

"A look inside a mind without peer."

— Edward Snowden

# The Hardware Hacker

ADVENTURES IN MAKING  
& BREAKING HARDWARE

MAIN LOGIC BOARD SCHEMATIC

Andrew "bunnie" Huang



**Louvor para**  
***O hacker de hardware***

"O hardware, diz Bunnie, é um mundo sem segredos: se você se aprofundar o suficiente, até a chave mais importante será expressa em silício ou em fusíveis. Bunnie's é um mundo sem mistérios, apenas espaços inexplorados. Este é um olhar para dentro de uma mente sem igual."

-EanãoSagora

"Um tour de force que combina as muitas carreiras geniais de um dos maiores comunicadores hackers do mundo: práticas, teóricas, filosóficas e muitas vezes alucinantes."

-CoryDoCtorow, autor de *EuittLeBirmãoe* Tecnologia  
ativista

"bunnie vive no mundo do hardware onde a solda encontra o PCB. Ele tem mais experiência prática e é um melhor professor de como funciona o ecossistema de hardware do que qualquer outra pessoa que já conheci, e conheço muitas pessoas nesta área. Ele transformou essa experiência e conhecimento em um livro incrível – uma bíblia do ponto de vista do hacker para qualquer pessoa que tente trabalhar ou entender e trabalhar no mundo emergente e em evolução do hardware."

- J.oieupara, dirECTor, Mit MÉdiaeuab

"bunnie é o guia turístico definitivo sobre hacking de hardware tal como existe hoje, com um olhar voltado para a arte sublime de como as coisas são realmente feito. *O hacker de hardware* irá levá-lo numa viagem pelas fábricas do mundo, cobrindo as implicações técnicas e éticas das 'coisas' que fabricamos e compramos."

- eUiMor "ladyada" fRiEd, fao redor & EnginEEr, adafruta  
eUnduStriES

"Curioso para saber como surgem os dispositivos em nossa vida diária? Quer fabricar seu próprio projeto? Neste livro bem escrito, Bunnie descreve os meandros do processo de fabricação na China. Uma leitura muito divertida e informativa."

-Mcoceira@Homem,inventor detv-bgum®

"*O hacker de hardware* é, em sua essência, a cartilha para compreender a cultura de fazer algo na China, como construir milhares de coisas e por que o Hardware Aberto funciona."

-hhoje

# O Hardware Hacker

Aventuras em Criação  
e quebrando hardware

Andrew “coelho” Huang



**O hacker de hardware.**Copyright © 2017 por Andrew “bunnie” Huang.

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte deste trabalho pode ser reproduzida ou transmitida de qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou por qualquer sistema de armazenamento ou recuperação de informações, sem a permissão prévia por escrito do proprietário dos direitos autorais e do editor.

20 19 18 17 1 2 3 4 5 6 7 8 9

ISBN-10: 1-59327-758-X

ISBN-13: 978-1-59327-758-1

Editora: William Pollock Editora  
de produção: Alison Law  
Design de capa e jaqueta: Hotiron Design criativo de  
interiores: Beth Middleworth Editora de  
desenvolvimento: Jennifer Griffith-Delgado

Editora: Rachel Monaghan  
Compositora: Alison Law  
Revisora: Emelie Burnette  
Indexadora: BIM Creatives, LLC.

As imagens nas páginas a seguir foram reproduzidas com permissão: páginas 58–59 © David Cranor; página 124 © peças em falta; páginas 216, 227–228 © Scott Torborg; página 248 © Joachim Strömborgson; páginas 253 (parte inferior) e 254–255 © Jie Qi; página 256 (topo) © Chibitronics; página 310 © Nadya Peek; página 326 (topo) de Eva Yus et al., “Impact of Genome Regulation on Bacterial Metabolism and Its Regulation,” *Ciência* 326, não. 5957 (2009), reimpresso com permissão da AAAS; página 349 © Sakurambo, usado sob CC BY-SA 3.0.

As entrevistas nas páginas a seguir foram publicadas originalmente online e são reproduzidas com permissão: páginas 190–204, publicadas originalmente como “MAKE’s Exclusive Interview with Andrew (bunnie) Huang – The End of Chumby, New” por Phillip Torrone em *Fazer* (30 de abril de 2012), <http://makezine.com/2012/04/30/faz-exclusiva-entrevista-com-andrew-bunnie-huang-the-end-of-chumby-new-adventures/>; páginas 357–372, publicado originalmente em chinês como “Andrew “bunnie” Huang：开源硬件、创客与硬件黑客” em *Rede de desenvolvedores de software da China* (3 de julho de 2013), <http://www.csdn.net/article/2013-07-03/2816095>; páginas 372–382, publicado originalmente como “The Blueprint Talks to Andrew Huang” em *O projeto* (15 de maio de 2014), <https://theblueprint.com/stories/andrew-huang/>.

Para obter informações sobre distribuição, traduções ou vendas a granel, entre em contato diretamente com a No Starch Press, Inc.:

Sem amido Press, Inc.  
245 8th Street, São Francisco, CA 94103  
telefone: 1.415.863.9900; info@nostarch.com ; www.nostarch.com

*Dados de catalogação na publicação da Biblioteca do Congresso*

Nomes: Huang, Andrew, autor.  
Título: O hacker de hardware: aventuras na criação e quebra de hardware /  
Andrew “Bunnie” Huang.  
Descrição: 1ª ed. | São Francisco: No Starch Press, Inc., [2017] Identificadores:  
LCCN 2016038846 (imprimir) | LCCN 2016049285 (e-book) | ISBN  
9781593277581 (pbk.) | ISBN 159327758X (pbk.) | ISBN 9781593278137 (epub) | ISBN  
1593278136 (epub) | ISBN 9781593278144 (mobi) | ISBN 1593278144 (mobi)

Disciplinas: LCSH: Aparelhos e eletrodomésticos eletrônicos - Projeto e construção.  
| Aparelhos e eletrodomésticos eletrônicos - Inovações tecnológicas. |  
Equipamento de entrada e saída de computador - Projeto e construção. |  
Engenharia reversa. | Indústrias eletrônicas. | Huang, André.  
Classificação: LCC TK7836 .H83 2017 (imprimir) | LCC TK7836 (e-book) | CDD  
621.381092--dc23  
Registro LC disponível em <https://lccn.loc.gov/2016038846>

No Starch Press e o logotipo No Starch Press são marcas registradas da No Starch Press, Inc. Outros nomes de produtos e empresas mencionados aqui podem ser marcas registradas de seus respectivos proprietários. Em vez de usar um símbolo de marca registrada em cada ocorrência de um nome de marca registrada, utilizamos os nomes apenas de forma editorial e em benefício do proprietário da marca registrada, sem intenção de violar a marca registrada.

As informações contidas neste livro são distribuídas “como estão”, sem garantia. Embora todas as precauções tenham sido tomadas na preparação deste trabalho, nem o autor nem a No Starch Press, Inc. terão qualquer responsabilidade perante qualquer pessoa ou entidade com relação a qualquer perda ou dano causado ou supostamente causado direta ou indiretamente pelo informações contidas nele.

A todas as pessoas maravilhosas, pacientes e receptivas  
que apoiaram este hacker excêntrico

## **AGRADECIMENTOS**

Obrigado a toda a equipe trabalhadora da No Starch Press por fazer este livro acontecer. Em particular, obrigado a Bill Pollock por conceber e patrocinar o esforço, e obrigado a Jennifer Griffith-Delgado por compilar, editar e organizar meus escritos na forma deste livro.

# breve conteúdo

prefácio.....	xvii
<b>parte 1</b>	
<b>aventuras na manufatura.....</b>	<b>1</b>
capítulo 1. fabricado na China.....	7
capítulo 2. dentro de três fábricas muito diferentes.....	43
capítulo 3. chão de fábrica.....	73
<b>parte 2</b>	
<b>pensando diferente:</b>	
<b>propriedade intelectual na China .....</b>	<b>115</b>
capítulo 4. inovação gongkai .....	119
capítulo 5. produtos falsificados.....	143
<b>parte 3</b>	
<b>o que hardware aberto significa para mim .....</b>	<b>175</b>
capítulo 6. a história do chumby.....	181
capítulo 7. novena: construindo meu próprio laptop.....	215
capítulo 8. chibitrônica: criando adesivos de circuito.....	251

<b>parte 4</b>	
<b>a perspectiva de um hacker.....</b>	<b>275</b>
capítulo 9. hacking de hardware.....	279
capítulo 10. biologia e bioinformática.....	325
capítulo 11. entrevistas selecionadas.....	357
epílogo.....	383
índice.....	384

# conteúdo em detalhes

<b>prefácio</b>	<b>xvii</b>
<b>parte 1</b>	
<b>aventuras na fabricação</b>	<b>1</b>
<b>1. fabricado na China</b>	<b>7</b>
O melhor mercado de pulgas de componentes eletrônicos .....	8
A Próxima Revolução Tecnológica .....	14
Visitando fábricas com Chumby.....	16
Escala em Shenzhen .....	17
Alimentando a Fábrica .....	18
Dedicação à Qualidade .....	20
Construindo tecnologia sem usá-la.....	23
Trabalhadores qualificados .....	24
A Necessidade de Artesãos .....	26
Automação para montagem eletrônica .....	29
Precisão, Moldagem por Injeção e Paciência .....	31
O Desafio da Qualidade .....	34
Considerações finais.....	42
<b>2. dentro de três fábricas</b>	
<b>muito diferentes</b>	<b>43</b>
Onde nascem os Arduinos.....	44
Começando com uma folha de cobre.....	46
Aplicando o padrão PCB ao cobre.....	49
Gravando os PCBs .....	51
Aplicando Soldermask e Silkscreen.....	53
Testando e finalizando as placas.....	54

