



Tradução do livro: **The Hardware Hacker**

Escrito por: **Andrew Huang**

Tradução da capa:

*"Um olhar dentro de uma mente sem igual."* — Edward Snowden

O Hardware Hacker: Aventuras na Criação e Desmontagem de Hardware

---

<b>Prefácio.....</b>	<b>2</b>
<b>Parte 1 - Aventuras na Manufatura.....</b>	<b>3</b>
Capítulo 1: Feito na China.....	6
O Mercado de Pulgas de Componentes Eletrônicos Definitivo.....	6
A próxima revolução tecnológica.....	11
Visitando fábricas com o Chumby.....	11
A desconexão entre a América e a China.....	25
Estar envolvido no processo de fabricação.....	26
Testes Remotos Caseiros.....	28
Erros ainda acontecem.....	29
Pensamentos finais.....	30

## **Prefácio**

Quando Bill Pollock, fundador da No Starch Press, entrou em contato comigo com a ideia de publicar uma compilação dos meus escritos, eu estava pessimista. Não achava que haveria material suficiente para preencher cem páginas. Parece que eu estava errado.

Minha mãe costumava dizer: “Não importa o que está em sua cabeça se você não consegue expressar isso para as pessoas”. Quando eu estava na sétima série, ela me matriculou em uma aula de redação de ensaios após o horário escolar. Na época, eu odiava a aula, mas, em retrospecto, sou grato. Desde os ensaios da minha inscrição na faculdade até hoje, descobri que a habilidade de organizar meus pensamentos em prosa é inestimável.

A maior parte do material deste livro foi originalmente publicada no meu blog, mas, como você verá em breve, essas postagens não eram artigos superficiais escritos apenas para gerar receita com anúncios. Uma das razões pelas quais escrevo é solidificar minha própria compreensão de assuntos complicados. É fácil acreditar que entendemos um tópico até tentarmos explicá-lo a outra pessoa de maneira rigorosa. A escrita é como destilar minha intuição em conhecimento estruturado, só escrevo quando encontro algo interessante para compartilhar e, em seguida, divulgo com uma licença CC BY-SA para incentivar outros a compartilharem também.

Este livro inclui uma seleção dos meus escritos sobre manufatura, propriedade intelectual (com foco na comparação entre perspectivas ocidentais e chinesas), hardware aberto, engenharia reversa e biologia e bioinformática. Os bons editores da No Starch Press também selecionaram algumas entrevistas que fiz no passado e que foram especialmente informativas ou perspicazes. O fio comum ao longo desses diversos tópicos é o hardware: como ele é fabricado, os quadros legais que o cercam e como ele é desmontado. E sim, sistemas biológicos também são hardware.

Sempre me senti atraído pelo hardware porque, embora não seja especialmente talentoso em pensamento abstrato (daí a necessidade de escrever para organizar meus pensamentos), sou bastante habilidoso com as mãos. Tenho muito mais chances de entender coisas que posso ver com meus próprios olhos.

## **Parte 1 - Aventuras na Manufatura**

Pisei pela primeira vez na China em novembro de 2006. Não tinha ideia do que estava prestes a vivenciar. Quando contei à minha mãe que iria visitar Shenzhen, ela exclamou: “Por que você está indo para lá? É apenas uma vila de pescadores!” Ela não estava errada: em 1980, Shenzhen era apenas uma cidade com 300.000 habitantes, mas em menos de 30 anos, transformou-se em uma megacidade com 10 milhões de pessoas. Entre minha primeira visita e o momento em que escrevi este livro, Shenzhen ganhou uma população estimada de 4 milhões de pessoas - mais do que a população de Los Angeles.

De certa forma, minha compreensão da produção ao longo dos anos refletiu o crescimento de Shenzhen. Antes de ir para a China, eu nunca havia produzido nada em grande escala. Eu não sabia nada sobre cadeias de suprimentos. O termo ‘operações e logística’ parecia algo saído de um livro de matemática ou programação.

Mesmo assim, Steve Tomlin, meu chefe na época, me incumbiu de descobrir como construir uma cadeia de suprimentos adequada para nossa startup de hardware, Chumby. Enviar um novato para a China era um grande risco, mas minha falta de preconceitos acabou sendo mais um ativo do que um passivo. Naquela época, os capitalistas de risco evitavam o hardware, e a China era vista apenas como um destino para empresas estabelecidas que buscavam produzir centenas de milhares de unidades de um determinado produto. Minha primeira série de visitas à China certamente confirmou essa ideia, pois eu visitei principalmente mega-fábricas que atendiam às 500 maiores empresas do mundo.

A Chumby teve a sorte de ser acolhida pela PCH International como sua primeira cliente startup. Na PCH, fui orientado por alguns dos melhores engenheiros e especialistas em cadeia de suprimentos. Também tive a sorte de compartilhar minhas experiências em meu blog, já que a Chumby foi uma das primeiras startups de hardware aberto do mundo.

Apesar de enfrentarmos constantemente o desafio de atender aos volumes mínimos de pedidos de nossos parceiros de fabricação convencionais, comecei a notar pequenas coisas que não se alinhavam com a sabedoria convencional. De alguma forma, as empresas chinesas locais conseguiram reinventar a tecnologia em produtos personalizados e exclusivos. Os chamados shanzhai integravam celulares em formas inusitadas, como isqueiros e estatuetas douradas de Buda (mais sobre isso no Capítulo 4). A natureza de nicho desses produtos significava que eles precisavam ser economicamente viáveis mesmo em volumes menores. Além disso,

observei que as fábricas conseguiam produzir rapidamente circuitos adaptadores personalizados e equipamentos de teste de alta qualidade em volumes unitários.

Sentia que havia mais no ecossistema - uma história que estava sendo contada repetidamente - mas poucos tinham tempo para ouvir, e aqueles que ouviam prestavam atenção apenas nas partes que queriam ouvir. A crise financeira de 2008 mudou tudo. O mercado de eletrônicos de consumo foi devastado, e as fábricas que antes estavam ocupadas imprimindo dinheiro agora estavam nadando em capacidade excedente. Fiz amizade com várias fábricas de médio porte na região. Comecei a investigar como essas fábricas conseguiam produzir com tanta agilidade seus equipamentos de teste internos, e como os shanzhai conseguiam prototipar e construir celulares personalizados tão exclusivos.

Os chefes e engenheiros inicialmente estavam reticentes, não porque quisessem esconder possíveis vantagens competitivas de mim, mas porque sentiam vergonha de suas práticas. Os clientes estrangeiros estavam cheios de processos corporativos, documentação e procedimentos de qualidade, mas também pagavam caro por essas burocracias. As empresas locais eram muito mais informais e pragmáticas. E daí se uma caixa está rotulada como “sucata”? Se as peças dentro dela servem para um trabalho, então use-as!

Eu queria fazer parte disso. Como engenheiro, inventor e hacker, eu me preocupava muito com o custo de produzir algumas unidades, e alguns defeitos menores de montagem não eram nada comparados aos problemas de design que eu precisava depurar. Eventualmente, consegui persuadir uma fábrica a me permitir construir uma peça usando seu processo de montagem de baixa qualidade, mas ultra barato.

O truque era garantir que eu pagaria por todo o produto, incluindo as unidades defeituosas. A maioria dos clientes se recusa a pagar por produtos imperfeitos, forçando a fábrica a arcar com o custo de qualquer peça que não esteja exatamente dentro das especificações. Assim, as fábricas desencorajam fortemente os clientes a usar processos mais baratos, mas de baixa qualidade.

Claro, minha promessa de pagar por produtos defeituosos significava que não havia incentivo para a fábrica fazer um bom trabalho. Teoricamente, ela poderia simplesmente me entregar uma caixa de peças defeituosas e eu ainda teria que pagar por isso. Mas, na realidade, ninguém tinha más intenções; contanto que todos simplesmente fizessem o seu melhor, eles acertavam cerca de 80% do tempo. Como os custos de produção em pequenos volumes são dominados pela configuração e montagem, minha linha de fundo ainda era melhor, apesar de jogar fora 20% das peças, e eu recebia as peças em apenas alguns dias, em vez de algumas semanas.

Ter opções para equilibrar custo, prazo e qualidade muda tudo. Tenho me esforçado para descobrir mais métodos alternativos de produção e continuar encurtando o tempo entre a concepção e a entrega de produtos, com cada vez mais opções ao longo do espectro de custo-prazo-qualidade.

