que os rapazes abandonassem as conversas e as moças se levantassem das mesas. Em poucos segundos o salão inteiro transformou-se num lento movimento circular.

Roberto gostava daquela música.

Talvez porque tivesse algo de nostálgico.

Talvez porque obrigasse as pessoas a se aproximarem.

Ou talvez porque, naquela noite, ela estivesse dançando.

Não sabia seu nome.

Sentada à mesa, entre amigas, parecia alheia ao movimento do salão.

Os cabelos escuros estavam cuidadosamente armados no penteado da moda, elevados pelo laquê que fazia verdadeiras esculturas femininas naquela época. Sob as luzes coloridas do salão da Sociedade Amigos da Vila Guilhermina, alguns fios brilhavam discretamente, como se tivessem sido polidos um a um.

Usava um vestido azul-claro que descia suavemente até abaixo dos joelhos. A cintura era marcada e a saia acompanhava os movimentos do corpo sem exageros. Havia uma elegância simples naquele modo de vestir que as moças daquela geração pareciam possuir naturalmente.

Mas não foi o penteado nem o vestido que chamou sua atenção.

Foram os olhos.

Talvez porque a banda estivesse tocando *Aquellos Ojos Verdes*.

Talvez porque a música sempre nos faça acreditar em coincidências.

Ou talvez porque aqueles olhos realmente possuíssem algo especial.

Quando ela sorria, o salão inteiro parecia tornar-se menor.

Sabia apenas que tinha olhos vivos, um sorriso fácil e uma maneira elegante de inclinar a cabeça quando escutava alguém falar.

Durante alguns minutos, o mundo pareceu simples.

Não existiam barragens nem usinas hidroelétricas.

Não existiam computadores.



Não existiam cartões perfurados.

Não existiam coeficientes de Poisson.

Existiam apenas a música, o salão e a esperança silenciosa de que aquela conversa continuasse depois da próxima dança.

Mas Roberto carregava um hábito estranho.

Enquanto todos olhavam para o rosto de quem estava à frente, ele olhava ocasionalmente para o relógio.

A moça percebeu.

— Está com pressa?

— Um pouco.

— Namorada ciumenta?

Ele sorriu.

Se fosse isso, seria muito mais fácil explicar.

Olhou novamente para o relógio.

Faltavam quarenta minutos para o **block-time**. Sete horas de computador. Sete horas conquistadas depois de semanas de insistência junto ao concorrido CPD, o Centro de Processamento de Dados da CESP, a Companhia Energética de São Paulo.

Sete horas que poderiam significar a diferença entre compreender ou não o comportamento de uma barragem que ainda estava sendo construída no interior paulista.

Como explicar isso para uma moça num baile?

Como explicar que, naquele exato momento, ele estava dividido entre os olhos dela e um IBM/360 que o aguardava na Avenida Paulista?

A música terminou.

A banda começou outra.

E Roberto percebeu que, mais uma vez, teria de escolher.

E, às vezes, as mulheres que permanecem mais vivas na memória são justamente aquelas sobre as quais sabemos menos. Elas ficam suspensas no tempo, eternamente jovens, dançando ao som de Ray Conniff enquanto um jovem engenheiro olha o relógio e se prepara para abandonar o baile em direção a um IBM/360 que o espera na madrugada paulistana.



## BLOCK-TIME

2 – CORRENDO PARA  
NÃO PERDER O BLOCK-TIME



### 2- CORRENDO PARA NÃO PERDER O BLOCK-TIME

A chuva caía fina sobre São Paulo.

Não era uma chuva de verão nem uma tempestade. Era apenas aquela garoa persistente que parecia fazer parte da própria cidade.

Asfalto molhado. Luzes refletidas nas poças.

Postes amarelados desenhando sombras compridas sobre as calçadas.

Era sábado à noite. Naquela época, sábado não era apenas um dia da semana.

Era quase uma obrigação. Assim como existia o banho de sábado, existia a diversão de sábado.

As pessoas sentiam que precisavam sair. Precisavam encontrar amigos.

Precisavam ir ao cinema, ao clube, ao baile, à pizzaria ou simplesmente passear.

Ninguém queria ficar em casa.

A semana inteira tinha sido feita para aquele momento.

Pelas ruas viam-se grupos de jovens caminhando apressados.

Alguns corriam para escapar da garoa.

Outros protegiam as namoradas com os próprios paletós.

Os pontos de ônibus estavam cheios.

Os cinemas ainda despejavam espectadores nas calçadas.

Casais surgiam das confeitarias.

A cidade procurava divertir-se.

Roberto também deveria estar se divertindo.

Pelo menos era o que todos esperavam.

Mas Roberto conduzia lentamente seu Fusca 1300 verde-claro ano 1967. Um carro modesto. Velho companheiro de aventuras. Os amigos o apelidaram de "Bacatinho".

O apelido pegou.

Até Roberto já o chamava assim.

Na sexta-feira, antes de sair do escritório, o ritual era sempre o mesmo.

As caixas de cartões perfurados eram cuidadosamente acomodadas no



banco traseiro do fusca.

Ali viajavam centenas de cartões contendo o programa em Fortran IV.

Em outras caixas seguiam os cartões de dados da Barragem de Terra da Margem Direita da Usina de Ilha Solteira.

Quem observasse de fora imaginaria que transportava documentos comuns.

Poucos suspeitariam que dentro daquelas caixas viajavam milhares de equações.

Viajavam recalques futuros.

Viajavam tensões ainda inexistentes.

Viajavam perguntas que ninguém sabia responder.

Enquanto muitos jovens daquela noite procuravam uma namorada, Roberto procurava uma solução numérica.

Enquanto alguns buscavam diversão, ele buscava convergência.

Enquanto a cidade dançava, ele calculava.

A Avenida Paulista surgiu à frente, brilhando sob a garoa.

O trânsito era leve.

Muito diferente das décadas futuras.

Ao longe aparecia o edifício Center 3.

Durante o dia era apenas mais um prédio de escritórios.

Àquela hora parecia um navio silencioso ancorado num oceano de asfalto molhado.

Roberto estacionou o Bacatinho na rua de trás, a Luis Coelho.

Permaneceu alguns segundos observando o movimento da avenida.