Onde nascem os cartões de memória USB.....	57
O início de um pendrive USB.....	57
Colocação manual de chips em uma placa de circuito impresso.....	59
Unindo os chips ao PCB.....	61
Uma análise detalhada das placas de pendrives USB .....	61
Uma história de dois zíperes.....	64
Um processo totalmente automatizado .....	67
Um processo semiautomático.....	68
A Ironia da Escassez e da Demanda.....	70
<b>3. chão de fábrica</b>	<b>73</b>
Como fazer uma lista de materiais .....	74
Uma lista técnica simples para uma luz de segurança para bicicleta.....	74
Fabricantes Aprovados .....	76
Especificação de tolerância, composição e tensão.....	76
Fator de forma do componente eletrônico.....	77
Números de peça estendidos .....	78
A lista técnica da luz de segurança para bicicletas revisitada.....	79
Planejando e Lidando com a Mudança.....	82
Otimização de Processos: Projeto para Fabricação.....	84
Por que DFM?.....	85
Tolerâncias a considerar .....	86
Seguir o DFM ajuda em seus resultados.....	88
O produto por trás do seu produto .....	91
Teste vs. Validação.....	97
Encontrando Equilíbrio no Design Industrial.....	100
O acabamento e o acabamento do gordinho.....	101
A arte da serigrafia do Arduino Uno .....	104
Meu processo de design .....	105
Escolhendo (e Mantendo) um Parceiro.....	107
Dicas para formar um relacionamento com uma fábrica.....	107
Dicas sobre citações .....	108
Conselhos Diversos .....	111
Considerações finais.....	113

<b>parte 2</b>	
<b>pensando diferente:</b>	
<b>propriedade intelectual na China</b>	<b>115</b>
<b>4. inovação gongkai</b>	<b>119</b>
Quebrei a tela do meu telefone e foi incrível.....	120
Shanzhai como empreendedores.....	121
Quem são os Shanzhai? .....	122
Mais que imitadores .....	123
Regras de IP aplicadas pela comunidade .....	124
O telefone de US\$ 12 .....	126
Dentro do telefone de \$ 12 .....	128
Apresentando Gongkai .....	131
Do Gongkai ao código aberto .....	134
Os engenheiros também têm direitos .....	135
Considerações finais.....	141
<b>5. produtos falsificados</b>	<b>143</b>
Chips falsificados bem executados .....	143
Chips falsificados em hardware militar dos EUA.....	149
Tipos de peças falsificadas.....	150
Falsificações e Projetos Militares dos EUA .....	153
Medidas Antifalsificação .....	154
Cartões MicroSD falsos.....	156
Diferenças Visíveis.....	157
Investigando as Cartas .....	158
Os cartões MicroSD eram autênticos?.....	159
Investigação Forense Adicional.....	160
Juntando informação.....	162
Resumindo minhas descobertas.....	166
FPGAs falsos .....	168
O problema da tela branca .....	168
Códigos de identificação incorretos .....	170
A solução.....	172
Considerações finais.....	174

<b>parte 3</b>	
<b>o que hardware aberto significa para mim</b>	<b>175</b>
<b>6. a história do gordinho</b>	<b>181</b>
Uma plataforma amigável para hackers .....	182
Evoluindo gordinho .....	184
Um dispositivo mais hackeável .....	186
Hardware sem segredos.....	187
O Fim do Chumby, Novas Aventuras.....	189
Por que os melhores dias do hardware aberto ainda estão por vir .....	205
De onde viemos: aberto para fechado.....	206
Onde Estamos: “Sentar e Esperar” vs. “Inovar” .....	208
Para onde estamos indo: laptops tradicionais .....	210
Uma oportunidade para hardware aberto .....	211
Considerações finais.....	214
<b>7. novena: construindo meu próprio laptop</b>	<b>215</b>
Não é um laptop para os fracos de coração.....	217
Projetando a Novena Inicial.....	219
Sob o capô.....	219
O Invólucro.....	224
Composto de madeira personalizado do laptop Heirloom .....	227
Cultivando Novenas .....	228
Os Detalhes de Engenharia Mecânica .....	229
Alterações no produto acabado .....	232
Problemas de construção de caixa e moldagem por injeção .....	233
Alterações no painel frontal .....	237
Alto-falantes DIY.....	238
A placa-mãe PVT2 .....	238
Um quadro de discussão para iniciantes .....	241
A Placa de Passagem de Energia da Novena de Desktop.....	242
Problemas com baterias personalizadas.....	243
Escolhendo um disco rígido .....	244
Finalizando Firmware.....	246
Construindo uma comunidade.....	247
Considerações finais.....	249

## **8. chibitronics: criando adesivos de circuito 251**

Criando com Circuitos .....	257
Desenvolvendo um Novo Processo .....	259
Visitando a Fábrica.....	260
Executando um teste de capacidade do processo.....	261
Cumprindo uma promessa.....	264
Por que a entrega no prazo é importante .....	266
Lições aprendidas .....	266
Nem todas as solicitações simples são simples para todos.....	267
Nunca pule um gráfico de verificação .....	268
Se um componente puder ser colocado incorretamente, ele será.....	268
Alguns conceitos não são bem traduzidos para o chinês .....	270
Elimine pontos únicos de falha.....	271
Algumas mudanças de última hora valem a pena .....	271
O Ano Novo Chinês Impacta a Cadeia de Fornecimento.....	272
O envio é caro e difícil.....	273
Você não estará fora de perigo até embarcar.....	274
Considerações finais.....	274

## **parte 4 a perspectiva de um hacker 275**

<b>9. hackeamento de hardware 279</b>	
Hackeando o PIC18F1320.....	281
Decapagem do IC .....	282
Olhando mais de perto .....	283
Apagando a memória flash .....	284
Apagando os bits de segurança .....	285
Protegendo os Outros Dados .....	287
Hackeando cartões SD .....	289
Como funcionam os cartões SD.....	290
Engenharia reversa do microcontrolador da placa.....	293
Possíveis problemas de segurança .....	298
Um recurso para amadores .....	298
Hackeando links protegidos por HDCP para permitir sobreposições personalizadas .....	298
Antecedentes e Contexto .....	300
Como a NeTV funcionava .....	302

Hackeando um telefone Shanzhai .....	306
A Arquitetura do Sistema .....	306
Engenharia reversa da estrutura de inicialização.....	311
Construindo uma cabeça de praia .....	315
Anexando um depurador .....	317
Inicializando um sistema operacional.....	321
Construindo uma nova cadeia de ferramentas.....	321
Resultados de Fernvale.....	323
Considerações finais.....	324
<b>10. biologia e bioinformática</b>	<b>325</b>
Comparando o H1N1 a um vírus de computador.....	327
DNA e RNA como bits.....	328
Os Organismos Possuem Portas de Acesso Exclusivas .....	330
Combatendo a Gripe Suína.....	331
Gripe adaptável .....	333
Um lado bom .....	335
Superbactérias de Engenharia Reversa .....	335
A Sequência de DNA O104:H4 .....	336
Ferramentas de reversão para biologia.....	338
Respondendo a perguntas biológicas com scripts UNIX Shell.....	340
Mais perguntas do que respostas.....	342
Desvendando mitos sobre Genômica Personalizada .....	344
Mito: ler seu genoma é como despejar feitiços a ROM do seu computador .....	344
Mito: Sabemos quais mutações predizem doenças.....	345
Mito: O genoma de referência é uma referência precisa.....	345
Remendando um Genoma .....	346
CRISPRs em Bactérias .....	347
Determinando onde cortar um gene.....	350
Implicações para a Engenharia Humana.....	351
Hackeando a Evolução com Gene Drive.....	0,352
Considerações finais.....	354

<b>11. entrevistas selecionadas</b>	<b>357</b>
Andrew “bunnie” Huang: Hacker de hardware (CSDN) .....	357
Sobre Hardware Aberto e o Movimento Maker .....	358
Sobre Hackers de Hardware .....	367
O Blueprint fala com Andrew Huang .....	372
<b>epílogo</b>	<b>383</b>
<b>índice</b>	<b>384</b>



# prefácio

Quando Bill Pollock, fundador da No Starch Press, me contatou pela primeira vez com a ideia de publicar uma compilação de meus escritos, fiquei cético. Não pensei que haveria material suficiente para preencher cem páginas. Parece que eu estava errado.

Minha mãe costumava dizer: “Não importa o que está na sua cabeça se você não consegue contar às pessoas o que há nela”, e quando eu estava na sétima série, ela me matriculou em um curso de redação depois da escola. Eu odiava a aula na época, mas, pensando bem, estou grato. Começando com minhas redações de inscrição para a faculdade e até hoje, descobri que a capacidade de organizar meus pensamentos em prosa é inestimável.

A maior parte do material deste livro foi publicada originalmente em meu blog, mas como você verá em breve, essas postagens não eram artigos escritos para gerar receita publicitária. Um dos motivos pelos quais escrevo é para solidificar minha própria compreensão de assuntos complicados. É fácil acreditar que você entende um assunto até tentar explicá-lo a outra pessoa de maneira rigorosa. Escrever é como destilo minha intuição em conhecimento estruturado; Só escrevo quando encontro algo interessante sobre o qual escrever e depois posto com uma licença CC BY-SA para encorajar outras pessoas a compartilhá-lo.

Este livro inclui uma seleção de meus escritos sobre manufatura, propriedade intelectual (com foco na comparação das perspectivas ocidental e chinesa), hardware aberto, engenharia reversa, biologia e bioinformática. Os bons editores da No Starch Press também organizaram algumas entrevistas que fiz no passado que foram particularmente informativas ou esclarecedoras. O fio condutor desses diversos tópicos é o hardware: como ele é feito, as estruturas legais em torno dele e como é desfeito. E sim, os sistemas biológicos são hardware.