Após a Chumby, decidi permanecer desempregado, em parte para me dar tempo para descobertas. Por exemplo, todo mês de janeiro, em vez de ir à frenética Consumer Electronics Show (CES) em Las Vegas, alugava um apartamento barato em Shenzhen e me dedicava ao “estudo monástico da manufatura”; pelo preço de uma noite em Las Vegas, vivia em Shenzhen por um mês. Escolhi bairros onde não havia falantes de inglês e me forcei a aprender o idioma e os costumes para sobreviver. (Embora eu seja etnicamente chinês, meus pais priorizaram a fluência sem sotaque em inglês em vez de aprender chinês.)

Eu vagava pelas ruas à noite e observava os becos, tentando entender todas as coisas estranhas e maravilhosas que via durante o dia. Os negócios continuam em Shenzhen até altas horas da manhã, mas em um ritmo muito mais lento. À noite, eu conseguia identificar agentes solitários agindo de acordo com seus interesses e intenções.

Se há algo que esses estudos me ensinaram, é que ainda tenho muito a aprender. O ecossistema do Delta do Rio das Pérolas é incompreensivelmente vasto. Assim como o Grand Canyon, simplesmente percorrer uma trilha da borda à base não significa que você viu tudo. No entanto, consegui adquirir conhecimento suficiente para construir um laptop personalizado e desenvolver um novo processo para circuitos eletrônicos peel-and-stick.

Nesta parte do livro, você acompanhará minha jornada enquanto aprendi o ecossistema de Shenzhen ao longo dos anos, por meio de uma mistura de postagens de blog que escrevi ao longo do caminho. Alguns dos ensaios são reflexões sobre aspectos específicos da cultura chinesa; outros são estudos de caso de práticas de fabricação específicas. Concluo com um capítulo chamado “O Chão de Fábrica”, um conjunto de sumários.

No entanto, a retrospectiva é 20/20. Depois de percorrer um caminho, é fácil apontar os atalhos e perigos ao longo do caminho; é ainda mais fácil esquecer todas as voltas erradas e suposições equivocadas. Não existe um método único para abordar a China, e minha esperança é que, ao ler essas histórias, você possa chegar a suas próprias conclusões (talvez diferentes) que atendam melhor às suas necessidades únicas.

## Capítulo 1: Feito na China

Antes da minha primeira visita à China, eu estava convencido de que Akihabara, em Tóquio, era o lugar ideal para os últimos eletrônicos, bugigangas e componentes. Isso mudou em janeiro de 2007, quando pus os olhos pela primeira vez no Mercado de Eletrônicos SEG em Shenzhen. O SEG possui oito andares com todos os componentes que um viciado em hardware poderia desejar, e só mais tarde descobri que isso é apenas a ponta do iceberg do distrito de eletrônicos de Hua Qiang.

Na época, eu era o engenheiro de hardware líder na Chumby, e estava na China com o então CEO Steve Tomlin para descobrir como produzir os chumbys (um dispositivo de entrega de conteúdo de código aberto com Wi-Fi) de forma barata e pontual. Com preços como os do SEG, estávamos definitivamente no país certo para pelo menos a primeira parte dessa missão ser um sucesso.

### 8 CHAPTER 1



*Shenzhen's SEG Electronics Market, the new electronics mecca.  
Akihabara, eat your heart out!*

Legenda: O Mercado de Eletrônicos SEG em Shenzhen, a nova meca dos eletrônicos. Akihabara, você que se cuide!

## O Mercado de Pulgas de Componentes Eletrônicos Definitivo

Quando entrei pela primeira vez no prédio da SEG Electronics Market em Shenzhen, fui sobrecarregado por um turbilhão de componentes eletrônicos: fitas e bobinas de resistores e capacitores, circuitos integrados (CIs) de todos os tipos, indutores, relés, pontos de teste de pinos pogo, voltímetros e bandejas de chips de memória. Como um novato total na fabricação em grande volume, fiquei impressionado com tudo o que vi na SEG.

Todos esses componentes estavam amontoados em pequenas bancas de seis por três pés, cada uma com um atendente mexendo em um laptop. Alguns atendentes jogavam Go, enquanto outros contavam peças. Algumas bancas eram verdadeiras lojas familiares, com mães cuidando de bebês e crianças brincando pelos corredores.



*A couple of family-run component shops*

Legenda: *Algumas lojas de componentes familiares*

Outras bancas eram configurações profissionais com funcionários uniformizados, e essas funcionavam como um bar – completas com banquetas – para componentes eletrônicos.



Legenda: *Um vendedor de peças profissional e elegante*

*A swanky professional parts seller*



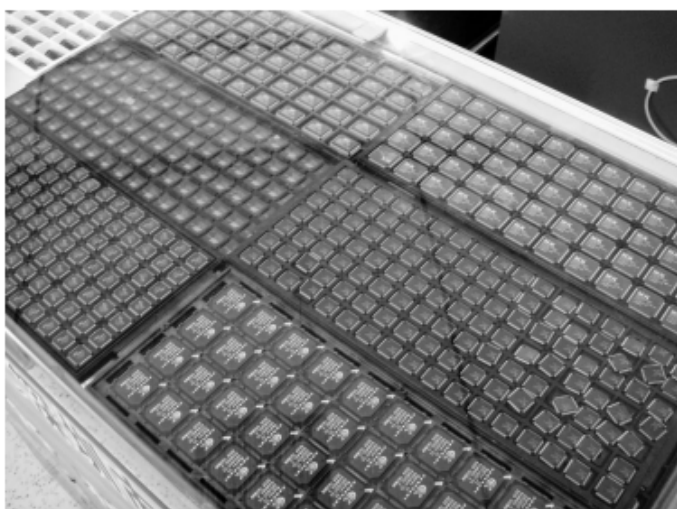
Ninguém na SEG Electronics Market diz: “Ah, você pode pegar 10 desses LEDs ou alguns desses relés”, como você poderia ouvir em Akihabara. Não, não. Essas bancas são especializadas e, se você encontrar um componente de que goste, geralmente pode comprar vários tubos, bandejas ou bobinas dele; você pode obter o suficiente para entrar em produção no dia seguinte. Observando o mercado, vi uma mulher organizando pilhas de cartões mini-SD de 1 GB como fichas de pôquer. Um homem estava embalando bastões de memória Kingston de 1 GB em pacotes de varejo, e ao lado dele, uma garota estava contando resistores.



Legenda: O canto inferior esquerdo desse display estava repleto de todos os tipos de cartões SD.

*The bottom-left corner of this display was packed with all kinds of SD cards.*

Outra banca tinha pilhas de fontes de alimentação, varistores, baterias e programadores de ROM. E ainda outra continha chips de todos os tipos: Atmel, Intel, Broadcom, Samsung, Yamaha, Sony, AMD, Fujitsu e muito mais. Alguns desses chips foram claramente retirados de equipamentos usados e reetiquetados, enquanto outros estavam em embalagens OEM novas e marcadas a laser.



Legenda: A quantidade impressionante de chips à venda em uma única banca SEG era algo extraordinário.

*The sheer quantity of chips for sale at a single booth at SEG was incredible.*



Vi chips que eu nunca poderia comprar nos Estados Unidos, bobinas de capacitores cerâmicos raros que eu só podia sonhar à noite. Meus sentidos se aguçaram; minha cabeça girou. Eu não conseguia conter um sorriso de antecipação enquanto eu caminhava pela próxima esquina e via lojas empilhadas do chão ao teto com provavelmente 100 milhões de resistores e capacitores.



Legenda: Bobinas e mais bobinas de componentes, em todas as vitrines das lojas

*Reels and reels of components, in every shop window*

Elementos de câmeras Sony CCD e CMOS! Eu não poderia comprá-los nos Estados Unidos nem se eu arrancasse os dentes dos vendedores. (Alguns vendedores até têm as fichas técnicas atrás do balcão; sempre pergunte.) Em seguida, avistei um monte de chips reguladores Micrel, seguidos por um chip Blackfin DSP à venda. Perto dali, uma senhora contava chips de DRAM de 256Mb — bandejas com 108 componentes, empilhadas a 20 de altura, em talvez 10 fileiras.



Legenda: A equivalente do estoque completo de chips de DRAM da Digi-Key estava bem na minha frente!

*The equivalent of Digi-Key's entire stock of DRAM chips sat right in front of me!*

E do outro lado dela, havia mais meia dúzia de lojinhas repletas de chips, assim como os dela. Em uma das lojas, um homem se orgulhava de uma bandeja de chips NAND flash de 4Gb. Tudo isso estava disponível para um pouco de pechincha, um pouco de dinheiro e uma despedida apressada.