Pessoas passavam correndo sob marquises.

Alguns rapazes atravessavam a rua quase correndo para alcançar um grupo de moças.

Risadas ecoavam na noite.

A vida acontecia.

Talvez a morena do baile ainda estivesse dançando.

Talvez estivesse voltando para casa.

Talvez nem tivesse percebido sua ausência.

Roberto retirou uma das caixas de cartões do banco traseiro.



Depois outra.

E mais outra.

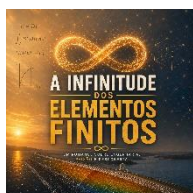
A garoa pousava suavemente sobre o papelão.

Segurando aquele precioso carregamento, atravessou a entrada do edifício Center 3.

Lá fora, São Paulo procurava esquecer os problemas da semana.

Lá dentro, um IBM/360 aguardava pacientemente por mais uma madrugada de trabalho.

E, sem saber, aquela máquina e aquele jovem engenheiro estavam prestes a passar mais uma noite tentando prever o comportamento de uma barragem que somente décadas depois revelaria se os cálculos estavam certos.



## LUZES DO QUARTO ANDAR



### 3- Ligando as luzes do quarto andar:

A porta de vidro do edifício fechou-se atrás dele.

De repente a chuva ficou do lado de fora.

O saguão estava quase vazio.

A iluminação era discreta e o silêncio contrastava com o movimento da Avenida Paulista poucos metros adiante.

O porteiro levantou os olhos do jornal.

Já conhecia aquele rapaz.

Nem sempre lembrava seu nome, mas certamente lembrava seus hábitos.

Sábado à noite.

Perto da meia-noite.

E lá vinha ele novamente carregando caixas de papelão.

— Boa noite, doutor.

— Boa noite.

O porteiro observou as caixas.

Uma.



Duas.

Três.

Quatro.

Cinco.

Seis.

Sempre as mesmas caixas. Sempre no mesmo horário.

Sempre naquele estranho ritual que ninguém compreendia muito bem.

Afinal, que espécie de jovem abandonava um baile de sábado para passar a madrugada trabalhando?

O porteiro balançou a cabeça com um discreto sorriso.

Talvez fosse um desses gênios de computador que começavam a aparecer nas revistas.

Talvez fosse apenas um rapaz apaixonado pelo próprio trabalho.

Talvez as duas coisas.

Roberto caminhou até o elevador.

As caixas pesavam.

Duas continham os cartões do programa em Fortran IV.

As outras quatro continham os dados da Barragem de Terra da Margem Direita da Usina de Ilha Solteira.

Milhares de cartões.

Milhares de números.

Milhares de instruções.

Tudo aquilo ocupava mais espaço físico do que os futuros computadores ocupariam um dia.

A porta do elevador fechou-se lentamente.

Então veio o ruído.

Um estalo.

Um pequeno tranco.

E o velho elevador iniciou sua subida.

Primeiro andar.

Segundo.

Terceiro.



O motor produzia um rangido metálico familiar.

Roberto conhecia aquele som tão bem quanto conhecia o ronco do Bacatinho.

Encostou-se discretamente na parede do elevador.

E, pela primeira vez desde que deixara o baile, permitiu-se pensar nela.

Tentou recordar o nome.

Não conseguiu.

Recordou o sorriso.

Os cabelos cuidadosamente armados pelo laquê.

A maneira como ela inclinava ligeiramente a cabeça enquanto escutava alguém falar.

E os olhos.

Talvez fosse influência da música.

Talvez fosse influência da idade.

Mas toda vez que pensava nela, voltavam-lhe à memória os acordes de *Aquellos Ojos Verdes*.

O elevador continuava subindo.

Quarto andar.

Um pequeno solavanco.

Depois o silêncio.

As portas abriram-se.

Escuridão.

Nenhum telefone.

Nenhuma máquina de escrever.

Nenhuma conversa.

Nenhum funcionário.

Apenas um corredor mergulhado na penumbra.

Roberto saiu carregando duas caixas.

Depositou-as junto à parede.

Tateou o caminho até o quadro de luz.

Conhecia cada passo.

Conhecia cada porta.



Conhecia cada interruptor.

Um clique.

Depois outro.

E mais outro.

As lâmpadas fluorescentes começaram a despertar lentamente. Havia um dispositivo chamado STARTER que ficava piscando provocando descargas de alta voltagem dentro daquele tubo longo cheio de gás neon.

Primeiro um brilho fraco.

Depois um piscar intermitente.

Por fim a claridade branca espalhou-se pelo corredor vazio.

Aquele andar parecia pertencer a outro mundo.

Lá embaixo a cidade dançava.

Ali em cima reinavam apenas o silêncio e os números.

Fez três viagens até o elevador.

Depois quatro.

Depois cinco.

Até que as seis caixas estivessem reunidas diante da porta do CPD.

Abriu a porta.

O ar-condicionado mantinha a temperatura constante.

O ambiente possuía aquele cheiro peculiar de papel, eletrônica e óleo de máquinas.

Ao lado da leitora IBM-1442 havia uma pequena mesa.

Uma velha companheira de madrugadas.

Roberto colocou cuidadosamente as caixas sobre ela.

Primeiro os programas.

Depois os dados.

Tudo em ordem.

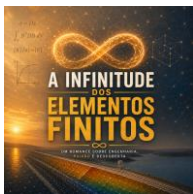
Tudo conferido.

Tudo pronto.

Lá fora, centenas de jovens ainda procuravam diversão.

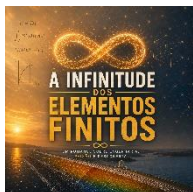
Alguns procuravam aventuras.

Outros procuravam amor.



Naquele instante, Roberto procurava uma resposta.

E ela estava escondida em milhares de cartões perfurados aguardando pacientemente para serem lidos pela IBM-1442.



## ACORDANDO O /360



### 4- Colocando o IBM/360 em READY:

Mas o IBM/360 era quase o oposto disso. O operador não "conversava" com uma tela.

Ele conversava com a máquina através de:

- luzes;
- chaves;
- botões;
- ruídos;
- impressoras;
- cartões perfurados.

O painel tinha uma quantidade de luzes. Hoje ninguém saberia o que significavam.