Sempre fui atraído pelo hardware porque, embora não seja particularmente talentoso quando se trata de pensamento abstrato (daí a necessidade de escrever para organizar meus pensamentos), sou muito bom com as mãos. Tenho uma chance muito maior de entender as coisas que posso ver com meus próprios olhos.

Toda a minha compreensão do mundo sempre foi construída sobre uma série de experiências físicas simples, desde quando empilhei blocos e os derrubei quando era criança. Este livro compartilha algumas de minhas experiências mais recentes. Espero que ao lê-los você obtenha uma compreensão mais profunda do mundo do hardware, sem ter que passar décadas empilhando blocos e derrubando-os.

Feliz hacking,  
-b.

# Parte 1

## aventuras em fabricação

Pisei pela primeira vez na China em novembro de 2006. Não tinha ideia no que estava me metendo. 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: Shenzhen era apenas uma cidade de 300 mil habitantes em 1980, mas explodiu em uma megacidade de 10 milhões de habitantes em menos de 30 anos. Entre a minha primeira visita e o momento em que escrevi este livro, Shenzhen ganhou cerca de 4 milhões de pessoas – mais do que a população de Los Angeles.

De certa forma, a minha compreensão da indústria ao longo dos anos reflectiu o crescimento de Shenzhen. Antes de ir para a China, nunca tinha produzido nada em massa. Eu não sabia nada sobre cadeias de suprimentos. Eu não tinha ideia do que significava "operações e logística". Para mim, parecia algo saído de um livro de matemática ou programação.

Mesmo assim, Steve Tomlin, meu chefe na época, me encarregou de descobrir como construir uma cadeia de suprimentos adequada para nossa startup de hardware, a Chumby. Enviar um novato para a China era um grande risco, mas a minha falta de noções preconcebidas era mais uma vantagem do que uma desvantagem. Naquela época, os capitalistas de risco evitavam

hardware, e a China era apenas para empresas estabelecidas que procuravam construir centenas de milhares de unidades de um determinado produto. Minha primeira visita à China certamente apoiou essa ideia, já que visitei principalmente megafábricas que atendiam ao *Fortuna500*.

Chumby teve a sorte de ser colocado sob a proteção da PCH International como seu primeiro cliente inicial. Na PCH, fui orientado por alguns dos melhores engenheiros e especialistas em cadeia de suprimentos. Também tive a sorte de poder compartilhar minhas experiências em meu blog, já que a Chumby foi uma das primeiras startups de hardware aberto do mundo.

Embora cumprir os volumes mínimos de encomenda dos nossos parceiros de produção convencionais fosse uma luta constante, continuei a reparar em pequenas coisas que não se enquadravam na sabedoria convencional. De alguma forma, as empresas chinesas locais conseguiram remixar a tecnologia em produtos boutique. Os chamados shanzhai integravam telefones celulares em todos os tipos de formas extravagantes, desde isqueiros até estatuetas ornamentais douradas de Buda (mais sobre isso no Capítulo 4). A natureza de nicho destes produtos significava que tinham de ser económicos para serem produzidos em volumes mais pequenos. Também notei que, de alguma forma, as fábricas eram capazes de produzir rapidamente circuitos adaptadores sob medida e aparelhos de teste de qualidade surpreendentemente alta em volumes unitários. Senti que havia mais no ecossistema – uma história que era contada continuamente – mas poucos tinham tempo para ouvir, e aqueles que tinham ouviam apenas as partes que queriam ouvir.

A crise financeira de 2008 mudou tudo. O mercado de electrónica de consumo foi esmagado e as fábricas que antes estavam demasiado ocupadas a imprimir dinheiro estavam agora nadando em excesso de capacidade. Fiz amigos em diversas fábricas de médio porte da região. Comecei a perguntar como, exatamente, essas fábricas foram capazes de produzir com tanta agilidade seus equipamentos de teste internos e como a Shanzhai conseguiu prototipar e construir esses telefones sob medida.

Os chefes e engenheiros foram inicialmente reticentes, não porque quisessem esconder de mim potenciais vantagens competitivas, mas porque tinham vergonha das suas práticas. Os clientes estrangeiros estavam cheios de processos corporativos, documentação e procedimentos de qualidade, mas também pagavam caro por essas despesas gerais. As empresas locais eram muito mais informais e pragmáticas. E daí se uma lixeira estiver rotulada como “sucata”? Se as brocas internas forem adequadas para um trabalho, use-as!

Eu queria participar. Como engenheiro, consertador e hacker, eu me importava muito com o custo de produção de algumas unidades, e alguns pequenos defeitos de montagem não eram nada comparados aos problemas de design que tive que depurar. Acabei conseguindo convencer uma fábrica a me deixar construir uma peça usando seu processo de montagem de baixa qualidade, mas ultrabarato.

O truque era garantir que eu pagaria por todo o produto, inclusive pelas 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 de acordo com as especificações. Assim, as fábricas dissuadem fortemente os clientes de utilizar processos mais baratos, mas de baixa qualidade.

É claro que a minha promessa de pagar pelo produto defeituoso significava que não havia incentivo para a fábrica fazer um bom trabalho. Poderia, em teoria, ter apenas me entregado uma caixa de peças de reposição e eu ainda teria que pagar por isso. Mas, na realidade, ninguém tinha tais más intenções; contanto que todos simplesmente tentassem o seu melhor, acertariam cerca de 80% das vezes. Como os custos de produção de pequenos volumes são dominados pela configuração e montagem, meus resultados ainda foram melhores, apesar de jogar fora 20% das minhas peças, e consegui as peças em apenas alguns dias, em vez de algumas semanas.

Ter opções de negociação entre custos, cronograma e qualidade muda tudo. Fiz questão de descobrir mais métodos de produção alternativos e continuar encurtando

o caminho entre ideias e produtos, com cada vez mais opções no espectro custo-prazo-qualidade.

Depois de Chumby, decidi continuar desempregado, em parte para ter tempo para descobertas. Por exemplo, todo mês de janeiro, em vez de ir ao frenético Consumer Electronics Show (CES) em Las Vegas, aluguei um apartamento barato em Shenzhen e me dediquei ao “estudo monástico da manufatura”; pelo preço de uma noite em Las Vegas, morei em Shenzhen por um mês. Escolhi deliberadamente bairros onde não se falava inglês e me forcei a aprender a língua e os costumes para sobreviver. (Embora eu seja etnicamente chinês, meus pais priorizaram a fluência em inglês sem sotaque em vez de aprender chinês.) Vagueei pelas ruas à noite e observei os becos, tentando entender todas as coisas estranhas e maravilhosas que vi acontecendo durante o dia. Os negócios continuam em Shenzhen até altas horas da madrugada, mas em um ritmo muito mais lento. À noite, pude distinguir agentes solitários agindo de acordo com seus interesses e intenções.

Se há uma coisa que esses estudos me ensinaram é que tenho muito mais a aprender. O ecossistema do Delta do Rio das Pérolas é incompreensivelmente vasto. Tal como acontece com o Grand Canyon, simplesmente percorrer uma trilha da borda até a base não significa que você já viu tudo. No entanto, adquiri conhecimento suficiente para construir um laptop personalizado e desenvolver um novo processo para circuitos eletrônicos de fácil remoção.

Nesta parte do livro, você acompanhará minha jornada à medida que aprendi sobre o ecossistema de Shenzhen ao longo dos anos, por meio de um remix de postagens de blog que escrevi ao longo do caminho. Alguns dos ensaios são reflexões sobre aspectos particulares 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 recomendações resumidas para qualquer pessoa que considere a fabricação terceirizada. Se estiver com pressa, você pode pular todo o plano de fundo e ir diretamente para lá.

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 todos os caminhos errados e suposições erradas. Não existe um método único para abordar a China, e a minha esperança é que, ao ler estas histórias, você possa chegar às suas próprias conclusões (talvez diferentes) que melhor atendam às suas necessidades específicas.



# 1. fabricado na China

---

Antes da minha primeira visita à China, eu estava convencido de que Akihabara, em Tóquio, era o local certo para encontrar os mais recentes produtos eletrônicos, bugigangas e componentes. Isso mudou em janeiro de 2007, quando vi pela primeira vez o SEG Electronics Market em Shenzhen. SEG tem oito andares de todos os componentes que um viciado em hardware poderia desejar, e só mais tarde descobri que é apenas a ponta do iceberg do distrito eletrônico de Hua Qiang.

Na época, como engenheiro-chefe de hardware da Chumby, eu estava na China com o então CEO Steve Tomlin para descobrir como fazer chumbys (um dispositivo de entrega de conteúdo de código aberto habilitado para Wi-Fi) de maneira barata e dentro do prazo. Com preços como os da SEG, estávamos definitivamente no país certo para tornar pelo menos a primeira parte dessa missão um sucesso.



*Mercado de eletrônicos SEG de Shenzhen, a nova meca da eletrônica.*

*Akihabara, coma seu coração!*

## O MERCADO DE PULGAS DO COMPONENTE ELETRÔNICO FINAL

Quando entrei pela primeira vez no prédio da SEG, fui assaltado por um turbilhão de componentes eletrônicos: fitas e bobinas de resistores e capacitores, CIs de todos os tipos, indutores, relés, pontos de teste de pogo pin, voltímetros e bandejas de chips de memória. Como um novato na produção em volume, fiquei impressionado com tudo que vi na SEG.

Todas essas peças estavam amontoadas em pequenas cabines de um metro e oitenta por um metro, cada uma com um lojista mexendo em um laptop. Alguns lojistas brincavam ir, e algumas partes contadas. Alguns estandes eram verdadeiras lojas familiares, com mães cuidando de bebês e crianças brincando nos corredores.



*Algumas lojas de componentes familiares*

Outros estandes eram profissionais com funcionários uniformizados e funcionavam como um bar – completo com bancos – para componentes eletrônicos.