Legenda: Uma observação detalhada de uma bandeja de chips de flash de 4Gb

*A close look at a tray of 4Gb flash chips*

E isso é apenas os dois primeiros andares da SEG. Existem mais seis andares com componentes de computador, sistemas, laptops, placas-mãe, câmeras digitais, câmeras de segurança, pen drives, mouses, câmeras de vídeo, placas gráficas de alta qualidade, monitores de tela plana, fragmentadoras, luminárias, projetores — você escolhe. Nos fins de semana, “garotas de estande” vestidas com macacões brilhantes da Acer e extravagantes ficam por perto, tentando atrair você para comprar seus produtos. Este mercado tem toda a energia de uma CES durante o ano todo, exceto que, em vez de apenas mostrar as últimas tecnologias, o objetivo é levá-lo a esses estandes para comprar hardware. Feiras comerciais sempre parecem um pouco provocantes, com sua respiração criando anéis fantasmagóricos no vidro enquanto você paira sobre os produtos inalcançáveis por baixo.

Mas a SEG não é um strip tease. É a orgia das compras eletrônicas para consumidores e indústria, onde você pode colocar suas mãos sujas em cada equipamento por *alguns kuai\** do seu bolso. Entre o cheiro e a agitação, a SEG é o mercado de pulgas de componentes eletrônicos definitivo. É como se a DigiKey tivesse enlouquecido e deixado macacos soltos em seu depósito em Minnesota, e o caos resultante tivesse se espalhado por um mercado de pulgas na China.

Claro, muitas das peças que me maravilhei em 2007 são antiguidades agora. Por exemplo, chips de flash de 4Gb são descartáveis, e discos flash de 1GB são notícias antigas. Na época, no entanto, essas coisas eram um grande negócio, e a SEG ainda é o melhor lugar para obter as últimas tecnologias em grande quantidade

## A próxima revolução tecnológica

A três quarteirões de distância da SEG, encontra-se a Shenzhen Bookstore. A primeira e mais visível prateleira é dedicada a livros estrangeiros, repleta de clássicos como *The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits*, do professor da Universidade de Stanford, Thomas Lee, e vários títulos do professor da UCLA, Behzad Razavi. Peguei o livro de Lee, que custou 68 kuai, ou \$8,50 USD. Incrível! O livro de Jin Au Kong sobre as equações de Maxwell? Apenas \$5. Jin Au Kong me ensinou as equações de Maxwell no MIT.

Em um surto de empolgação, enchi minha mochila com seis ou sete títulos, provavelmente valendo cerca de \$700 se eu os tivesse comprado nos Estados Unidos. No caixa, é possível adquirir todos por menos de \$35, incluindo os CDs suplementares, economizando cerca de \$665. Isso é equivalente a comprar uma passagem de classe econômica para Hong Kong!

Na China, o conhecimento é barato. Os componentes também são. O conhecimento contido nos livros da Shenzhen Bookstore é a verdadeira essência, e os componentes para aplicar esse conhecimento estão logo ali na SEG. E, a apenas uma hora de carro ao norte, existem provavelmente 200 fábricas capazes de transformar qualquer ideia eletrônica em produção em massa. Essas não são fábricas ultrapassadas. Com meus próprios olhos, vi transceptores de fibra óptica de 1.550 nanômetros, de marca reconhecida, sendo construídos e testados lá. Shenzhen é solo fértil, e você precisa ver para entender.

Shenzhen tem a vibração das feiras de trocas do Vale do Silício nos anos 80, quando todas as grandes empresas estavam sendo fundadas e começando a operar. Mas aqui, essa sensação é amplificada por 25 anos de progresso na Lei de Moore e na velocidade da circulação de informações via internet. Nesta cidade de 12 milhões de habitantes, a maioria está envolvida em tecnologia ou manufatura, muitos estão aprendendo inglês e todos estão dispostos a trabalhar duro.

Em algum lugar de Shenzhen, deve haver um Jobs e Wozniak construindo silenciosamente a próxima revolução. E eu também sou parte de Shenzhen, ainda tremendo de terror e excitação com a ideia de fazer parte dessa revolução. Esta é a minha história, começando com aquela viagem reveladora a Shenzhen para o Chumby.

## Visitando fábricas com o Chumby

Em setembro de 2006, a Chumby era apenas uma equipe de cerca de meia dúzia de pessoas, e tínhamos acabado de distribuir cerca de 200 protótipos iniciais de dispositivos Chumby no FOO Camp, uma conferência organizada por Tim O'Reilly. Os dispositivos foram muito bem recebidos pelos participantes do FOO Camp, então recebi a autorização para construir a cadeia de suprimentos asiática.

Steve e eu fomos à China para visitar fábricas potenciais em novembro, mas antes de partirmos, tínhamos um fornecedor confiável nos Estados Unidos que nos deu o melhor preço para o trabalho como base para negociações com os fabricantes chineses. Em seguida, ligamos para muitos amigos com experiência na China e agendamos cerca de seis

visitas a fábricas. Visitamos uma variedade de lugares, desde fábricas especializadas com apenas 500 pessoas até mega-fábricas com mais de 40.000 pessoas.

Não há substituto para visitar uma fábrica na China pessoalmente. As fotos só podem contar a história conforme enquadrada pelo fotógrafo, e você não pode ter uma noção da escala e qualidade das instalações sem ver com seus próprios olhos. Em geral, as fábricas recebem bem as visitas, e eu não trabalharia com uma que não permitisse minha visita. No entanto, a maioria das fábricas aprecia um aviso prévio de uma semana, embora, à medida que seu relacionamento com elas progride, as coisas se tornem mais abertas e transparentes.

Falando em abertura, a natureza de código aberto da Chumby ajudou muito no processo de seleção de fábrica. Primeiro, não tínhamos medo de que as pessoas roubassem nosso design (já estávamos distribuindo-o gratuitamente), então eliminamos o atrito dos NDAs (acordos de não divulgação) ao compartilhar informações críticas, como a lista de materiais. Acredito que isso nos deu uma melhor recepção com as fábricas na China, pois parecíamos mais dispostos a abrir para eles. Em segundo lugar, não havia dúvida na mente de nenhuma fábrica de que isso era uma situação competitiva. Qualquer pessoa poderia e iria cotar e licitar nosso trabalho (na verdade, recebemos algumas cotações não solicitadas que eram bastante competitivas), o que economizou uma rodada de discussões e negociações.

Após analisar várias opções de fabricação, Steve e eu eventualmente decidimos trabalhar com uma empresa chamada PCH China Solutions. A PCH em si possui apenas algumas instalações, mas possui uma rede abrangente de fornecedores confiáveis e validados, principalmente na China, mas também na Europa e nos Estados Unidos. Não surpreendentemente, as fábricas que a PCH subcontrata eram algumas das melhores instalações que visitamos na China. A PCH tem sua sede na Irlanda, portanto, a maioria de seus engenheiros é irlandesa, o que também eliminou a barreira do idioma para nós. (Os engenheiros da PCH também são trabalhadores, criativos e bem treinados — e, como bônus, eles sempre parecem saber o melhor lugar para encontrar uma pint de cerveja, não importa onde estejam. Eu não fazia ideia de que a China tinha tantas torneiras de Guinness!)

Há muito a absorver quando você visita uma fábrica, quanto mais meia dúzia delas, e é fácil ficar sobrecarregado e perdido nas complexidades da manufatura eletrônica. No entanto, durante minhas visitas às fábricas para o Chumby e ao trabalhar com a PCH para dar vida ao Chumby, encontrei alguns detalhes-chave que achei fascinantes.

## Escala em Shenzhen

Uma coisa impressionante ao trabalhar na China é a imensa escala do lugar. Embora eu não tenha visitado uma fábrica de automóveis em Michigan ou a fábrica da Boeing em Seattle, tenho a sensação de que Shenzhen dá um banho de escala em ambas. Em 2007, Shenzhen tinha 9 milhões de habitantes.

Para lhe dar uma ideia da escala de uma fábrica em Shenzhen, a fábrica da New Balance empregava 40.000 pessoas e tinha capacidade para produzir mais de um milhão de sapatos por mês. Estimo que, desde o tecido bruto até o sapato acabado, o processo levava cerca

de 50 minutos, e cada pacote perfeitamente costurado de plástico e couro era costurado à mão em uma máquina de costura industrial. As estações são projetadas para que cada etapa do processo leva cerca de 30 segundos para um trabalhador.

Claro, a fábrica da New Balance é ofuscada pela Foxconn, a fábrica onde são fabricados iPods e iPhones.



Legenda: *Você sabe que é grande quando tem sua própria saída da rodovia.*

*You know you're big when you have your own exit off the freeway.*

A Foxconn é uma instalação enorme, aparentemente com mais de 250.000 funcionários, e possui seu próprio status especial de livre comércio. Toda a instalação é cercada, e ouvi dizer que você precisa mostrar seu passaporte e passar pela alfândega para entrar na instalação. Isso é quase tão impressionante quanto os cães robóticos movidos a energia nuclear das franquias de corporações nacionais descritos no livro "Snow Crash" de Neal Stephenson.