Mas naquela época elas eram a única janela para o que estava acontecendo dentro da máquina.

Quando Roberto entrou no CPD, o IBM/360 permanecia silencioso.

Não havia monitor.

Não havia teclado.

Não havia mouse.

Não havia sequer uma tela.

A geração futura jamais compreenderia aquilo.

O computador ocupava uma sala inteira e não possuía um único ícone.

Diante dele erguia-se apenas um grande painel metálico.

Centenas de pequenas lâmpadas.



Chaves. Seletores. Botões quadrados coloridos.

Instrumentos que lembravam mais a cabine de um submarino do que um computador.

Quando ligado, o painel ganhava vida.

As lâmpadas começavam a acender e apagar.

Algumas piscavam rapidamente. Outras permaneciam fixas.

Para um visitante aquilo parecia um espetáculo incompreensível.

Para Roberto era uma linguagem.

Cada conjunto de luzes contava uma história.

Cada padrão revelava o estado da máquina.

Muitas vezes era possível perceber um problema apenas observando o comportamento daquele painel.

O IBM/360 não falava. Mas também não ficava em silêncio. Conversava através da luz.

O IPL foi colocado na IBM-1401. A leitora puxou o primeiro cartão. Depois o segundo. O terceiro. IPL são as iniciais de Initial Program Loader.

Roberto observava o painel.

Uma sequência de lâmpadas começou a mudar de estado.

O computador despertava lentamente.

Não existia uma tela mostrando uma barra de progresso.

Não existia a palavra "Inicializando".

Era preciso interpretar os sinais luminosos.

Como um médico observando os batimentos de um paciente.

A máquina estava acordando.

Depois aguardar que ele "pensasse".

E, ao amanhecer, receber sua resposta impressa em intermináveis folhas de formulário contínuo.

Aliás, olhando o painel com luzes piscantes, uma frase veio à cabeça:

Enquanto a morena do baile tinha olhos verdes, o IBM/360 tinha centenas de olhos luminosos observando silenciosamente a madrugada paulistana.



## COMPUTADOR PROCESSA



### 5- O PROCESSAMENTO:

O IBM/360 estava acordado, pronto para trabalhar. A palavra inglesa READ significava justamente isso.

As luzes do painel piscavam em ritmos aparentemente aleatórios.

Para um visitante aquilo pareceria apenas um espetáculo de luzes.

Para Roberto era uma conversa. A máquina estava pronta.

Agora começava o verdadeiro trabalho.

Os cartões contendo o programa-fonte em Fortran IV foram colocados na IBM-1401.

A leitora iniciou sua marcha cadenciada.

Cartão após cartão.

Linha após linha.

Milhares de instruções escritas durante semanas. Talvez meses.

A cada cartão que desaparecia para dentro da leitora, Roberto sentia a mesma ansiedade.

Não era o receio de que o computador estivesse errado.

Era o receio de que ele próprio estivesse errado.

Em algum lugar daquele imenso programa podia existir uma vírgula esquecida.

Um índice incorreto. Uma variável mal definida. Um simples erro de digitação.

O compilador Fortran era impiedoso.

Não perdoava distrações.

Pouco depois a impressora começou a trabalhar.

O barulho característico das correntes e martelos ecoava pela sala.

Linha após linha.

Página após página.

O compilador emitia seu veredito.

Erro.

Linha 843.

Erro.



Linha 1276.

Erro.

Linha 1914.

Roberto suspirou. Nada inesperado.

Raramente um programa daquela dimensão era compilado sem reclamações.

Pegou as listagens.

Analizou cuidadosamente cada mensagem e cada instrução do programa.

Localizou os cartões correspondentes.

Depois dirigiu-se à IBM-026. A perfuradora de cartões aguardava silenciosamente.

Mais uma vez os dedos pousaram sobre o teclado.

Cada caractere digitado transformava-se em pequenos furos retangulares no cartão virgem.

O novo cartão substituíra o antigo.

Uma cirurgia delicada.

Retirava-se uma linha defeituosa. Inseria-se uma linha corrigida.

Em seguida os cartões retornavam à IBM-1401.

Nova tentativa.

Nova compilação.

Novas páginas impressas.

Novas correções.

O processo repetiu-se várias vezes.

Até que finalmente apareceu a mensagem que todo programador daquela época sonhava encontrar.

Nenhum erro.

Compilação concluída.

Mais tarde surgiu outra mensagem.

**EOJ – End Of Job**

Fim do trabalho.

Pelo menos do primeiro trabalho.

Roberto sorriu. Na calada daquela madrugada fria ninguém viu este sorriso.



Na solidação daquele CPD, a verdadeira batalha ainda estava por começar.

Levantou-se.

Abriu as caixas contendo os dados da Barragem de Terra da Margem Direita de Ilha Solteira.

Quatro caixas.

Milhares de cartões.

Coordenadas.

Propriedades dos materiais.

Condições de contorno.

Informações que representavam uma barragem inteira.

A IBM-1401 começou novamente sua alimentação incessante.

Cartão após cartão.

Centena após centena.

Milhar após milhar.

Durante alguns minutos tudo correu bem.

Então aconteceu.

A leitora hesitou.

Um ruído estranho.

Depois outro.

No painel surgiu a indicação temida.

### **READ CHECK**

Roberto nem precisou olhar duas vezes.

Conhecia aquele problema.

A velha IBM-1401 já carregava muitos anos de serviço.

Às vezes os roletes desgastados puxavam dois cartões simultaneamente.

O computador perdia a sequência dos dados.

O processamento era interrompido.

Levantou-se calmamente.

Não havia motivo para irritação. Fazia parte da rotina.

Abriu a tampa da leitora. Retirou cuidadosamente os dois últimos cartões do compartimento de saída.

Examinou suas bordas.



Um deles apresentava um pequeno amassado. Quase imperceptível.

Mas suficiente para causar problemas.

Dirigiu-se novamente à IBM-026.

Preparou um cartão virgem.

Copiou exatamente o conteúdo do cartão danificado.

Mais alguns furos. Mais alguns estalos mecânicos. Pronto.

O substituto estava criado.

Retornou à leitora.

Reposicionou os cartões.