*Um vendedor de peças profissional chique*

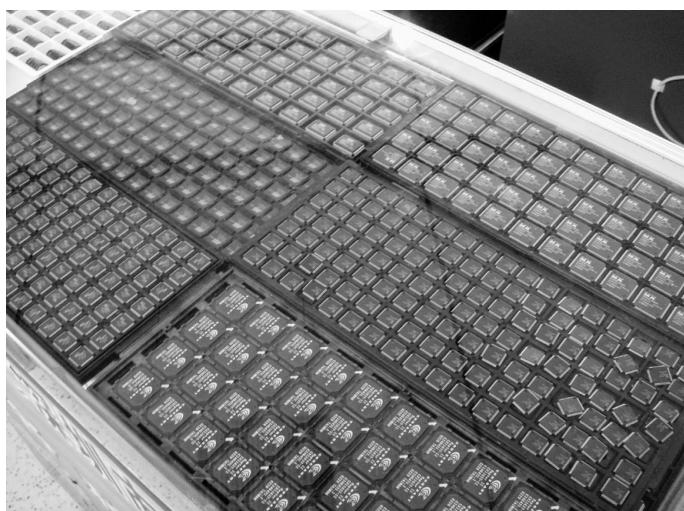
Ninguém na SEG diz: “Oh, você pode obter 10 desses LEDs ou alguns desses relés”, como você pode ouvir em Akihabara. Não não. Esses estandes são especializados e, se você encontrar um componente de que goste, geralmente poderá comprar vários tubos, bandejas ou bobinas; você pode obter o suficiente para entrar em produção no dia seguinte.

Olhando ao redor do mercado, vi uma mulher separando pilhas de cartões mini-SD de 1 GB, como se fossem fichas de pôquer. Um homem estava colocando cartões de memória Kingston de 1 GB em embalagens de varejo e, ao lado dele, uma garota contava resistores.



*O canto inferior esquerdo desta tela estava repleto de todos os tipos de cartões SD.*

Outro estande tinha pilhas de fontes de alimentação, varistores, baterias e programadores de ROM, e outro tinha chips de todos os tipos: Atmel, Intel, Broadcom, Samsung, Yamaha, Sony, AMD, Fujitsu e muito mais. Alguns chips foram claramente arrancados de equipamentos usados e marcados, alguns deles em embalagens OEM novas e marcadas a laser.



*A grande quantidade de chips à venda em um único estande da SEG foi incrível.*

Vi chips que nunca conseguiria comprar nos Estados Unidos, bobinas de capacitores de cerâmica raros com os quais só sonhava à noite. Meus sentidos formigaram; minha cabeça girou. Não consegui reprimir um sorriso de antecipação ao virar a esquina seguinte e ver lojas empilhadas do chão ao teto com provavelmente 100 milhões de resistores e capacitores.



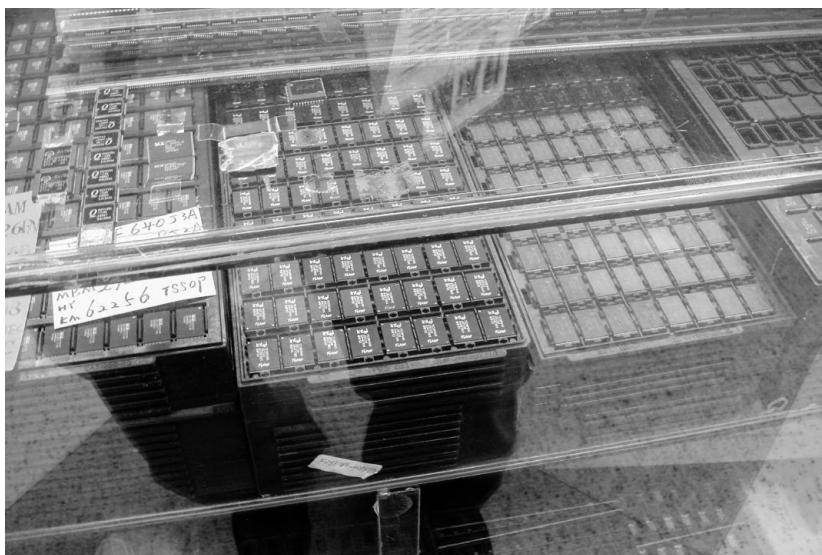
*Bobinas e mais bobinas de componentes, em todas as vitrines*

Elementos de câmera Sony CCD e CMOS! Eu não poderia comprá-los nos Estados Unidos se arrancasse os dentes dos representantes de vendas. (Alguns vendedores até têm as folhas de dados atrás do balcão; sempre pergunte.) Em seguida, localizei uma pilha de chips reguladores Micrel, seguido por um chip Blackfin DSP à venda. Perto dali, uma senhora contou chips DRAM de 256 Mb – bandejas de 108 componentes, empilhadas em 20, talvez em 10 fileiras.



*O equivalente a todo o estoque de chips DRAM da Digi-Key estava bem na minha frente!*

E em frente dela havia mais meia dúzia de lojinhas cheias de salgadinhos iguais aos dela. Em uma loja, um homem estava orgulhoso diante de uma bandeja de chips flash NAND de 4 Gb. Tudo isso estava disponível por um pouco de pechincha, um pouco de dinheiro e uma despedida apressada.



*Uma olhada mais de perto em uma bandeja de chips flash de 4 Gb*

E esses são apenas os dois primeiros andares do SEG. Há mais seis andares de componentes de computador, sistemas, laptops, placas-mãe, câmeras digitais, câmeras de segurança, pen drives, mouses, câmeras de vídeo, placas gráficas de última geração, monitores de tela plana, trituradores, lâmpadas, projetores – você escolhe. Nos fins de semana, “booth babes” vestidas com escandalosos macacões brilhantes da marca Acer ficam por aí, tentando puxar você para comprar seus produtos. Este mercado tem toda a energia de uma CES e Computex o ano todo, exceto que, em vez de apenas exibir a tecnologia mais recente, o objetivo é levar você a esses estandes para comprar esse hardware. As feiras sempre parecem um strip tease, com sua respiração formando anéis fantasmagóricos no vazio enquanto você paira sobre os produtos inalcançáveis por baixo.

Mas SEG não é um strip tease. É a orgia das compras de eletrônicos industriais e de consumo, onde você pode colocar suas patas sujas em cada peça de equipamento por dinheiro suficiente.*kua!*\* da sua carteira. Entre o cheiro, a agitação e a agitação, o SEG é o melhor mercado de pulgas de componentes eletrônicos. É como se a Digi-Key enlouquecesse e deixasse macacos entrar em seu armazém em Minnesota, e o caos resultante se espalhasse por um mercado de pulgas na China.

É claro que muitas das peças que me maravilharam em 2007 agora são antiguidades. Por exemplo, chips flash de 4 Gb são lixo e discos flash de 1 GB são notícia velha. Na época, porém, essas coisas eram um grande negócio, e o SEG ainda é o melhor lugar para obter a tecnologia mais recente em massa.

## A PRÓXIMA REVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

A três quarteirões da SEG ficava a Livraria de Shenzhen.<sup>t</sup> A primeira e mais visível estante era uma seção de livros estrangeiros, repleta de clássicos como o do professor da Universidade de Stanford, Thomas Lee. *O Projeto de Radiofrequência CMOS Integrada*

---

\* Palavra coloquial *parayuan*, a unidade básica de contagem para *orenminbi* (*RMB*), a moeda na China. † Esta livraria está fechada desde a visita que aqui descrevo.

*Circuitos* e vários títulos do professor da UCLA Behzad Razavi. Comprei o livro de Lee e custou 68 kuai, ou US\$ 8,50. Vaca sagrada! O livro de Jin Au Kong sobre as equações de Maxwell? US\$ 5. Jin Au Kong ensinou-me as equações de Maxwell no MIT.

Saí para uma farra, arrumando minha mochila com seis ou sete títulos, provavelmente cerca de US\$ 700 em livros, se eu os tivesse comprado nos Estados Unidos. No caixa, comprei-os por menos de US\$ 35, completos com os CDs suplementares, economizando cerca de US\$ 665. Isso equivale a comprar uma passagem em classe econômica para Hong Kong!

Na China, o conhecimento é barato. Os componentes são baratos. O conhecimento nos livros da Livraria de Shenzhen era o Real Deal, as peças para usar esse conhecimento estão na SEG, na mesma rua, e a uma hora de carro ao norte há provavelmente 200 fábricas que podem pegar qualquer ideia eletrônica e bombeá-la literalmente, carga de barco. Estas também não são fábricas atrasadas. Com meus próprios olhos, vi transceptores de fibra óptica de marca, de 1.550 nanômetros, monomodo e de longa distância, sendo construídos e testados lá. Shenzhen é um terreno fértil e você precisa vê-lo para entendê-lo.

Shenzhen tem a sensação prenhe dos swapfests de Silicon Valley dos anos 80, quando todas as grandes empresas estavam apenas a ser fundadas e a começar a funcionar, só que ampliadas pelos 25 anos de progresso na lei de Moore e pela velocidade do fluxo de informação através da Internet. Nesta cidade de 12 milhões de habitantes, a maioria está envolvida com tecnologia ou manufatura, muitos estão aprendendo inglês e todos estão dispostos a trabalhar duro.

Tem que haver Jobs e Wozniak em algum lugar, construindo silenciosamente a próxima revolução. Mas também faço parte de Shenzhen e ainda tremo de terror e entusiasmo com a ideia de fazer parte dessa revolução. Esta é a minha história, começando com aquela viagem reveladora a Shenzhen para Chumby.

## Visitando fábricas com Chumby

Em setembro de 2006, 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 bem recebidos pelos participantes do FOO Camp, então recebi autorização para construir a cadeia de abastecimento asiática.