## Alimentando a Fábrica

Existe um antigo ditado chinês: "min yi shi wei tian". A tradução literal seria "as pessoas consideram a comida divina" ou "para as pessoas, a comida está ao lado do céu". Você também pode interpretá-lo como um conselho governamental: "o mandato do governo [sinônimo de céu] é tão robusto quanto a comida no prato das pessoas". Ou, você pode vê-lo como uma desculpa para procrastinar: "vamos comer primeiro [já que é tão importante quanto o céu]".

Existe um antigo ditado chinês: "min yi shi wei tian". A tradução literal seria "as pessoas consideram a comida divina" ou "para as pessoas, a comida está ao lado do céu". Você também pode interpretá-lo como um conselho governamental: "o mandato do governo [sinônimo de céu] é tão robusto quanto a comida no prato das

peessoas”. Ou, você pode vê-lo como uma desculpa para procrastinar: “vamos comer primeiro [já que é tão importante quanto o céu]”.

De qualquer forma, acredito que o ditado ainda é válido na China. Uma métrica importante para avaliar como uma fábrica trata seus funcionários é a qualidade da comida, pois é comum que os trabalhadores sejam alojados, alimentados e cuidados no local. A comida é realmente muito boa em algumas fábricas. Por exemplo, ao comer com os trabalhadores na fábrica que fabricava as placas de circuito do Chumby, fui servido com uma mistura de peixe cozido no vapor, carne de porco grelhada, rolinhos de ovo, vegetais fritos e uma combinação de legumes e carne em conserva. Arroz, sopa e maçãs também foram fornecidos em quantidades “sirva-se”.



Legenda: *Uma refeição da fábrica que fez as placas de circuito chumby*

*A meal from the factory that made the chumby circuit boards*

Cada fábrica que visitei também tinha utensílios e pratos separados para os convidados. Em uma fábrica, minha comida foi servida em um prato de isopor com hashis descartáveis, enquanto um trabalhador da fábrica com quem comi foi servido com comida em um prato de aço com hashis de aço. Como eu não havia passado no exame físico da fábrica, eles me deram talheres descartáveis para evitar que eu contaminasse a fábrica com possíveis doenças estrangeiras.

Quanto à escala, algumas operações de alimentação em fábricas são impressionantemente grandes. Ouvi dizer que os trabalhadores da Foxconn consomem 3.000 porcos por dia. Dos porcos aos iPhones, tudo acontece bem aqui em Shenzhen.





Legenda: *Um caminhão cheio de porcos, saindo da rodovia em direção à Foxconn*

*A truckload of pigs, exiting the highway toward Foxconn*

## Dedicação a qualidade

Depois de começar a trabalhar com a PCH na fabricação real do Chumby, me deparei com uma situação por volta de junho de 2007 que mostrou o comprometimento dos trabalhadores da fábrica em Shenzhen em fazer seus trabalhos corretamente.

Eu havia atualizado a placa-mãe do Chumby para incluir um microfone eletreto, com um transistor de efeito de campo (FET) integrado. O microfone precisava ser inserido na orientação correta em relação ao circuito para que o FET recebesse uma corrente de polarização adequada.

As primeiras amostras que recebi da fábrica da PCH tinham o microfone invertido, e liguei para a fábrica para pedir que revertesse sua polaridade. Eu estava planejando visitar a fábrica na próxima semana e queria ver as amostras corrigidas. No entanto, ao testar o microfone, descobri com desgosto que os microfones ainda não estavam funcionando corretamente.

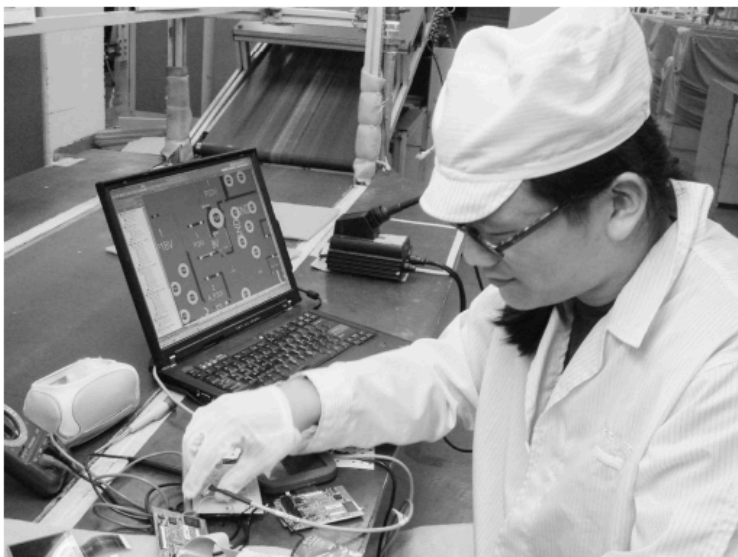
Como isso poderia acontecer? Existem apenas duas maneiras de conectar um microfone. Acontece que havia dois operadores na linha de montagem do microfone. Um deles soldou os fios vermelho e preto ao microfone. O próximo soldou esses fios vermelho e preto à placa de circuito. Os operadores foram instruídos a inverter a ordem, e ambos obedeceram diligentemente — me dando um microfone que ainda estava soldado de forma invertida, mas com as cores dos fios trocadas. (Isso é na verdade uma história bastante típica para problemas na China.)

A fábrica estava programada para fabricar a primeira rodada piloto de 450 placas de circuito no dia seguinte. Tudo tinha que correr perfeitamente para que o cronograma de produção do Chumby fosse mantido. Reconstruímos os estênceis de soldagem (estávamos depurando um problema de rendimento com o CODEC de áudio embalado em QFN) e os



tínhamos prontos por volta do meio-dia. Por volta das 18h, eu tinha as primeiras placas em minhas mãos para testar. Executei o teste final da fábrica, e o dispositivo falhou novamente — no microfone. Isso não foi um momento feliz para ninguém na fábrica, pois a fábrica era responsável por quaisquer defeitos de fabricação.

Vesti meu avental e marchei até a linha para começar a depurar o problema. Pelo resto da noite, permaneci na fábrica, e todos os gerentes e técnicos envolvidos na fabricação do Chumby também permaneceram. A pressão era enorme: bem ao nosso lado, havia uma linha produzindo 450 placas de circuito potencialmente defeituosas, e eu estava incomodado em interromper a produção porque ainda não sabia qual era a causa raiz, e tínhamos que manter o cronograma.



Legenda: *Eu estava depurando circuitos às 3 da manhã do dia do teste final de fábrica do Chumby.*

*I was debugging circuits at 3 AM on the day of the final factory test for the chumby.*

Literalmente, um painel de trabalhadores da fábrica ficou à disposição a noite toda para me trazer tudo o que eu precisava: ferros de solda, equipamentos de teste, mais placas, máquinas de raio-X, microscópios. Notavelmente, nenhuma pessoa hesitou, nenhuma pessoa reclamou, nenhuma pessoa perdeu o foco no problema. As pessoas cancelaram planos de jantar com amigos sem pestanejar. Quem não era necessário em um momento específico estava ocupado supervisionando outros aspectos do projeto. Eu não via dedicação cega assim desde que trabalhei com a equipe de robótica subaquática autônoma do MIT.

E isso continuou até as 3 horas da manhã.

Embaraçosamente, o problema não era culpa da PCH no final. O problema estava na nova versão do firmware que recebi no mesmo dia da equipe nos Estados Unidos. Ela continha um bug que desativava o microfone devido a um hack que foi acidentalmente incluído na árvore de compilação.

Ainda mais impressionante, quando a PCH descobriu, ninguém ficou com raiva e ninguém reclamou. (Bem, a vendedora me deu uma bronca, mas eu mereci; ela foi gentil o suficiente para me acompanhar na linha de produção a noite toda e ser minha tradutora, já que meu

mandarim não estava à altura.) Eles simplesmente ficaram aliviados por não ter sido culpa deles.

Nos despedimos e eu voltei para a fábrica no dia seguinte às 11h, depois de uma boa noite de sono. Vi a Christy, a gerente de projeto da fábrica para a fabricação das placas do Chumby. Perguntei a ela quando ela começava a trabalhar, e ela me disse que sempre precisa se apresentar às 8h. Comecei a me sentir realmente mal; a Christy ficou acordada até tarde por causa do nosso problema, e ela chegou cedo enquanto eu dormia. Perguntei a ela por que ela ficou acordada até tão tarde, mesmo sabendo que tinha que se apresentar para trabalhar às 8h. Ela apenas sorriu e disse: "É meu trabalho garantir que isso seja feito, e quero fazer um bom trabalho".