Conferiu a sequência.

Respirou fundo.

Então apertou o botão verde.

**START.**

A máquina voltou à vida.

Os cartões recomeçaram sua procissão silenciosa.

Lá fora a chuva continuava caindo sobre São Paulo.

Talvez a morena estivesse dormindo.

Talvez sonhando.

Talvez nem imaginasse que, naquela mesma hora, um jovem engenheiro travava uma batalha paciente contra cartões amassados, compiladores exigentes e uma máquina gigantesca, tudo para descobrir como uma barragem se comportaria muitos anos no futuro.



## O RETORNO



### 6- O RETORNO:

As luzes do painel continuavam piscando.

Centenas delas. Algumas acendiam. Outras apagavam. Outras permaneciam firmes como estrelas imóveis.

Para qualquer visitante, aquilo pareceria uma confusão incompreensível.

Para Roberto, era um bom sinal.

O processamento seguia seu curso.

Nenhum alarme.

Nenhuma luz vermelha.

Nenhuma impressora disparando mensagens de erro.

Nenhum READ CHECK.

A Barragem de Terra da Margem Direita de Ilha Solteira estava sendo calculada.

E continuaria sendo calculada durante muitas horas.

Talvez sete. Talvez mais. Não havia motivo para permanecer ali.

O computador não precisava dele naquele momento.

Pela primeira vez naquela noite, Roberto olhou para o relógio sem pensar em coeficientes de Poisson, elementos finitos ou cartões perfurados.

Pensou nela.

A morena.

Sorriu sozinho.

Talvez ainda estivesse no baile.

Talvez estivesse esperando.

Talvez tivesse ficado intrigada com aquele rapaz estranho que desaparecera no meio da noite.

Pegou a jaqueta, vestiu-a. Apagou algumas luzes.

Conferiu mais uma vez o painel.

Tudo em ordem.

Saiu do CPD.

O corredor continuava vazio.



O elevador desceu lentamente.

O mesmo rangido metálico.

O mesmo balanço discreto.

Mas agora a viagem parecia diferente.

Na subida, carregava seis caixas de cartões.

Na descida, carregava esperança.

O segurança levantou os olhos quando o viu aproximar-se.

— Já terminou?

Roberto sorriu.

— Ainda não. O computador continua trabalhando.

O homem balançou a cabeça.

Jamais entenderia completamente aquele tipo de trabalho.

Despediu-se.

Atravessou o saguão.

Empurrou a porta de vidro.

A garoa ainda caía. Fina. Persistente. Teimosa.

Exatamente como antes.

O Bacatinho aguardava pacientemente junto ao meio-fio.

As gotas de chuva brilhavam sob a iluminação da avenida.

Roberto entrou.

Girou a chave.

O pequeno motor boxer refrigerado a ar respondeu imediatamente.

O limpador de para-brisa começou seu movimento ritmado.

Vai. Volta. Vai. Volta.

A cidade parecia mais silenciosa. Alguns ônibus circulavam quase vazios.

Poucos carros cruzavam a Avenida Paulista. Casais caminhavam apressados sob marquises.

Grupos de jovens ainda procuravam prolongar a noite.

Porque sábado era isso.

Ninguém queria admitir que a diversão estava terminando.

Enquanto dirigia pela Radial Leste, Roberto imaginava o reencontro.



Tentou recordar o nome dela. Talvez tivesse sido apresentado.  
Talvez ela tivesse dito. Mas ele não conseguia lembrar.  
Recordava os cabelos cuidadosamente armados pelo laquê.  
Recordava o vestido. Recordava o sorriso.  
Recordava perfeitamente os olhos. Pois os olhos eram impossíveis de esquecer.  
A banda provavelmente estaria tocando.  
Talvez outra música de Ray Conniff.  
Talvez alguma valsa. Talvez um bolero.  
Pouco importava.  
O importante era que ainda houvesse tempo.  
O Bacatinho entrou na rua de terra da Sociedade.  
Roberto estacionou. Desceu rapidamente.  
Sentiu o frio da madrugada.  
Atravessou a entrada.  
A música ainda vinha do salão.  
Mas não era mais Ray Conniff. Não era mais *Aquellos Ojos Verdes*.  
Agora era Ray Charles.  
Sua voz inconfundível preenchia o ambiente.  
*"I can't stop loving you..."*  
As luzes continuavam acesas.  
Mas algo estava diferente. As mesas estavam mais vazias.  
Alguns casais despediam-se.  
Outros procuravam os últimos minutos daquela noite que lentamente chegava ao fim.  
Seu olhar percorreu o salão.  
Uma vez. Duas vezes. Três vezes.  
Procurando. Esperando. Torcendo.  
Nada.  
A morena não estava mais lá. Talvez tivesse ido embora há poucos minutos. Talvez há uma hora. Talvez tivesse esperado.  
Talvez não.



Ninguém poderia dizer.

A voz de Ray Charles continuava ecoando pelo salão.

*"I can't stop loving you..."*

Roberto permaneceu imóvel.

Por um instante teve a sensação de que toda a cidade havia seguido em frente sem pedir sua autorização.

A música tocava. Os casais dançavam.

A madrugada avançava.

E a moça desaparecera como desaparecem certas oportunidades da juventude.

Lembrou-se então do IBM/360.

Naquele exato momento, no quarto andar do Center 3, milhares de cartões continuavam atravessando a leitora.

Milhares de equações estavam sendo resolvidas.

A barragem continuava sua lenta construção dentro da memória do computador.

A morena havia partido.

A barragem permanecia.

Esperando.

A voz de Ray Charles chegou ao refrão mais uma vez.

*"I can't stop loving you..."*

Roberto sorriu discretamente.

Era curioso.

Passara a noite inteira tentando prever o comportamento futuro de uma barragem.

Mas continuava incapaz de prever o comportamento de uma única moça.

Saiu do salão.

A garoa ainda caía sobre São Paulo.

E, pela primeira vez naquela noite, o jovem engenheiro percebeu que algumas equações da vida não possuíam solução analítica.

E, sem saber, a trilha sonora daquela madrugada já estava contando a história inteira.