Steve e eu fomos à China para visitar possíveis fábricas em novembro, mas antes de partirmos, um fornecedor de confiança nos Estados Unidos ofereceu o melhor preço pelo trabalho como base para negociações com os fabricantes chineses. Depois, ligamos para vários amigos com experiência na China e marcamos cerca de seis visitas à fábrica. Atingimos uma grande variedade de locais, desde fábricas especializadas com apenas 500 pessoas até megafábricas com mais de 40.000 pessoas.

Não há substituto para ir à China visitar uma fábrica. As fotos só podem contar a história enquadrada pelo fotógrafo, e você não consegue ter uma noção da escala e da qualidade de uma instalação sem vê-la em primeira mão. Em geral, as fábricas convidam você para fazer um tour, e eu não trabalharia com uma que não me permitisse visitar. No entanto, a maioria das fábricas aprecia um aviso prévio de uma semana, embora, à medida que seu relacionamento com elas progride, as coisas devam se tornar mais abertas e transparentes.

Falando em abertura, a natureza de código aberto do Chumby ajudou muito no processo de seleção da fábrica. Primeiro, não tínhamos medo de que as pessoas roubassem nosso projeto (já o estávamos distribuindo), por isso eliminamos o atrito dos NDAs (acordos de não divulgação) ao compartilhar informações críticas, como a lista de materiais. Acho que isso nos proporcionou uma recepção melhor junto às fábricas na China; eles pareciam mais dispostos a se abrir conosco porque estávamos dispostos a nos abrir com eles. Em segundo lugar, não havia dúvidas na mente de nenhuma fábrica de que esta era uma situação competitiva. Qualquer um poderia e faria uma cotação e uma oferta em nosso trabalho

(na verdade, recebemos algumas cotações não solicitadas que eram bastante competitivas), o que evitou uma rodada de bufadas.

Depois de analisar diversas opções de fabricação, Steve e eu decidimos trabalhar com uma empresa chamada PCH China Solutions. A própria PCH 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 é de surpreender que as fábricas subcontratadas pela PCH sejam algumas das melhores instalações que visitamos na China. Na verdade, a PCH está sediada na Irlanda – portanto, a maioria dos engenheiros de sua equipe são irlandeses – portanto, também não houve barreira linguística para nós. (Os engenheiros da PCH também são trabalhadores, engenhosos e bem treinados – e, como bônus, eles sempre parecem saber o melhor lugar para encontrar uma cerveja, não importa onde estejam. Eu não tinha ideia de que a China tinha tantas torneiras de Guinness!)

Há muito o que aprender quando você visita uma fábrica, quanto mais meia dúzia, e é fácil ficar sobre carregado e perdido nos caprichos da fabricação de eletrônicos. Mas houve alguns detalhes importantes que achei mais fascinantes durante minhas visitas à fábrica do Chumby e no trabalho com a PCH para dar vida ao chumby.

### **escala em shenzhen**

Uma coisa impressionante sobre trabalhar na China é a escala do lugar. Não estive em uma fábrica de automóveis em Michigan ou na fábrica da Boeing em Seattle, mas tenho a sensação de que Shenzhen dá a ambos uma corrida pelo seu dinheiro em termos de escala. Em 2007, Shenzhen tinha 9 milhões de habitantes.

Para se ter uma ideia da escala de uma fábrica em Shenzhen, a fábrica da New Balance empregava 40 mil pessoas e tinha capacidade para produzir mais de um milhão de sapatos por mês. Estimo que do tecido bruto ao sapato acabado o processo demorou cerca de 50 minutos e cada pacote de plástico e tecido perfeitamente costurado

o couro foi costurado à mão em uma máquina de costura industrial. As estações são projetadas de forma que cada etapa do processo leve cerca de 30 segundos para o trabalhador.

É claro que a fábrica da New Balance é ofuscada pela Foxconn, a fábrica onde os iPods e iPhones são fabricados.



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

A Foxconn é uma instalação enorme, aparentemente com mais de 250 mil funcionários, e tem seu próprio status especial de livre comércio. Toda a instalação está isolada e ouvi dizer que você precisa mostrar seu passaporte e passar pela alfândega para entrar nas instalações. Isso fica um pouco aquém dos cães robóticos movidos a energia nuclear das franquias de corporações nacionais de Neal Stephenson. *Queda de neve*.

### **alimentando a fábrica**

Há um velho ditado chinês: *min yi shi wei tian*. Uma tradução literal seria “as pessoas consideram a comida divina” ou “para as pessoas, a comida está próxima do céu”. Você também pode encarar isso como um conselho governamental: “o mandato do governo [sinônimo

com o céu] é tão robusto quanto a comida nos pratos das pessoas." Ou você pode interpretar isso como uma desculpa para procrastinar: "vamos comer primeiro [já que é tão importante quanto o céu]".

Seja como for, acho que o ditado ainda vale na China. Uma métrica importante para avaliar o quanto bem uma fábrica trata os seus funcionários é a qualidade da comida, já que é comum que os trabalhadores da fábrica sejam alojados, alimentados e cuidados no local.

A comida é realmente muito boa em algumas fábricas. Por exemplo, ao comer com os trabalhadores da fábrica que fabricava placas de circuito rechonchudas, serviram-me uma mistura de peixe cozido no vapor, carne de porco grelhada, rolinhos de ovo, vegetais fritos limpos e uma combinação de legumes e carne em conserva. Arroz, sopa e maçãs também foram fornecidos em quantidades "sirva-se".



*Uma refeição da fábrica que fez as placas de circuito gordurosas*

Cada instalação que visitei também tinha utensílios e pratos separados para os hóspedes. Em uma fábrica, minha comida era servida em um prato de isopor com pauzinhos descartáveis, enquanto um operário com quem comia era servido em um prato de aço com pauzinhos de aço. Eu não tinha passado no exame físico da fábrica, então eles deram

me utensílios alimentares descartáveis para evitar que eu contamine a fábrica com possíveis doenças estranhas.

Voltando à escala, algumas operações industriais de alimentos são impressionantemente grandes. Ouvi dizer que os trabalhadores da Foxconn consomem 3.000 porcos por dia. De porcos a iPhones, tudo acontece aqui mesmo em Shenzhen!



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

## **dedicação à Qualidade**

Depois que comecei a trabalhar com a PCH na fabricação do Chumby, me deparei com uma situação por volta de junho de 2007 que me mostrou o quão dedicados os trabalhadores da fábrica em Shenzhen eram em conseguir seus empregos da maneira certa.

Eu atualizei a placa-mãe rechonchuda para incluir um microfone de eletreto, com um transistor de efeito de campo (FET) de pré-amplificador 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 virado ao contrário e liguei para a fábrica para pedir que invertessem a polaridade. Eu iria visitar a fábrica na semana seguinte e queria ver amostras corrigidas. Quando cheguei e testei o microfone, descobri, para minha consternação, que os microfones estavam *ainda* não está funcionando.

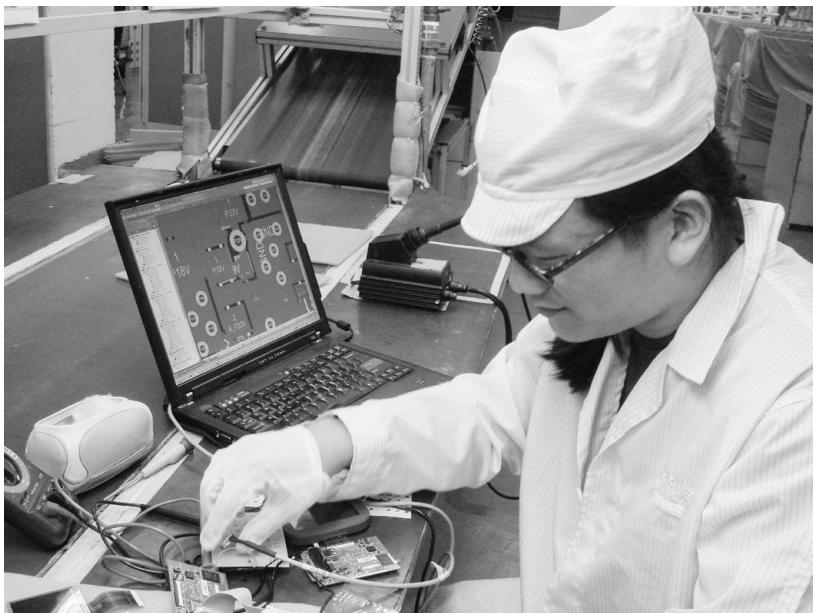
Como poderia ser? Existem apenas duas maneiras de conectar um microfone.

Acontece que havia dois operadores na linha montando o microfone. Um deles soldou os fios vermelho e preto ao microfone. O próximo soldou esses fios vermelho e preto na placa de circuito. Os operadores foram instruídos a inverter a ordem e ambos obedeceram obedientemente – dando-me um microfone que ainda estava soldado ao contrário, mas com a cor dos fios trocada. (Esta é na verdade uma história bastante típica dos problemas na China.)

A fábrica estava programada para fabricar um primeiro teste piloto de 450 placas de circuito no dia seguinte. Tudo tinha que correr perfeitamente para que o cronograma de produção de Chumby permanecesse dentro do cronograma. Reconstruímos os estêncis de soldagem (estábamos depurando um problema de rendimento com o CODEC de áudio embalado QFN também) e os preparamos por volta do meio-dia e por volta das 6PM, tive as primeiras pranchas em mãos para testar. Executei o teste final de fábrica e o dispositivo falhou novamente – no microfone. Este 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.

Durante o resto da noite, permaneci na fábrica, assim como todos os gerentes e técnicos envolvidos na fabricação do chumby. A pressão era enorme: bem ao nosso lado havia uma linha produzindo 450 placas de circuito potencialmente defeituosas, e eu não estava disposto a desligar a tomada porque ainda não sabia qual era a causa raiz e tínhamos que cumprir o cronograma.