## Construindo tecnologia sem usá-la

Aqui está outra história interessante. Ao sairmos do chão de fábrica em um dia, Xiao Li (a gerente de garantia de qualidade na fábrica onde fabricamos o Chumby) me perguntou: "O que faz um Chumby?" Eu não falava muito bem o chinês, e ela também não falava muito bem o inglês, então decidi começar com algumas perguntas básicas.

Perguntei se ela sabia o que era a World Wide Web. Ela disse que não.

Perguntei se ela sabia o que era a internet. Ela disse que não.

Fiquei atordoado e não sabia o que dizer. Como você descreve a cor azul para um cego?

Xiao Li era uma especialista em montagem e teste de computadores. Em alguns projetos, ela provavelmente montou PCs e inicializou o Windows XP centenas de milhares de vezes. (Deus sabe que ouvi aquele maldito som de inicialização um zilhão de vezes durante o incidente do microfone, já que havia um banco de estações de teste final para placas-mãe ASUS bem ao meu lado.) Mas ela não sabia o que era a internet.

Eu havia assumido que, se você tocasse em um computador, também seria abençoado pelas bênçãos da internet. De repente, senti-me como um esnobe mimado e um porco por esquecer que a Xiao Li provavelmente não podia pagar por um computador, muito menos por acesso à internet banda larga. Dada a oportunidade, ela certamente era inteligente o suficiente para aprender tudo, mas estava ocupada demais ganhando dinheiro, que provavelmente enviava de volta para sua família.

No final, o melhor que pude fazer foi dizer a Xiao Li que o Chumby era um dispositivo para jogar jogos.

## Trabalhadores qualificados

Os trabalhadores de Shenzhen podem não saber muito sobre tudo o que produzem, mas, além de seu comprometimento, eles são altamente habilidosos. Certa vez, observei um homem trabalhando na mesma fábrica que costurava as bolsas do Chumby, e juro que ele conseguia costurar estojo de maquiagem em 5 segundos por bolsa. E ele nem estava 100% focado em sua tarefa; estava ouvindo seu iPod enquanto costurava.

E, aparentemente, ele não era o funcionário mais rápido! Havia alguém cerca de duas vezes mais rápido, e ele estava na empresa há cerca de sete anos. Fui assistir ao trabalhador mais rápido, mas ele já havia ido almoçar porque havia terminado tudo; havia dois enormes recipientes de estojo de maquiagem acabados ao lado de sua estação de trabalho.

Em uma nota semelhante, fiquei impressionado ao descobrir como as etiquetas emborrachadas (aquelas que você vê em roupas) são feitas na China. Eu sempre pensei que elas fossem prensadas por uma máquina, mas estava errado. Todas aquelas palavras, cores e letras são desenhadas à mão. Alguém simplesmente coloca um estêncil de logotipo sobre a etiqueta em branco, pinta sobre o estêncil com precisão incrível e passa para a próxima etiqueta em sua fila. Quando há múltiplas cores, há uma pessoa para cada cor, para manter o processo rápido.

Perguntei à PCH se eles tinham fábricas mecanizadas para coisas desse tipo. Eles me disseram que essas instalações existem, mas a quantidade mínima de pedido é enorme (centenas de milhares, às vezes milhões) devido ao custo extraordinariamente baixo do produto e ao custo relativamente alto das ferramentas para o processo automatizado. Isso está de acordo com o que ouvi sobre os brinquedos do McLanche Feliz. Eles geralmente são mantidos juntos com parafusos, porque é mais barato pagar alguém para montar manualmente o brinquedo durante toda a produção do que fazer uma ferramenta de moldagem por injeção de aço com as tolerâncias necessárias para encaixar os brinquedos.

Havia um dilema semelhante dentro do hardware do Chumby. Existiam quatro conectores na eletrônica interna do Chumby. Usando fornecedores baseados nos EUA, um conector tinha o melhor preço de cerca de \$1 USD, e os outros três tinham o melhor preço de cerca de \$0,40 cada. A talentosa especialista em sourcing da PCH (sua reputação era temida e respeitada por todos os fornecedores) conseguiu encontrar conectores que custavam \$0,10 e \$0,06, respectivamente, economizando quase \$2 no custo total. No entanto, havia um porém: os conectores não tinham a almofada plástica sacrificial para montagem automatizada.

A solução? Uma pessoa, é claro.



Legenda: *Este homem colocou à mão os conectores mais baratos em cada chumby, por cerca de um níquel por unidade. Graças a ele, os chumbys eram 2 dólares mais baratos, o que liberou mais dinheiro para nós, consumidores, gastarmos no Starbucks.*

*This man hand-placed the cheaper connectors on every chumby, for about a nickel per unit. Thanks to him, chumbys were \$2 cheaper, which freed up more money for us consumers to spend at Starbucks.*

## A necessidade de artesãos

Gostaria de apresentar a você um homem que conheço simplesmente como Mestre Chao. Eu o conheci durante o processo de fabricação do Chumby, e tenho quase certeza de que, em sua vida, você já usou ou viu algo que ele criou.

Quando fui à sala de amostras da fábrica onde o Mestre Chao trabalhava, fiquei chocado com a quantidade de itens em suas prateleiras que eu havia comprado, usado ou visto em uma loja nos Estados Unidos. Marcas de consumo de primeira linha fabricam seus produtos nesta fábrica, e, pelo que sei, a fábrica tinha apenas um mestre modelista na época: o Mestre Chao. Ele teve participação na criação de bolsas de cosméticos para a Braun, estojo de acessórios para a Microsoft e talas médicas para grandes marcas vendidas em farmácias, entre muitos outros produtos.



*Legenda: Mestre Chao é a pessoa em primeiro plano; ao fundo está Joe Perrott, Excelente engenheiro do projeto de Chumby da PCH China Solutions.*

*Master Chao is the person in the foreground; in the background is Joe Perrott, Chumby's excellent project engineer from PCH China Solutions.*

O Mestre Chao é um artesão no sentido tradicional. Costumava ser que os móveis mais finos eram projetados e construídos apenas com a intuição e habilidade de um mestre artesão. Agora, todos nós vamos à IKEA e compramos móveis projetados em CAD, gerenciados pela cadeia de suprimentos e montados com instruções em livros ilustrados — e, apesar disso, não fica tão ruim. Como resultado, a palavra artesanato foi relegada para descrever algum kit de scrapbook ou ponto cruz que você compra na Michaels e monta em um fim de semana tranquilo. Esquecemos que, em uma era antes das máquinas, o artesanato era a única maneira de construir algo de qualidade.

No entanto, acontece que o artesanato tradicional ainda importa, porque as ferramentas de CAD não trouxeram a capacidade de simular nossos erros antes de cometê-los.

A criação de um molde plano para produtos têxteis é um bom exemplo de um processo que requer habilidade artesanal. Um molde plano consiste em formas bidimensionais usadas para guiar o corte dos tecidos. Essas formas são cortadas, dobradas e costuradas para criar uma forma tridimensional complexa. Mapear a projeção de uma forma tridimensional arbitrária em uma superfície bidimensional, minimizando o desperdício entre as peças, já é um desafio considerável. O fato de que o material se estica e distorce, às vezes em direções diferentes, e que a costura exige tolerâncias adequadas para obter bons resultados torna a criação de padrões um problema difícil de automatizar.

Os casos de Chumby adicionaram outro nível de complexidade. Eles envolviam costurar um pedaço de couro em uma estrutura plástica macia. Nessa situação, à medida que você costura o couro, a estrutura se distorce ligeiramente e estica o couro, criando um viés de costura dependente da direção e da velocidade da costura. Essa força é capturada nas costuras e contribui para a forma final do estojo. Desafio alguém a criar uma ferramenta de simulação computacional que possa capturar com precisão essas forças e prever como um produto desse tipo ficará quando costurado junto.

No entanto, de alguma forma, a proficiência do Mestre Chao na arte da criação de padrões permitiu que ele, de maneira muito rápida e com poucas iterações, criasse e ajustasse um padrão que compensava todas essas forças. Seus resultados, todos obtidos com papelão, tesouras e lápis, eram surpreendentemente inteligentes e perspicazes. Seja grato por suas habilidades à moda antiga; elas provavelmente desempenharam um papel na produção de algo que você usou ou se beneficiou.



Legenda: Não havia um único computador no escritório do Mestre Chao, mas eu vi aqui uma grande variedade de dispositivos de alta tecnologia.