## OUTRO RETORNO

7 – O VERDADEIRO RETORNO



### 7- O VERDADEIRO RETORNO:

Existe um antigo ensinamento japonês que Roberto ouvira ainda criança. Talvez do pai. Talvez de algum tio.

Já não recordava.

Mas a frase permanecera gravada na memória.

*"Viajando ao encontro de quem amamos, percorremos cem quilômetros."*

*"Voltando sem encontrá-la, percorremos outros cem."*

Naquela madrugada ele finalmente compreendeu o significado.

Entrou no Bacatinho. Girou a chave.

O pequeno motor despertou imediatamente.

Durante alguns instantes Roberto permaneceu imóvel. As mãos apoiadas sobre o volante.

O salão de baile desaparecendo lentamente pelo espelho retrovisor.

A morena desaparecendo junto com ele.

Depois engatou a primeira marcha.

Era hora de voltar.

Mas agora o caminho parecia diferente.

Na ida, existia esperança.

Na volta, existia apenas silêncio.

A cidade começava a mudar de aparência.

A chuva finalmente cessara.

As nuvens escuras que haviam dominado a noite começavam a dissolver-se sobre os telhados de São Paulo.

No horizonte surgia uma tênue claridade.

Não era ainda o amanhecer. Era apenas uma promessa.

A promessa de que o sol existia atrás das nuvens.

O Bacatinho avançava pelas ruas quase vazias.

Aqui e ali apareciam os primeiros sinais da manhã.

Um jornaleiro preparando seus pacotes.

Um padeiro abrindo a porta dos fundos.



Um ônibus iniciando sua primeira viagem do dia.  
A cidade despertava.  
E, curiosamente, Roberto também. Não o jovem que procurava a morena.  
Mas o engenheiro.  
Porque agora outra expectativa ocupava seus pensamentos.  
Durante toda a noite o IBM/360 trabalhara sozinho.  
Milhares de cartões haviam atravessado a leitora.  
Milhares de operações matemáticas haviam sido executadas.  
Milhares de decisões tinham sido tomadas dentro daquela gigantesca máquina.  
A pergunta era simples.  
Mas a resposta poderia mudar semanas de trabalho.  
O coeficiente de Poisson adotado naquele processamento estaria correto?  
Os recalques longitudinais previstos fariam sentido?  
A barragem finalmente revelaria um comportamento coerente?  
Ou tudo precisaria ser refeito novamente?  
O edifício Center 3 surgiu diante dele.  
As primeiras luzes da manhã refletiam-se nos vidros ainda úmidos.  
Estacionou. Saiu do carro.  
Respirou o ar frio da madrugada que se transformava em manhã.  
Entrou no prédio.  
O mesmo porteiro encontrava-se no saguão.  
Desta vez o homem sorriu.  
Um sorriso de quem não compreendia nada, mas admirava tudo.  
— Voltou?  
— Voltei.  
— E a máquina?  
— Espero que tenha trabalhado.  
O homem riu.  
Para ele aquilo parecia uma conversa entre velhos amigos.  
O elevador aguardava.



As portas fecharam-se. O motor iniciou sua lenta subida.

Primeiro andar. Segundo. Terceiro.

A expectativa crescia.

Agora não havia morena. Não havia baile.

Não havia Ray Conniff. Não havia Ray Charles.

Existia apenas o resultado.

E também uma pequena preocupação. Sempre havia uma pequena preocupação.

E se tivesse faltado energia?

E se a rede elétrica tivesse oscilado?

E se algum equipamento tivesse entrado em falha?

E se o sistema tivesse parado durante a madrugada?

O elevador continuava subindo.

Quarto andar.

As portas abriram-se. O corredor permanecia silencioso.

Mas não era o mesmo silêncio da noite anterior. Agora era um silêncio carregado de expectativa.

Roberto caminhou rapidamente.

Passou pelo quadro de luz.

Atravessou o corredor. Abriu a porta do CPD.

E imediatamente procurou o painel do IBM/360.

As luzes ainda piscavam.

Isso era bom.

Muito bom.

Mas ainda não significava vitória.

Um computador podia permanecer ligado e estar parado.

Podia estar em espera, em *WAIT*.

Podia estar aguardando uma intervenção. Podia ter encontrado um erro durante a madrugada.

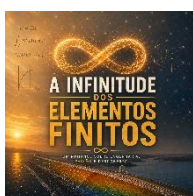
Aproximou-se.

Observou atentamente o painel.

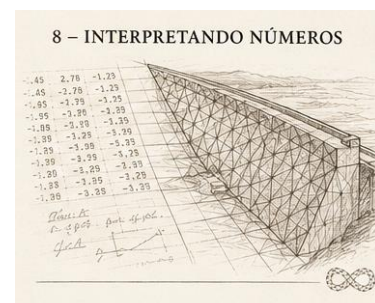
Como um médico examinando um paciente.



Como um comandante observando os instrumentos de bordo.  
Como um pai observando um filho adormecido.  
Durante alguns segundos que pareceram minutos, procurou os sinais.  
Então percebeu.  
As luzes continuavam dançando.  
Os registradores mudavam constantemente de estado.  
A máquina estava viva. Estava trabalhando. Estava calculando.  
Em algum lugar, escondida dentro daquela floresta de lâmpadas, chaves e circuitos, a Barragem de Terra da Margem Direita de Ilha Solteira continuava sendo construída.  
Não com concreto.  
Não com tratores.  
Não com caminhões.  
Mas com números.  
E naquela manhã, pela primeira vez, Roberto sentiu que talvez estivesse um pouco mais próximo da resposta que procurava.



## NÚMEROS... NÚMEROS



### 8- INTERPRETANDO NÚMEROS:

O processamento finalmente terminara.  
Depois de horas de trabalho, o IBM/360 apresentava seu resultado.  
Ou melhor. Apresentava seus resultados.  
Milhares deles. Talvez milhões.  
Ao observar a pilha de formulário contínuo acumulada no escaninho de saída da impressora 1403, um visitante poderia imaginar que a barragem estava pronta.  
Mas Roberto sabia que a parte mais difícil ainda nem havia começado.  
O computador não fornecia respostas.  
Fornecia números.



Números. Números. E mais números.

Folha após folha. Página após página.

Colunas intermináveis de valores impressos.