*Eu estava depurando circuitos às 3sou no dia do teste final de fábrica do gordinho.*

Eu literalmente tive um painel de trabalhadores da fábrica esperando a noite toda para me trazer tudo o que eu precisava: ferros de soldar, equipamentos de teste, mais placas, máquinas de raios X, microscópios. Notavelmente, nem uma única pessoa hesitou; nem uma única pessoa reclamou; nem uma única pessoa perdeu o foco no problema. As pessoas cancelaram planos de jantar com amigos sem pestanejar. Qualquer pessoa que não fosse necessária num determinado momento estava ocupada supervisionando outros aspectos do projeto. Eu não via uma dedicação cega como essa desde que trabalhei com a equipe autônoma de robótica subaquática do MIT.

E isso continuou até as 3sou.

Constrangedoramente, no final das contas o problema não foi culpa da PCH. O problema foi a nova versão do firmware que recebi naquele dia da equipe dos Estados Unidos. Ele tinha um bug que desativou o microfone devido a um hack que foi accidentalmente verificado na árvore de construção.

Ainda mais impressionante é que quando a PCH descobriu, ninguém ficou zangado e ninguém reclamou. (Bem, a vendedora me incomodou, mas eu mereci; ela teve a gentileza de me acompanhar na linha de produção a noite toda e ser minha tradutora, já que meu mandarim não estava à altura.) Eles eram simplesmente aliviado por não ter sido culpa deles.

Todos nós nos separamos e voltei para a fábrica no dia seguinte às 11h.<sup>sou</sup>, depois de uma boa noite de sono. Encontrei Christy, gerente de projeto da fábrica para a fabricação das placas carnudas. Perguntei quando ela chegou ao trabalho e ela me disse que sempre tem que se apresentar até as 8h.<sup>sou</sup>. Comecei a me sentir muito mal; Christy ficou acordada até tarde por causa do nosso vírus e chegou cedo enquanto eu dormia. Perguntei por que ela ficou acordada até tão tarde, embora soubesse que teria que se apresentar ao trabalho às 8 horas.<sup>sou</sup>. Ela poderia ter ido para casa e poderíamos ter continuado no dia seguinte.

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. Um dia, ao sairmos da fábrica, Xiao Li (o gerente de garantia de qualidade da fábrica onde produzimos o chumby) me perguntou: "O que um chumby faz?" Eu não falava muito bem chinês e ela também não falava muito bem inglês, então decidi começar com algumas perguntas básicas.

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

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

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

Xiao Li era especialista em construção e teste de computadores. Em alguns projetos, ela provavelmente construiu PCs e inicializou o Windows XP centenas de milhares de vezes. (Deus sabe

Eu ouvi aquele maldito som de inicialização um zilhão de vezes durante o incidente do microfone, pois havia um banco de estações de teste finais para placas-mãe ASUS bem ao meu lado.) Mas ela não sabia o que era internet.

Eu presumi que se você tocasse em um computador, também seria abençoado pelas graças da Internet. De repente, me senti um esnobe mimado e um porco por esquecer que Xiao Li provavelmente não teria dinheiro para comprar um computador, muito menos acesso à Internet banda larga. Se tivesse oportunidade, ela certamente era esperta o suficiente para aprender tudo, mas estava ocupada demais ganhando dinheiro que provavelmente mandava para casa, para sua família.

No final, o melhor que pude fazer foi dizer a Xiao Li que o gordinho era um aparelho para jogar.

#### **trabalhadores qualificados**

Os trabalhadores de Shenzhen podem não saber muito sobre tudo o que fazem, mas, além da dedicação, são altamente qualificados. Certa vez, observei um cara trabalhando na mesma fábrica que costurava as sacolas rechonchudas e, juro, ele conseguia costurar estojos de cosméticos a uma velocidade de 5 segundos por sacola. E ele não estava nem 100% focado em sua tarefa; ele estava ouvindo seu iPod enquanto costurava.

E, aparentemente, ele não era o funcionário mais rápido! Eles tinham alguém duas vezes mais rápido, e ele estava na empresa há cerca de sete anos. Fui observar o trabalhador mais rápido, mas ele já tinha ido almoçar porque tinha terminado tudo; havia duas caixas enormes de estojos de cosméticos prontos ao lado de sua estação de trabalho.

Da mesma forma, fiquei surpreso ao saber como as etiquetas embrorrachadas (aqueelas que você vê em todas as roupas) são feitas na China. Sempre pensei que fossem pressionados por uma máquina, mas me enganei. Todas essas 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 incrível precisão e passa para a próxima etiqueta da fila. Quando há várias cores, há uma pessoa para cada cor, para agilizar o processo.

Perguntei à PCH se eles tinham alguma fábrica mecanizada para coisas assim. Eles me disseram que as 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 é consistente com o que ouvi sobre os brinquedos do McLanche Feliz do McDonald's. Eles geralmente são presos com parafusos porque é mais barato pagar alguém para aparafusar um brinquedo durante toda a produção do que fazer uma ferramenta de moldagem por injeção de aço com as tolerâncias necessárias para encaixar os brinquedos.\*

Houve uma compensação semelhante dentro do hardware pesado. Havia quatro conectores nos componentes eletrônicos internos. Usando os fornecedores sediados nos EUA que pude encontrar, um conector tinha um melhor preço de cerca de US\$ 1,00 e os outros três tinham um melhor preço de cerca de US\$ 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 US\$ 0,10 e US\$ 0,06, respectivamente, economizando quase US\$ 2 em custos. Há um problema: os conectores não tinham a almofada de plástico de sacrifício que permitiria que fossem montados à máquina.

A solução? Uma pessoa, é claro.

---

\* Devido à elevada inflação salarial desde esta visita em particular, isto provavelmente já não é verdade.



*Esse homem colocou manualmente os conectores mais baratos em cada chumby, por cerca de um centavo por unidade. Graças a ele, os chumbys eram 2 dólares mais baratos. o que liberou mais dinheiro para nós, consumidores, gastarmos na Starbucks.*

## A necessidade de artesãos

Gostaria de apresentar-lhe um homem que conheço simplesmente como Mestre Chao. Eu o conheci durante o processo de fabricação do Chumby e tenho certeza de que em sua vida você 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 mesmo havia comprado, usado ou visto em uma loja nos Estados Unidos. Marcas de consumo de primeira linha fabricam seus produtos nesta fábrica e, até onde sei, a fábrica tinha apenas um mestre modelista na época: Mestre Chao. Ele participou da criação de bolsas de cosméticos para a Braun, estojos de acessórios para a Microsoft e aparelhos médicos para grandes marcas vendidos em drogarias, entre muitos outros produtos.



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

Mestre Chao é um artesão no sentido tradicional. Antigamente os melhores móveis eram projetados e construídos apenas com a intuição e habilidade de um mestre artesão. Agora, todos nós vamos à IKEA e obtemos kits de móveis projetados em CAD, gerenciados pela cadeia de suprimentos e montados em livros ilustrados - e, apesar de tudo isso, não parece tão ruim. Como resultado, a palavra *arte* foi relegado para descrever algum kit de álbum de recortes ou bordado que você compra na Michaels e monta em um fim de semana tranquilo. Esquecemos que numa época anterior às máquinas, o “artesanal” era a única forma de construir qualquer coisa de qualquer qualidade.

Acontece, no entanto, que o artesanato tradicional ainda é importante, porque as ferramentas CAD não trouxeram a capacidade de simular os nossos erros antes de cometê-los.

A criação de um *padrão plano* para produtos têxteis é um bom exemplo de processo que requer um artesão. Um padrão plano é o conjunto de formas 2D usadas para orientar o corte de tecidos. Essas formas são cortadas, dobradas e costuradas em um formato 3D complexo

forma. Mapear a projeção de uma forma 3D arbitrária em uma superfície 2D com área de desperdício mínima entre as peças já é bastante difícil. O fato de o material esticar e distorcer, às vezes em direções diferentes, e de a costura exigir amplas tolerâncias para bons rendimentos, torna a criação de padrões um problema difícil de automatizar.

As capas grossas acrescentavam outro nível de complexidade, porque envolviam costurar um pedaço de couro em uma moldura de plástico macio. Nessa situação, conforme você costura o couro, a moldura se distorce levemente e estica o couro, criando um viés de costura que depende da direção e da velocidade da costura. Essa força é capturada nas costuras e contribui para o formato final da caixa. Eu desafio alguém a criar uma ferramenta de simulação computacional que possa capturar com precisão essas forças e prever como um produto como esse ficará quando costurado.

No entanto, de alguma forma, a proficiência do Mestre Chao na arte da criação de padrões permitiu-lhe criar e ajustar muito rapidamente, e em muito poucas iterações, um padrão que compensasse todas essas forças. Seus resultados, todos obtidos com papelão, tesoura e lápis, foram surpreendentemente inteligentes e perspicazes. Seja grato por suas habilidades no velho mundo; eles provavelmente desempenharam um papel na produção de algo que você usou ou do qual se beneficiou.



*Não havia um único computador no escritório do Mestre Chao, mas os produtos Eu vi aqui uma grande variedade de dispositivos de alta tecnologia.*

## automação para montagem de eletrônicos

Antes de trabalhar na Chumby, eu pensava que quase tudo era feito por uma máquina. É claro que as visitas às fábricas têxteis corrigiram minha impressão muito rapidamente; no entanto, coisas de alta tecnologia, como a montagem de eletrônicos, ainda tendem a ser altamente automatizadas, mesmo na China. As únicas exceções que vi durante minhas visitas às fábricas foram, ironicamente, os produtos de menor custo, como brinquedos. Essas oficinas ainda eram dominadas por filas de trabalhadores, enchendo e soldando placas de circuito manualmente.