*There wasn't a single computer in Master Chao's office, yet the products I saw here wrapped around a wide array of high-tech devices.*

## Automação para montagem eletrônica

Antes de trabalhar na Chumby, eu acreditava que quase tudo era feito por máquinas. Claro, as visitas às fábricas têxteis corrigiram rapidamente minha impressão; no entanto, coisas de alta tecnologia, como a montagem de eletrônicos, ainda tendem a ser altamente automatizadas, mesmo na China. As únicas exceções que observei durante as visitas às



fábricas eram, ironicamente, os produtos de menor custo, como brinquedos. Essas lojas ainda eram dominadas por linhas de trabalhadores, que preenchiam e soldavam placas de circuito manualmente.

Uma dicotomia interessante relacionada à automação é a distribuição bimodal de produtos que utilizam a tecnologia chip-on-board (CoB). A montagem CoB liga diretamente um chip de silício a uma placa de circuito impresso (PCB). As montagens CoB acabadas têm uma aparência característica de “gota de epóxi”, em contraste com o visual das embalagens plásticas. Montagens eletrônicas densas e de alta qualidade frequentemente empregam tecnologias CoB. Já projetei alguns designs CoB para transceptores ópticos de 10 Gb em minha carreira, e eles não eram baratos.

Ao mesmo tempo, no entanto, quase todos os brinquedos utilizam a tecnologia chip-on-board (CoB) para eliminar o custo da embalagem do CI! Isso é um testemunho da tenacidade das fábricas de brinquedos em relação à redução de custos, pois elas comprariam uma máquina de ligação de fios automatizada e a colocariam ao lado das linhas que moldam cabeças de bonecas e costuram animais de pelúcia, porque ter uma máquina de ligação de fios interna economiza alguns centavos.

Um ligador de fios típico conecta um fio tão fino quanto um cabelo humano a um local em um chip de silício não muito maior que o diâmetro do fio, e faz isso várias vezes por segundo. Os ligadores de fios são equipamentos muito rápidos e precisos. A ligação acontece tão rapidamente que a placa parece girar suavemente, mas na verdade, ela para 16 vezes enquanto gira, e em cada parada, um fio é conectado entre o chip e a placa. Imediatamente antes da ligação, no entanto, o chip é colado com muito cuidado à placa manualmente, e imediatamente após a ligação, o chip é encapsulado por um operador humano que aplica epóxi com muito cuidado manualmente. Isso significa que o ligador de fios é o único equipamento automatizado nas linhas de montagem para brinquedos simples. Ver esse processo me deu uma nova apreciação pelo que está envolvido na criação daqueles bonecos falantes do Barney que são vendidos por \$10 na Target.

O processo de fabricação do chumby também utilizava um pouco de automação, graças a um chip shooter. Os chip shooters (assim como as máquinas de colocação) posicionam componentes de montagem em superfície nas PCBs (placas de circuito impresso) para que os componentes possam ser soldados. Esses equipamentos são rápidos e precisos, permitindo a montagem eficiente de componentes eletrônicos.



*The chumby PCB assembly factory in China had dozens of lines filled with tried-and-true Fuji chip shooters.*

Legenda: A fábrica de montagem Chumby de PCB na China tinha dezenas de linhas repletas de atiradores de chips Fuji testados e comprovados.

É absolutamente fascinante ver um chip shooter em ação. Os chip shooters na fábrica de montagem de PCBs da Chumby eram capazes de posicionar 10.000 a 20.000 componentes por hora, por máquina. Isso significa que cada máquina poderia colocar de 3 a 6 componentes por segundo. As montagens robóticas se movem mais rápido do que o olho pode perceber, e tudo se transforma em um borrão impressionante. O chip shooter que vi na fábrica da Chumby funcionava de forma semelhante a uma metralhadora Gatling: o próprio dispositivo de disparo estava fixo, e a placa dançava sob o dispositivo. O chip shooter realmente “observava” cada componente e o girava para a orientação correta antes de colocá-lo na placa.



Legenda: Este é o fim da linha para uma montagem de placa central chumby!

*This is the end of the line for a chumby core board assembly!*

A fábrica que usamos para a montagem da placa de circuito impresso do chumby também produzia placas-mãe de PC de marca conhecida e parecia não ter problemas em produzir bem mais de 10.000 dessas montagens complexas todos os dias. No entanto, mesmo que processos como o posicionamento dos componentes possam ser automatizados, há algumas coisas que uma máquina simplesmente não pode fazer.

## Precisão, moldagem por injeção e paciência

No decorrer da engenharia do chumby, também tive que aprender sobre moldagem por injeção, porque a placa de circuito precisava ser colocada dentro de um estojo de algum tipo. Para um especialista em eletrônica com pouca experiência mecânica, isso não foi uma tarefa fácil. O conceito parece simples: você cria uma cavidade de aço, injeta plástico derretido nela sob alta pressão, deixe esfriar e voilà — uma peça acabada sai, assim como os moldes de massa de modelar Play-Doh da escola primária.

Ah, se o processo fosse tão simples assim.

No processo de moldagem por injeção, o plástico flui, mas não é particularmente líquido. Ele se move lentamente e esfria à medida que flui. A cor do plástico é afetada pelas mudanças de temperatura e, ao usar um molde mal projetado, você pode até ver linhas de fluxo e linhas de trama no produto final. Existem também várias questões relacionadas a

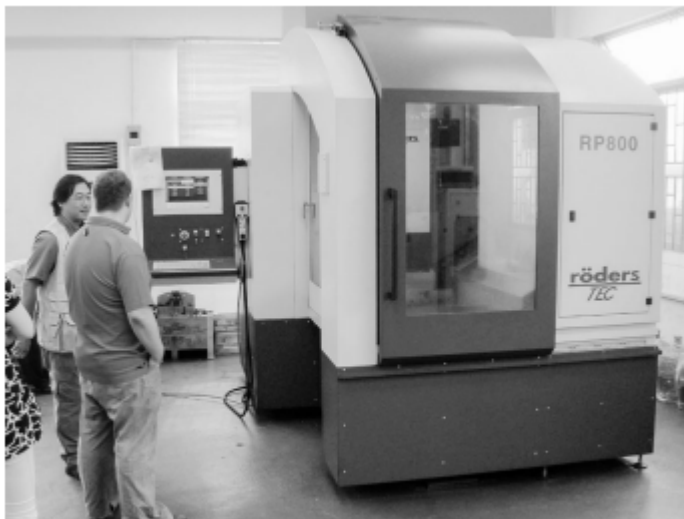


como a peça acabada é retirada do molde, como o molde é feito e finalizado, onde estão os portões e canais para inserir o plástico no molde, entre outros aspectos.

Felizmente, a PCH contava com especialistas na China que conheciam tudo sobre esse processo, e eu tive a oportunidade de aprender principalmente observando.

Se eu tivesse que resumir a moldagem por injeção com um único adjetivo, seria precisão. Quando feitos corretamente, os moldes são precisos até tolerâncias mais finas que um fio de cabelo, embora sejam feitos de aço duro. Alcançar esse nível de precisão em um material tão durável não é tarefa fácil e é impressionante ver uma máquina cortar um molde a partir de aço bruto.

A máquina que cortou os moldes para o estojo do chumby tinha um estágio móvel que empurrava rapidamente um bloco de aço, provavelmente pesando várias centenas de libras; ela fresava o metal com bastante rapidez.



Legenda: A máquina de corte de moldes usada na fabricação de chumbys. Compare-o com as pessoas que estão ao lado dele para ver a escala.

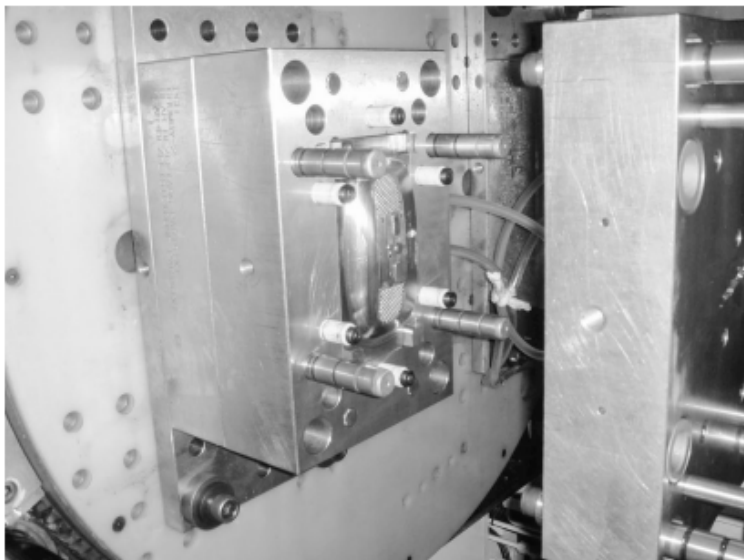
*The mold-cutting machine used in manufacturing chumbys.  
Compare it to the people standing next to it for scale.*

A usinagem é apenas o passo mais bruto na fabricação do molde. Após a forma bruta ser cortada, o molde é colocado em uma máquina de descarga elétrica (EDM), onde uma explosão de elétrons remove pequenos pedaços da superfície de aço. Esse processo é incrivelmente tedioso: já observei muitas EDMs em ação, e é como assistir à secagem da tinta. No entanto, as EDMs são incrivelmente precisas e produzem resultados espetaculares e repetíveis.