O **Método dos Elementos Finitos** não produz desenhos coloridos.

Não produzia animações. Não produzia imagens tridimensionais.

Essas facilidades pertenciam ao futuro.

Naquela época o computador entregava apenas aquilo que compreendia.

Números.

Em cada ponto da rede matemática da barragem, chamado nó, apareciam diversos valores.

Num modelo tridimensional como aquele, cada nó possuía nove componentes fundamentais.

Três associadas aos esforços lineares.

Três associadas às flexões.

Três associadas às torções.

Tudo definido segundo um sistema cartesiano ortogonal tridimensional.

Cada conjunto de números descrevia o comportamento daquele ponto específico da barragem.

Mas a barragem possuía milhares de nós.

E cada nó possuía nove números.

O resultado era uma verdadeira floresta de informações.

Para a maioria das pessoas aquilo parecia um amontoado indecifrável de algarismos.

Para o engenheiro, porém, cada número contava uma história.

Roberto sentou-se à mesa.

Pegou um salientador.

Começou então um trabalho que nenhuma máquina podia executar.

Interpretar.

Linha após linha. Folha após folha.

Alguns valores eram destacados.

Outros ignorados.

Certos conjuntos chamavam a atenção.



Outros apenas confirmavam aquilo que já era esperado.

Pouco a pouco surgiam padrões.

Tendências.

Comportamentos.

Era como observar uma multidão e reconhecer um rosto conhecido.

Os números começavam a revelar a personalidade da barragem.

Depois vinha uma segunda etapa.

Talvez ainda mais artesanal.

Os valores selecionados, salientados, eram entregues ao projetista.

Sobre folhas de papel vegetal começavam a surgir desenhos.

Curvas.

Setas.

Diagramas.

Gráficos.

Cada gráfico mostrava uma faceta diferente da estrutura.

Num deles apareciam os deslocamentos.

Noutro os esforços.

Em outro, a direção e o sentido das forças.

As seções transversais consideradas mais representativas eram cuidadosamente escolhidas.

Nelas a barragem começava finalmente a revelar sua forma invisível.

O curioso é que ninguém enxergava diretamente a barragem.

O que se enxergava eram seus sintomas.

Assim como um médico não vê a doença, mas interpreta seus sinais.

Assim como um astrônomo não toca uma estrela, mas interpreta sua luz.

O engenheiro não via as tensões. Via apenas os números que elas produziam.

E, a partir deles, reconstruía mentalmente aquilo que acontecia dentro do maciço de terra.

Era um trabalho de imaginação disciplinada.

De ciência.

E também de arte.



Muitas pessoas acreditavam que o IBM/360 era o verdadeiro responsável pelos cálculos.

Roberto sabia que não era tão simples.

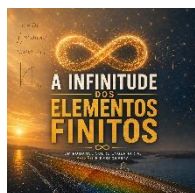
O computador apenas executava operações.

A compreensão continuava sendo uma tarefa humana.

Porque entre os números impressos e a barragem real existia uma ponte invisível. E essa ponte chamava-se interpretação.

Talvez por isso, ao final daquela madrugada, ele sentisse que a máquina havia feito apenas metade do trabalho.

A outra metade continuava dependendo dele.



## GANHANDO CONFIANÇA



### 9- PRECISANDO ACREDITAR NO COMPUTADOR:

A maioria das pessoas acreditava que os computadores eram infalíveis.

Roberto não.

Talvez porque os conhecesse por dentro. Talvez porque passasse madrugadas inteiras observando suas luzes piscarem.

Talvez porque soubesse que, por trás daquela aparência de certeza absoluta, escondia-se um mundo de aproximações.

Numa dessas madrugadas, enquanto observava o IBM/360 trabalhar, uma pergunta voltou a incomodá-lo.

E se o computador estivesse errado?

Não por defeito. Não por falha. Mas por natureza.

Pegou uma folha de papel.

Escreveu:

$$10 \div 3$$

O resultado exato era um número infinito.

$$3,333333333...$$

Mas o computador não trabalhava com infinitos.



O computador digital trabalhava com dígitos.  
Sempre uma quantidade finita deles.  
Em algum momento era obrigado a interromper a sequência.  
Era obrigado a aproximar.  
Então vinha a próxima operação. E depois outra. E mais outra.  
Pequenos erros. Quase invisíveis. Mas que podiam acumular-se.  
Como grãos de areia. Como gotas de chuva.  
Como centavos esquecidos numa conta bancária.  
Isoladamente insignificantes. Coletivamente perigosos.  
A barragem que ele estudava possuía milhares de nós.  
Milhares de equações. Milhares de incógnitas. Afinal, aquela rede de elementos finitos da Barragem de Terra da Margem Direita da Hidrelétrica de Ilha Solteira no Rio Paraná era representada por 25.000 equações e, consequentemente, 25.000 incógnitas.  
Cada cálculo dependia de milhares de operações anteriores.  
O que aconteceria se aqueles pequenos erros começassem a propagar-se? Até onde poderiam crescer? Até onde poderiam contaminar os resultados? Ninguém parecia saber ao certo.  
Porque quase ninguém havia tentado fazer algo daquela dimensão antes. Foi então que Roberto e seu colega Tarcísio decidiram investigar.  
Não a barragem. Mas o próprio computador.  
Tarcísio Barreto Celestino foi colega de classe na Poli e agora era colega nesta aventura de calcular barragens por computador digital.  
Construíram vários modelos experimentais.  
Variaram parâmetros. Alteraram malhas. Mudaram a forma dos elementos. Refinaram discretizações.  
Compararam resultados.  
Executaram o mesmo problema de diversas maneiras.  
Não estavam procurando respostas.  
Estavam procurando confiança.  
Em algumas noites o computador transformava-se em objeto de estudo. A barragem ficava temporariamente em segundo plano.