Uma dicotomia interessante relacionada à automação é a distribuição bimodal de produtos que utilizam *chip-on-board (CoB)* tecnologia. A montagem CoB liga diretamente uma matriz de silício a um PCB. Os conjuntos CoB acabados têm a aparência distinta de “globa de epóxi”, em oposição à aparência de embalagem plástica acabada. Conjuntos eletrônicos densos e de alta tecnologia geralmente empregam tecnologias CoB. Eu fiz alguns projetos CoB para alguns transceptores ópticos de 10 Gb na minha época e eles não eram baratos.

Ao mesmo tempo, porém, quase todos os brinquedos utilizam a tecnologia CoB, para eliminar o custo do pacote IC! É uma prova da tenacidade das fábricas de brinquedos em relação à redução de custos o fato de elas comprarem um prendedor de arame automatizado e colá-lo ao lado de linhas moldando cabeças de bonecas e costurando bichinhos de pelúcia, porque ter um prendedor de arame interno economiza um centavo.

Um bonder de fio típico une um fio tão fino quanto um fio de 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 bonders de fio 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 ligado entre o chip e a placa.

Imediatamente antes da colagem, entretanto, o chip é colado com muito cuidado à placa, à mão, e imediatamente após a colagem, o chip é encapsulado por um operador humano, distribuindo epóxi com muito cuidado à mão. Isso significa que o wire bonder é o

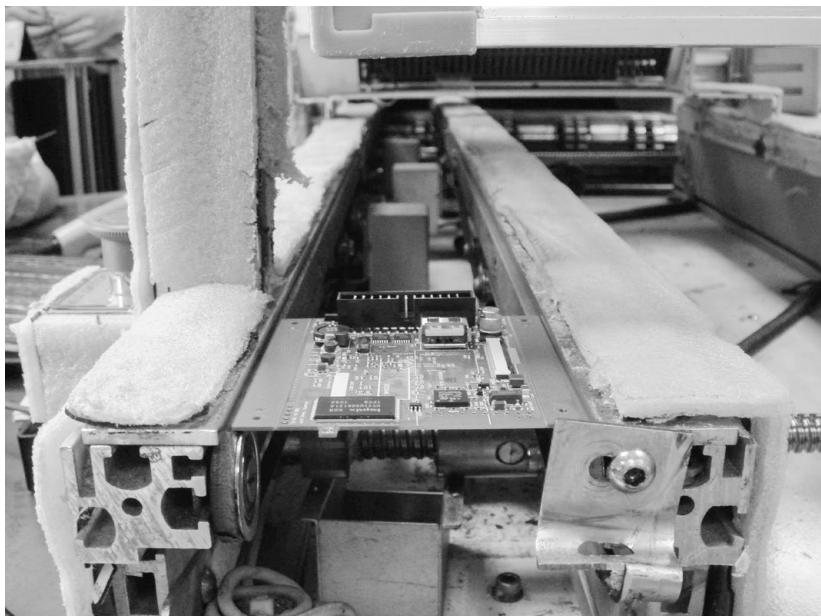
único equipamento automatizado em linhas de montagem de brinquedos simples. Ver esse processo me deu uma nova apreciação do que acontece naqueles bonecos falantes do Barney, vendidos por US\$ 10 na Target.

O robusto processo de fabricação também usou um pouco de automação, cortesia de um atirador de chips. Os atiradores de chips (bem como as máquinas pick-and-place) colocam componentes de montagem em superfície em PCBs para que os componentes possam ser soldados.



*A rechonchuda fábrica de montagem de PCB na China tinha dezenas de linhas repleto de atiradores de chips Fuji testados e comprovados.*

É absolutamente fascinante ver um atirador de chips em ação. Os disparadores de chips da rechonchuda fábrica de montagem de PCB eram capazes de colocar de 10.000 a 20.000 componentes por hora, por máquina. Isso significa que cada máquina pode colocar de 3 a 6 componentes por segundo. Os conjuntos robóticos se movem mais rápido do que a vista consegue ver, e tudo se transforma em um borrão inspirador. O atirador de chips que vi na fábrica de chumby funcionava como uma metralhadora Gatling: a pistola de chips em si estava consertada e a prancha dançava sob a arma. O atirador de chips realmente “olhou” cada componente e girou-o para a orientação correta antes de colocá-lo na placa.



*Este é o fim da linha para uma montagem de placa central rechonchuda!*

A fábrica que usamos para a montagem de PCB do Chumby também produzia placas-mãe de PC de marca e parecia não ter problemas em produzir mais de 10.000 dessas montagens complexas por dia. Mas mesmo que processos como a colocação de componentes possam ser automatizados, há algumas coisas que uma máquina simplesmente não consegue fazer.

### **Precisão, moldagem por injeção e paciência**

No curso de engenharia do chumby, também tive que aprender sobre moldagem por injeção, porque a placa de circuito tinha que ficar dentro de algum tipo de caixa. Para um cara de eletrônica com pouca experiência em mecânica, essa não era uma colina pequena para escalar. O conceito parece simples: você faz uma cavidade de aço, empurra plástico derretido nela em alta pressão, deixa esfriar e voilà peça acabada sai, assim como os moldes Play-Doh da escola primária.

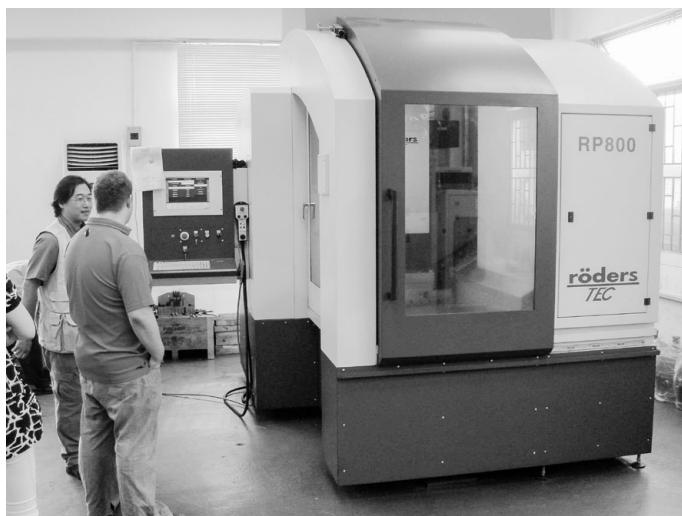
Ah, se o processo fosse tão simples.

Claro, o plástico flui, mas não é particularmente líquido. Ele se move lentamente e esfria à medida que flui. A cor do plástico é impactada pelas mudanças de temperatura e, ao usar um molde mal projetado, é possível até ver linhas de fluxo e linhas de malha no produto final. Há também uma grande variedade de questões sobre como a peça acabada é retirada do molde, como o molde é feito e acabado, onde estão as portas e os corredores para colocar o plástico dentro do molde e assim por diante.

Felizmente, a PCH tinha especialistas na China que sabiam tudo sobre isso, e aprendi principalmente observando.

Se eu fosse resumir a moldagem por injeção com um único adjetivo, seria *precisão*. Quando bem feitos, os moldes são precisos até melhores do que as tolerâncias da espessura de um fio de cabelo, mas são feitos de aço duro. Alcançar esse nível de precisão com um material tão durável não é tarefa fácil, e é impressionante ver uma máquina cortar um molde de aço bruto.

A máquina que cortava os moldes para a caixa rechonchuda tinha uma plataforma móvel que empurrava rapidamente um bloco de aço que provavelmente pesava várias centenas de quilos; ele fresou o metal com bastante pressa!



*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.*

Mas a usinagem é apenas a etapa mais difícil na fabricação de moldes. Após o corte do formato grosso, o molde é colocado em uma *máquina de descarga elétrica (EDM)*, onde uma explosão de elétrons arranca pedaços microscópicos da superfície do aço. Este é um processo terrivelmente tedioso: já vi muitos EDMs fazerem seu trabalho e é como ver a tinta secar. Os EDMs são, no entanto, extremamente precisos e produzem resultados espetaculares e repetíveis.

Do ponto de vista do gerenciamento de projetos, os prazos de entrega fenomenalmente longos de plásticos moldados por injeção de qualidade de produção foram o que mais me chamou a atenção. Ao todo, o molde rechonchudo se transformou de um bloco de aço bruto em uma ferramenta de primeira utilização em quatro a seis semanas, e eu tive que ir à China e ver a oficina de ferramentas fazer seu trabalho antes de me convencer de que não havia nada bruto. quantidade de preenchimento do cronograma.

Ainda mais angustiante do ponto de vista da gestão de riscos foi a falta de boas ferramentas de simulação para prever como os plásticos fluiriam através de um molde. Se víssemos manchas visíveis, como linhas de fluxo e linhas de tricô, teríamos que esperar de quatro a seis semanas para ver se o novo molde era melhor. Ai!

Felizmente, os fabricantes de ferramentas que Chumby usou na China anteciparam esses problemas e fizeram as ferramentas errarem devido ao excesso de aço, porque remover material para resolver um problema é muito mais fácil do que adicionar material. É como diz o velho carpinteiro: meça duas vezes, corte uma vez, e se tiver que cortar errado, corte comprido.

O molde usado para criar a moldura traseira do chumby era extremamente complexo, pois envolvia um processo chamado *sobre-moldagem*. Se acontecer de você possuir um clássico gordinho, olhe para o verso. Há um TPE embrorrachado ao redor da moldura ABS rígida. Muitas pessoas presumiram que se tratava de um elástico colado. Na verdade, o TPE é moldado na parte traseira. Isso requer um molde de duas doses.



*O molde final para a moldura traseira do gordinho, dentro de uma injetora*

Na verdade, havia dois moldes e um lado do molde girado para que os sistemas de materiais alternados pudessem ser moldados nos pontos certos do processo.