Do ponto de vista de gerenciamento de projetos, o tempo de produção fenomenalmente longo para plásticos moldados por injeção de qualidade foi o que mais me surpreendeu. No total, o molde do chumby foi transformado de um bloco de aço bruto em uma ferramenta de primeira injeção em quatro a seis semanas, e eu tive que ir à China para ver a oficina de ferramentaria em ação antes de ficar convencido de que não havia um grande excesso de tempo no cronograma.

Ainda mais assustador do ponto de vista de gerenciamento de riscos era a falta de boas ferramentas de simulação para prever como os plásticos fluiriam através de um molde. Se observássemos imperfeições visíveis, como linhas de fluxo e linhas de trama, tínhamos que esperar quatro a seis semanas para ver se o novo molde era melhor. Ai! Felizmente, os fabricantes de ferramentas da Chumby na China anteciparam esses problemas e projetaram as ferramentas com excesso de aço, porque remover material para corrigir um problema é muito mais fácil do que adicionar material. É como diz o velho ditado dos carpinteiros: “meça duas vezes, corte uma vez, e se você tiver que cortar errado, corte mais longo”.

O molde usado para criar a parte traseira do chumby era extremamente complexo, pois envolvia um processo chamado sobreinjeção. Se você possui um chumby clássico, dê uma olhada no lado de trás. Há um TPE emborrachado em torno do bezel de ABS rígido. Muitas pessoas assumiram que isso era uma faixa de borracha colada. Na verdade, o TPE é moldado no lugar na peça traseira. Isso requer um molde de duas etapas.



Legenda: O molde final para a moldura traseira do chumby, dentro de uma injetora

*The final mold for the chumby's back bezel, inside an injection-molding machine*

Na verdade, havia dois moldes, e um lado do molde girava para que os sistemas de materiais alternados pudessem ser moldados nos pontos certos do processo. Muito trabalho árduo é dedicado às peças plásticas que você vê todos os dias, e isso faz parte da criação de produtos de qualidade. No entanto, ao mesmo tempo, há também uma necessidade muito real de atender à expectativa de preços baixos.

## O Desafio da Qualidade

Claramente, com a expectativa de baixo custo dos produtos fabricados na China, surge um grande desafio na gestão da qualidade. Basta olhar a cobertura midiática sobre tópicos como tinta de chumbo em brinquedos, produtos químicos industriais em alimentos e outros itens fabricados na China para perceber algumas das decisões ruins tomadas para manter os preços baixos.

Ao considerar casos como esses, acredito ser importante aplicar a Navalha de Hanlon. Parafraseando, “Nunca atribua à malícia o que pode ser adequadamente explicado pela ignorância”. Os britânicos também têm uma versão concisa e perspicaz desse adágio: “Cock-up antes da conspiração.”

Alguns fabricantes estão, de fato, dispostos a ganhar dinheiro a qualquer custo, mas acredito que a maioria dos erros ocorre por ignorância. A maioria dos funcionários nas fábricas não sabe para que seu produto será usado, e sob intensa pressão para reduzir custos, tomam essas decisões equivocadas. As fábricas também precisam lidar com produtos que são lamentavelmente sub especificados, além de clientes que as sobrecarregam com todo tipo de requisitos frívolos — e na maioria dos casos, os clientes não fazem acompanhamento. No final, as fábricas jogam um jogo de “enviar e descobrir”, e se o cliente não perceber uma especificação ausente, então essa especificação não deve ter sido importante. Não é um grande jogo, e isso significa que os clientes precisam estar sempre vigilantes em relação às auditorias e manter o padrão de qualidade elevado.

## **A desconexão entre a América e a China**

Um problema fundamental por trás desse cenário é que muitos residentes chineses não entendem ou apreciam coisas básicas que damos como garantidas nos Estados Unidos, e vice-versa. Muitos trabalhadores de fábricas chinesas têm boa formação educacional, mas não cresceram em uma “cultura de gadgets” como a que temos nos Estados Unidos. Portanto, não podemos presumir nada sobre suas habilidades para interpretar subjetivamente as especificações de um produto.

Por exemplo, se você disser a um engenheiro dos EUA: “Gostaria de um botão nesse painel”, provavelmente obterá algo bem próximo do que espera em termos de aparência e sensação, porque você e o engenheiro compartilham experiências e expectativas comuns para um botão em um painel. No entanto, se você fizesse o mesmo na China, provavelmente obteria algo que parece um pouco desajeitado e tem uma sensação pesada, mas é muito barato e fácil de construir e testar.

Embora essas últimas propriedades sejam desejáveis por razões práticas, os entusiastas de gadgets americanos simplesmente não comprariam algo que seja esteticamente desajeitado ou que pareça pesado.

No entanto, no final das contas, são os consumidores que desejam — ou melhor, exigem — produtos de baixo custo, e essa necessidade impulsiona a decisão de fabricar na China. O problema é que, além do rótulo do produto que diz “Fabricado na China” ou “Fabricado nos EUA”, os consumidores realmente não se importam com o processo de fabricação. Quanto a mais você pagaria por um gadget que tivesse a inscrição “Fabricado nos EUA”? O custo adicional da mão de obra nos EUA é 10 vezes maior do que na China. Pense nisso: um trabalhador médio de fábrica

nos EUA pode ser 10 vezes mais produtivo do que um trabalhador médio de fábrica na China? É um multiplicador difícil de enfrentar.

Não estou dizendo que não há valor em fornecedores domésticos: seria muito menos esforço e menos risco para mim obter produtos fabricados nos Estados Unidos. Na verdade, a maioria dos protótipos iniciais é feita lá devido ao enorme valor que os fornecedores domésticos podem agregar. No entanto, a precificação simplesmente não funciona para um produto de mercado de massa. Ninguém compraria, porque o preço não justificaria seu conjunto de recursos. Alguém até poderia me acusar de ser preguiçoso se eu simplesmente continuasse com um fornecedor doméstico e repassasse o custo mais alto aos clientes.

## **Estar envolvido no processo de fabricação**

No final das contas, fabricar na China é a melhor maneira de reduzir os custos, e para manter a qualidade, não há substituto para ir à China e se envolver diretamente. Quase todas as fábricas farão uma “limpeza” no dia em que você as visitar, mas com um olhar atento e as perguntas certas, você pode enxergar além das aparências rápidas.

Quando avalei fábricas para a Chumby, sempre visitei a sala de controle de qualidade (QC). Eu esperava ver fileiras de pastas bem conservadas e desgastadas com documentação de design e padrões de QC, além de amostras de ouro, que são amostras pré-produção de um produto. Eu exigia ver o conteúdo de uma pasta aleatória e a amostra de ouro associada a ela, e verificava se os funcionários sabiam o que estava acontecendo na pasta. (Algumas fábricas preenchem pastas de produtos com dados aleatórios.) Também considerei investimentos em equipamentos como um bom sinal: os melhores fabricantes que visitei tinham algumas salas com equipamentos sofisticados para testes térmicos, mecânicos e elétricos, e, claro, os operadores estavam na sala usando efetivamente os equipamentos. (Eu poderia definitivamente imaginar um fabricante chinês comprando uma sala de equipamentos apenas para exibição.)

No entanto, suspeito que fabricantes de brinquedos e de alimentos não enviem técnicos como eu para fábricas na China para supervisionar as coisas regularmente. Isso contrasta com a Apple, que regularmente envia um grupo de engenheiros para trabalhar em turnos intensos de duas semanas (ou mais) nas fábricas (geralmente na Foxconn, carinhosamente apelidada de “Mordor” por alguns na Apple). Como resultado, encontrei muitos engenheiros da Apple nos bares frequentados por expatriados em Shenzhen.

A oferta da PCH China Solutions de gerenciamento e controle de qualidade no estilo ocidental no local na China foi importante para nós na Chumby. Se tivéssemos um problema com um fornecedor, a PCH enviava alguém à fábrica imediatamente para verificar o que estava acontecendo, sem trocas de mensagens telefônicas intermináveis ou atrasos da FedEx. Além disso, os proprietários de fábricas na China costumam ser muito responsivos quando você aparece à porta deles.