O verdadeiro experimento passava a ser a própria matemática.  
Como um piloto que testa os instrumentos antes de atravessar o oceano.  
Como um alpinista que verifica as cordas antes da escalada.  
Era necessário acreditar na ferramenta.  
Mas acreditar não bastava. Era preciso demonstrar.  
Cada novo processamento produzia pilhas de formulários.  
Cada pilha produzia novas dúvidas. Cada dúvida gerava novos testes.  
Às vezes Roberto tinha a sensação de que a engenharia era feita muito mais de perguntas do que de respostas.  
Os colegas viam os resultados finais.  
Os gráficos. As curvas. As conclusões.  
Poucos imaginavam quantas noites haviam sido consumidas para responder uma única pergunta.  
Afinal, qual era o erro escondido atrás daqueles números?  
Décadas mais tarde, quando os computadores se tornaram milhões de vezes mais rápidos, as pessoas passaram a confiar neles sem hesitar.  
Roberto achava curioso.  
Porque lembrava-se perfeitamente de uma época em que confiar num computador era uma conquista.  
Uma conquista obtida não pela fé.  
Mas pela verificação. Pela repetição. Pela dúvida.  
E talvez essa tenha sido uma das maiores lições que a engenharia lhe ensinou.  
Não acreditar porque a máquina disse.

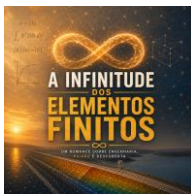
***Acreditar porque se demonstrou que a máquina merecia ser acreditada.***

Naquela madrugada silenciosa do IBM/360, entre luzes piscando e cartões perfurados, Roberto percebeu que estava aprendendo algo que serviria para o resto da vida.

A confiança verdadeira não nasce da ausência de erros.

Nasce da compreensão dos erros que inevitavelmente existem.

**"A confiança verdadeira não nasce da ausência de erros. Nasce da compreensão dos erros que inevitavelmente existem."**



## NOVO HORIZONTE



### 10- A CONQUISTA DE UM NOVO HORIZONTE:

Toda descoberta possui dois momentos.

O primeiro acontece em silêncio. O segundo acontece quando percebemos sua importância.

Durante muitos meses, Roberto e Tarcísio haviam vivido apenas o primeiro momento.

As madrugadas passadas diante do IBM/360 pareciam uma sucessão interminável de números, cartões perfurados e dúvidas.

Mas aos poucos algo começou a surgir daquelas pilhas de formulários contínuos.

Primeiro apareceram os deslocamentos. Depois as tensões. Depois as deformações.

Em seguida vieram os gráficos. As curvas. As linhas de igual deslocamento. As representações tridimensionais.

Pela primeira vez era possível enxergar uma barragem não apenas como uma forma geométrica, mas como um organismo vivo submetido a esforços, deformações e recalques.

A barragem começava a revelar seus segredos.

E aquilo era novo. Muito novo.

O **Método dos Elementos Finitos** havia sido desenvolvido pelo Professor Edward Wilson, da Universidade da Califórnia em Berkeley.

Mas uma coisa era demonstrar a teoria. Outra completamente diferente era aplicá-la numa obra real.

Numa obra real e gigantesca.

Numa barragem de terra de seção trapezoidal com centenas de metros de extensão.

E mais ousado ainda: Em um Modelo Tridimensional.

Durante décadas, os estudos tradicionais haviam se apoiado em seções bidimensionais. Agora surgia uma nova possibilidade.

Pela primeira vez era possível investigar o comportamento longitudinal da barragem.

Era possível observar como as tensões caminhavam pelo maciço.

Como os recalques distribuía-se ao longo da estrutura.



Como os deslocamentos variavam em três dimensões.

A reação dos especialistas foi imediata.

Os desenhos provocavam entusiasmo. Os gráficos circulavam de mão em mão. As perguntas multiplicavam-se.

As discussões prolongavam-se pelos corredores.

A sensação era a de estar observando a abertura de uma nova janela.

Um novo horizonte.

Talvez por isso os dois jovens engenheiros sentissem uma vontade quase infantil de anunciar a descoberta ao mundo inteiro.

Como exploradores regressando de uma terra desconhecida.

Como navegadores trazendo notícias de um continente recém-encontrado.

Como cientistas que acabavam de enxergar algo que antes permanecia invisível.

Foi então que surgiu o convite.

Novembro de 1973.

Rio de Janeiro.

IX Seminário Nacional de Grandes Barragens.

O principal encontro técnico do setor. Promovido pela Associação Brasileira de Mecânica dos Solos a ABMS.

Quando receberam a confirmação da participação, Roberto e Tarcísio demoraram alguns segundos para compreender o significado.

Tinham pouco mais de um ano de formados pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Ainda se consideravam aprendizes.

E agora apresentariam seu trabalho diante dos maiores especialistas brasileiros em barragens, fundações e mecânica dos solos.

A viagem ao Rio transformou-se numa aventura.

Pela janela do avião observavam as nuvens como dois estudantes que haviam sido autorizados a entrar numa sala reservada aos mestres.

O Hotel Glória surgiu diante deles com toda a elegância característica da época.

A Recepção. Os corredores. Os salões.

Os engenheiros vindos de várias partes do país.

Nomes que conheciam apenas pelos livros.

Autores que haviam estudado na faculdade.



Especialistas cujos artigos guardavam cuidadosamente em suas estantes.

De repente todos estavam ali. Em carne e osso.

Na primeira noite, Roberto demorou para dormir. Demorou para pegar no sono.

Não por causa do calor carioca. Nem por causa da viagem.

Mas porque compreendia que estava vivendo um daqueles raros momentos que dividem uma vida em duas partes.

Antes e depois.

Antes havia apenas a dúvida.

Depois surgia a certeza de que estavam participando da construção de uma nova forma de pensar a engenharia.

Anos mais tarde, muitos daqueles métodos tornar-se-iam rotina.

Os computadores ficariam mais rápidos. As malhas mais refinadas. Os modelos mais sofisticados. E ... menores.

Mas ninguém conseguiria devolver àquela geração a emoção de estar atravessando uma fronteira pela primeira vez.

Naquela noite, olhando pela janela do Hotel Glória para as luzes da Baía de Guanabara, Roberto sentiu algo difícil de descrever.

Não era orgulho. Não era vaidade.

Era gratidão.

A gratidão silenciosa de quem percebe que os longos caminhos percorridos nas madrugadas de São Paulo finalmente conduziram a um novo horizonte.