A abordagem da Chumby para o dilema da qualidade foi holística. Começamos por ter um engenheiro (eu) na fábrica quase no primeiro dia para avaliar a situação. É importante entender o que a fábrica pode e não pode fazer. Analisei o que estava sendo produzido na linha e quais técnicas estavam sendo utilizadas. Em seguida, quando chegou a hora de projetar o produto, procurei usar os processos e técnicas que fossem mais confortáveis para a fábrica. Quando precisei fazer algo novo (e qualquer produto inovador e de qualidade precisará disso), escolhi minhas batalhas e concentrei-me nelas, porque qualquer coisa nova seria um desafio de várias semanas para acertar. Essa estratégia se aplica até aos menores detalhes: se a fábrica embala os produtos em plástico termoencolhível e você deseja embalar seu produto em papel, planeje concentrar-se intensamente no desenvolvimento do processo de embalagem em papel, pois é bem possível que nenhum dos trabalhadores da linha na fábrica escolhida tenha visto um produto embalado em papel antes.

Claro, ao desenvolver um novo processo para o Chumby, eu preferia estar na fábrica, e ainda prefiro. Não há nada como estar na linha de produção e mostrar aos trabalhadores que estarão montando seu dispositivo como ele deve ser feito. Por exemplo, pessoalmente treinei os trabalhadores da linha de montagem do Chumby sobre como fixar uma fita de cobre na montagem do LCD para formar uma blindagem EMI adequada.

É realmente difícil descrever as complexidades de como dobrar uma fita sobre uma peça complexa de chapa metálica para garantir um bom contato elétrico com as superfícies de aterramento sem correr o risco de um curto-circuito em outros componentes. Detalhes sutis, como o fato de que a cola de um dos lados é um isolante ruim, também exigem um entendimento básico de física que os trabalhadores da linha simplesmente não têm. Pior ainda, explicar esses conceitos requer palavras técnicas que seu tradutor pode nem conhecer.

No meu caso, mesmo um bom desenho 3D ou uma fotografia da montagem final não teria transmitido todo o conceito, porque a rigidez da fita exigia um movimento específico para dobrar sem rasgar. Descrever o processo remotamente, aprovar amostras por meio de fotografias e, por fim, aprovar uma unidade entregue via FedEx poderia ter levado algumas semanas, mas ficar na frente de um grupo de trabalhadores e demonstrar o processo pessoalmente levou apenas alguns minutos. E, apesar da barreira do idioma, eu conseguia perceber pelas expressões faciais e linguagem corporal se eles entendiam a importância de uma etapa específica. Com base nesses sinais, eu revisava imediatamente os processos que eram ambíguos ou difíceis de dominar.

Normalmente, quando você pode demonstrar um processo com esse nível de detalhe e intimidade, os trabalhadores acertam em poucas horas, em vez de semanas. Isso faz parte do motivo pelo qual passei tanto tempo na China durante o desenvolvimento do processo de fabricação do Chumby.



*Everyone was involved in the chumby quality process. This photo shows CEO Steve Tomlin (far left) and Artistic Director Susan Kare (middle) at the sewing factory, working out the details of logo silkscreening.*

Legenda: Todos estavam envolvidos no processo de qualidade. Esta foto mostra CEO Steve Tomlin (extrema esquerda) e diretora artística Susan Kare (meio) na fábrica de costura, trabalhando nos detalhes da serigrafia do logotipo.

## Testes Remotos Caseiros

No entanto, nem sempre era possível para a Chumby enviar alguém para a China. Eu, por exemplo, preferia não morar na China, então na Chumby, confiávamos muito na PCH para monitorar a qualidade e garantir que as coisas corriam bem, e eles fizeram um trabalho excelente.

Frequentemente, trabalhar à distância significava que novos processos levavam semanas para serem implementados se eu não estivesse lá para ajustar e aprovar no local, porque cada ajuste envolvia o envio de algo quase de ida e volta via FedEx. Depois de passar por esse processo algumas vezes, aprendi a alocar duas semanas por ajuste, em vez das poucas horas que levava quando eu estava no chão de fábrica.

Esses conjuntos de duas semanas se acumulavam rapidamente.

Dada a dificuldade de supervisionar as operações na China a partir dos Estados Unidos, o monitoramento eletrônico remoto dos resultados dos testes dos produtos era essencial. Para o Chumby, desenvolvi um conjunto de testadores que programavam, personalizavam, inicializavam, verificavam e mediam cada dispositivo na linha de montagem. Todos os dados do processo de teste eram registrados em um log e, ao final do dia, o log era transferido para um servidor nos Estados Unidos.

Esses dados me permitiam depurar uma infinidade de problemas no chão de fábrica. Eu conseguia identificar se um operador em um testador específico estava tendo dificuldades com o scanner de código de barras. Também sabia imediatamente se havia um problema de rendimento naquele dia ou se o rendimento estava mais lento do que o esperado. Ter essa capacidade de auditoria interna era muito poderoso, porque a fábrica sabia que eu estava observando. Na verdade, ter essa capacidade pode melhorar os relacionamentos com a fábrica: a fábrica arca com o custo dos problemas de rendimento (pelo menos

inicialmente), então eles apreciam quando o engenheiro de design pode oferecer conselhos e ajuda rápidos antes que os problemas saiam de controle.



Legenda: Duas estações de teste chumby em uma fábrica na China. Há uma grande história sobre o problema que enfrentamos para levar esses laptops para a China.

*A pair of chumby test stations in the factory in China. There's quite a story about the trouble we went through getting those laptops into China.*

Uma vez que você tenha concluído a configuração do processo de teste, ele pode ser executado autonomamente na fábrica. Por exemplo, na fábrica de PCBs do Chumby, a primeira etapa da inspeção final era feita manualmente: uma pessoa examinava cada placa de circuito e, em seguida, com a ajuda de um modelo de papelão, outro operador garantia que nenhum componente estivesse faltando. As unidades então passaram para o teste automatizado.

Periodicamente, tanto a PCH quanto a fábrica também realizavam testes de Restrição de Substâncias Perigosas (RoHS) nas unidades do Chumby para garantir que não houvesse contaminação com um conjunto especificado de produtos químicos potencialmente prejudiciais, incluindo o chumbo. A RoHS é um padrão de segurança química perigosa exigido na Europa, mas, ironicamente, não nos Estados Unidos. As fábricas rotineiramente realizam esse teste em todos os produtos, mesmo aqueles que são enviados apenas para os Estados Unidos, porque a contaminação latente na linha poderia impedir que outros produtos fabricados na mesma linha fossem enviados para a Europa.

Mesmo após todos esses testes, nos Estados Unidos, a Chumby continuou a mostrar unidades para fins de controle de qualidade (QC). Para isso, regularmente encomendávamos, caracterizávamos e dissecávamos dispositivos para garantir que todos os procedimentos operacionais estivessem sendo seguidos.

## **Erros ainda acontecem**

Apesar dessas salvaguardas, alguns erros ocorrerão em qualquer produto. Todo produto passa por uma fase em que os bugs que não foram detectados pela QA interna são corrigidos. É necessário contar com uma equipe de atendimento e suporte ao cliente de primeira linha, e você deve planejar ser muito ágil e inovador durante essa fase para resolver os problemas e evitar que eles ocorram novamente.



Quando eu estava na Chumby, se eu ouvisse falar de uma unidade com problemas de hardware, eu realmente ligava para o cliente que relatou o problema. Eu queria saber o que deu errado para poder corrigir o problema e garantir que ele nunca acontecesse novamente, com ninguém!

No entanto, minha maior esperança com o Chumby era evitar o que aconteceu com a Microsoft e o “anel vermelho da morte” do Xbox 360, onde os consoles apresentavam uma falha de hardware grave, paravam de funcionar e exibiam apenas uma luz vermelha ao redor do botão de energia, causando grande frustração para os jogadores. Esse problema só se manifestou depois que o Xbox 360 já estava no mercado há anos e milhões de unidades haviam sido vendidas. Situações como o “anel vermelho da morte” são o pesadelo de um engenheiro de produtos.

Então você vê, levar o Chumby (ou qualquer produto) ao ponto em que pode ser enviado aos consumidores é apenas o começo. O verdadeiro desafio começa depois.

Se você se encontrar nesse ponto do processo de fabricação, deseje-lhe boa sorte!

## **Pensamentos finais**

As histórias contadas aqui compartilham algumas das minhas aventuras — e fracassos — aprendendo a construir produtos em grande volume. Os próximos dois capítulos são mais reflexivos e menos narrativos. O próximo capítulo nos leva a um passeio virtual por três fábricas para ver o que podemos aprender com elas, e o Capítulo 3 tenta resumir todas as lições que aprendi sobre fabricação até agora.