**O jovem que saía de um baile para alimentar um IBM/360 agora está no Hotel Glória, no Rio de Janeiro, apresentando os resultados aos maiores especialistas do país.**

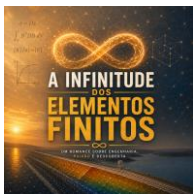
IXº SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS  
RIO DE JANEIRO  
19 a 21 de Novembro  
1973

UMA COMPARAÇÃO ENTRE ANÁLISES PLANAS  
E TRIDIMENSIONAIS DE TENSÕES  
E DESLOCAMENTOS EM BARRAGENS DE TERRA  
APLICAÇÃO À USINA DE ILHA SOLTEIRA

TEMA II

TARCÍSIO BARRETO CELESTINO  
ROBERTO MASSARU WATANABE

THEMAG ENGENHARIA  
SÃO PAULO



## OUTRO RETORNO



### 11- MAIS UM RETORNO:

Roberto sentou-se na borda do coroamento da barragem.

O vento soprava suavemente vindo do reservatório da barragem de Ilha Solteira.

Ao longe, as águas desapareciam no horizonte.

Trinta e três anos. Era difícil acreditar.



Aquele maciço de terra permanecia ali. Sólido. Silencioso.

Cumprindo exatamente a função para a qual havia sido concebido.

Sentado ali, Roberto, durante alguns minutos, permaneceu imóvel.

Observando. Pensando.

Lembrou-se das madrugadas no Center 3.

Das luzes piscando no painel do IBM/360.

Do ruído da leitora de cartões.

Das folhas intermináveis de formulário contínuo.

Da garoa sobre a Avenida Paulista.

Do Bacatinho.

Da morena cujo nome já não conseguia recordar.

Pensou também nos colegas.

Nos professores.

Nos operários.

Nos topógrafos.

Nos laboratoristas.

Nos projetistas.



No piloto do Aerocomander, o CESNA, com a garrafa térmica na mão oferecia café durante o voo até Ilha Solteira. Tinha que voar até Jupiá onde passava o rádio pedindo para avisar, por telefone, Ilha sobre a nossa chegada – não tinha rádio em Ilha Solteira.

Nas milhares de pessoas, 12.000 para ser mais exato que, de alguma forma, haviam deixado um pequeno pedaço de suas vidas naquela obra.

Então compreendeu algo que nunca apareceria nos relatórios técnicos.

As barragens não são construídas apenas com terra, concreto e aço.

São construídas com tempo.

Com juventude.

Com sonhos.

Com dúvidas.

Com noites mal dormidas.

Com escolhas.

Algumas boas.

Outras nem tanto.

Olhou novamente para o reservatório. O sol começava a descer.

E pela primeira vez percebeu que aquelas noites aparentemente solitárias não haviam sido solitárias.

Elas estavam acompanhadas por uma ideia. A ideia de que o conhecimento humano pode transformar o mundo.

Talvez essa fosse a verdadeira barragem que haviam construído.

Não a de terra. Nem a de concreto.

Mas a ponte invisível entre aquilo que uma geração aprende e aquilo que a geração seguinte será capaz de realizar.

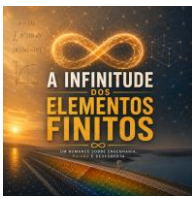
O vento continuou soprando.

A barragem permaneceu em silêncio.

E o velho engenheiro sorriu.

Porque finalmente compreendia que os cálculos terminam. As obras envelhecem. Os computadores desaparecem.

Mas o conhecimento continua sua viagem.



# AUTOR



## 12- O AUTOR:

O engenheiro *Roberto Massaru Watanabe*, Poli/USP 1972, participou de inúmeros projetos de obras de porte da engenharia nacional sempre introduzindo a computação como instrumento de trabalho.

Na década de 70 o mercado brasileiro era muito pobre em literatura técnica sobre o assunto e os livros e apostilas, mesmo que de faculdades famosas da Europa ou dos Estados Unidos, falavam de obras de conceituações diferentes da realidade nacional, de clima tropical úmido, único no mundo, pois as condições geográficas, climáticas, geológicas e de vento são substancialmente diferentes daquelas predominantes em outros países.

Não havendo aplicativos computacionais para os cálculos de engenharia, quando havia interesse no cálculo por computadores era necessário primeiro desenvolver o aplicativo e depois a sua aplicação. Nesse sentido, desenvolveu softwares como: Corte e Aterro em Estradas, Geração Estocástica de Deflúvios, Simulação da Operação de Emissários Submarinos de Efluentes Líquidos, Cálculo de Tensões e Deformações em Vigas de Concreto Protendido, Simulação de Sistemas de Captação, Reservação e Tratamento de Águas para Abastecimento e Planejamento e Controle com PERT/CPM.

Watanabe ficou conhecido no universo da computação pois, aproveitando a experiência adquirida na programação de computadores, lançou livros com literatura básica sobre as linguagens de programação, como:





## NOTAS

### 13- NOTAS:

1. O presente trabalho tem como objetivo apresentar a estudantes os cuidados necessários para o emprego de computadores digitais no cálculo de dimensionamento de obras de porte em especial quando se emprega métodos matemáticos que empregam muitos cálculos.
2. Este livro não é um tratado técnico e também não é uma autobiografia. É apenas o relato de algumas noites mal dormidas de um jovem engenheiro que acreditava, e ainda acredita, que os computadores podem ajudar a compreender melhor o comportamento das estruturas.
3. Trinta e três anos depois ao visitar a Hidrelétrica de Ilha Solteira conseguiu entender que aquelas noites mal dormidas não haviam sido em vão e decidiu contar na forma romanceada para que as novas gerações compreendam que toda grande obra nasce primeiro na imaginação, depois nos cálculos e finalmente é concretizada na realidade.
4. Este trabalho é fornecido de forma gratuita, em formato PDF, *Portable Document Format*, e recebe Assinatura Digital com Certificação Digital de acordo com as disposições normativas da ICP-Brasil – Infraestrutura de Chaves Públicas Brasileira, instituída pela Medida Provisória Nº 2200-2 de 24/08/2001.

São Paulo, 7 de junho de 2026.



Roberto Massaru Watanabe  
Engenheiro Civil – Poli/USP, turma de 1972  
CREA 060036232-1  
email: roberto@ebanataw.com.br