Muito trabalho duro é dedicado às humildes peças de plástico que você vê todos os dias, e tudo isso faz parte da criação de produtos de qualidade. Mas, ao mesmo tempo, há também uma necessidade muito real de satisfazer a expectativa de preços baratos.

## **O Desafio da Qualidade**

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

Ao considerar casos como esse, acho importante aplicar a navalha de Hanlon. Parafraseando: “Nunca atribua à malícia aquilo que pode ser adequadamente explicado pela ignorância”.

Os britânicos também têm uma versão agradável e enérgica do aforismo: "Golpe antes da conspiração".

Alguns fabricantes estão realmente lá para ganhar dinheiro a qualquer custo, mas acho que a maioria dos erros é cometida por ignorância. A maioria das pessoas comuns nas fábricas não sabe para que serve o seu produto e, sob intensa pressão para reduzir custos, tomam essas decisões erradas. As fábricas também precisam lidar com produtos lamentavelmente subespecificados, bem como com clientes que as sobrecregam com todos os tipos de requisitos frívolos – e a maioria dos clientes não faz o acompanhamento em nenhum dos casos. No final, as fábricas jogam o jogo de "enviar e descobrir" e, se o cliente não notar uma especificação faltando, então a especificação não deve ter sido importante. Não é um grande jogo e significa que os clientes precisam estar sempre atentos às auditorias e manter o padrão de qualidade elevado.

#### A DIFERENÇA ENTRE AMERICA E CHINA

Um problema fundamental por detrás deste jogo é que muitos residentes chineses não compreendem ou apreciam coisas básicas que consideramos certas na América, e vice-versa. Muitos operários chineses são bem educados, mas não cresceram numa "cultura de gadgets" como a que temos nos Estados Unidos, por isso não se pode presumir nada sobre a sua capacidade de interpretar subjectivamente as especificações de um produto.

Por exemplo, você pode dizer a um engenheiro dos EUA: "Gostaria de ter um botão nesse painel" e provavelmente obterá algo muito próximo do que espera em termos de aparência, já que você e o engenheiro compartilham experiências comuns. e expectativas para um botão em um painel. Se você fizesse o mesmo na China, provavelmente obteria algo que parece um pouco estranho e desajeitado, mas é muito barato e muito fácil de construir e testar. Embora as últimas propriedades sejam desejáveis por razões práticas, os conhecedores de gadgets americanos simplesmente não comprariam algo que seja esteticamente estranho ou que pareça desajeitado.

No entanto, em última análise, são esses consumidores que querem – ou melhor, exigem – bens de baixo preço, e essa necessidade impulsiona a decisão de fabricar na China. O problema é que, além do rótulo do produto que diz “Made in China” ou “Made in USA”, os consumidores realmente não se importam com o processo de fabricação. Que margem você pagaria por um gadget que dizia “Fabricado nos EUA”? O custo adicional da mão-de-obra nos EUA é 10 vezes superior ao da China. Pense nisso: será que o operário fabril médio dos EUA pode ser 10 vezes mais produtivo do que o operário fabril médio da China? É um multiplicador difícil de jogar.

Não estou dizendo que não há valor nos fornecedores nacionais: seria muito menos esforço e menos risco para mim conseguir que as coisas fossem feitas nos Estados Unidos. Na verdade, a maioria dos primeiros protótipos são feitos lá devido ao enorme valor que os fornecedores nacionais podem agregar. No entanto, o preço simplesmente não funciona para um produto de mercado de massa. Ninguém iria comprá-lo, porque seu preço não justificaria seu conjunto de recursos. Alguém poderia até me acusar de ser preguiçoso se eu simplesmente ficasse com um fornecedor nacional e repassasse o custo mais alto para os clientes.

#### ESTAR ENVOLVIDO NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

No final das contas, fabricar na China é a melhor maneira de manter os custos baixos e, para manter a qualidade, não há substituto para ir à China e envolver-se diretamente. Quase todas as fábricas “limparão” no dia da sua visita, mas com um olhar atento e as perguntas certas, você poderá ver através de quaisquer folheados rápidos colocados no lugar.

Quando avaliei as fábricas da Chumby, sempre visitei a sala de controle de qualidade (CQ). Eu esperava ver fileiras de fichários bem conservados e gastos com documentação de projeto e padrões de controle de qualidade, bem como *amostras de ouro*, que são amostras de pré-produção de um produto. Eu exigiria ver o conteúdo de uma pasta aleatória e a amostra dourada associada a ela, e verificar se os funcionários sabiam o que estava acontecendo na pasta. (Algumas fábricas enchem os aglutinantes de produtos com

dados aleatórios.) Também considerei investimentos pesados em equipamentos um bom sinal: todos os melhores fabricantes que visitei tinham algumas salas com equipamentos sofisticados para testes de limite térmico, mecânico e elétrico e, claro, os operadores estavam na sala realmente usando o equipamento. (Eu definitivamente poderia imaginar um fabricante chinês comprando uma sala de equipamentos apenas para exibição.)

Mas suspeito que os fabricantes de brinquedos e de alimentos não enviam técnicos como eu para fábricas na China para supervisionar as coisas regularmente. Compare isso com a Apple, que envia regularmente um quadro de engenheiros para trabalhar em turnos intensos de duas semanas (ou mais) nas fábricas (geralmente a Foxconn, carinhosamente apelidada de "Mordor" por alguns na Apple). Como resultado, encontrei muitos engenheiros da Apple nos bares de expatriados em Shenzhen.

O fato de a PCH China Solutions oferecer gerenciamento e controle de qualidade no estilo ocidental no local na China foi importante para nós da Chumby. Se tivéssemos um problema com um fornecedor, a PCH mandava alguém imediatamente para a fábrica para ver o que estava acontecendo – sem etiqueta telefônica, sem obstrução da FedEx. E os proprietários de fábricas na China tendem a ser muito receptivos quando você aparece à sua porta.

Assim, a abordagem de Chumby ao enigma da qualidade era holística. Começamos por ter um engenheiro (eu) na fábrica quase no primeiro dia para avaliar a situação. É importante saber o que a fábrica pode ou não fazer. Observei o que estava sendo construído na linha e quais técnicas foram usadas. Então, quando chegou a hora de projetar o produto, tentei usar os processos e técnicas que fossem mais confortáveis para a fábrica. Quando tive que fazer algo novo (e qualquer produto bom e inovador precisará fazê-lo), escolhi minhas batalhas e me concentrei nelas, porque qualquer coisa nova seria um desafio de várias semanas para acertar. Esta estratégia aplica-se até aos mais pequenos detalhes: se a fábrica embala os produtos em plástico e você

Se você deseja embrulhar seu produto em papel, planeje se concentrar fortemente no desenvolvimento do processo de embrulho em papel, porque é bem possível que nenhum dos trabalhadores da linha de sua fábrica tenha visto um produto embrulhado em papel antes.

Claro que na hora de desenvolver um novo processo para o gordinho eu preferia estar na fábrica, e ainda faço. Não há nada como ficar na fila e mostrar aos trabalhadores que construirão seu dispositivo como ele deve ser feito. Por exemplo, treinei pessoalmente os operários da linha de montagem sobre como prender um pedaço de fita de cobre ao conjunto do LCD para formar uma proteção EMI adequada.

É difícil descrever a complexidade de como dobrar a fita em uma peça complexa de chapa metálica para garantir que ela faça um bom contato elétrico com as superfícies de aterrramento sem correr o risco de curto-circuito em outros componentes. Sutilezas como o fato de o adesivo de um lado ser um isolante ruim também exigem um conhecimento básico de física que os trabalhadores da linha simplesmente não possuem. Pior ainda, explicar esses conceitos requer palavras técnicas que o seu tradutor talvez nem conheça.

No meu caso, mesmo um bom desenho 3D ou fotografia da montagem finalizada não conseguiria transmitir 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 pode levar algumas semanas, mas ficar na frente de um grupo de trabalhadores e demonstrar o processo em primeira mão levou apenas alguns minutos. E apesar da barreira linguística, pude perceber pelas suas expressões faciais e linguagem corporal se eles compreenderam a importância de um determinado passo. Dadas essas dicas, revisei imediatamente processos que eram ambíguos ou difíceis de dominar.

Normalmente, quando você consegue demonstrar um processo com esse nível de detalhe e intimidade, os funcionários acertarão

horas, em vez de semanas. Esta é parte da razão pela qual passei tanto tempo na China durante o desenvolvimento do processo de fabricação do Chumby.



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

#### TESTE REMOTO CASEIRO

Porém, nem sempre foi possível para Chumby enviar alguém para a China. Eu, por exemplo, preferia não morar na China, então na Chumby confiamos muito na PCH para monitorar a qualidade e garantir que tudo corresse bem, e eles fizeram um excelente trabalho.

Muitas vezes, trabalhar à distância significava que novos processos demoravam 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 pela FedEx. Depois de passar por esse processo algumas vezes, aprendi a alocar duas semanas para cada ajuste, em vez das poucas horas que levava quando eu estava no chão de fábrica.

Esses conjuntos de duas semanas aumentaram 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 foi essencial. Para os gordinhos, desenvolvi um conjunto de testadores que programavam, personalizavam, inicializavam, verificavam e mediavam cada dispositivo fora da linha de montagem. Todos os dados do processo de teste foram registrados em um log e, no final do dia, o log foi transferido para um servidor nos Estados Unidos.

Esses dados me permitiram depurar uma infinidade de problemas existentes. Eu poderia dizer se um operador de um testador específico estava tendo problemas com seu leitor de código de barras. Também soube imediatamente se havia algum problema de rendimento naquele dia ou se o rendimento estava mais lento do que o esperado. Foi muito poderoso ter esse recurso de auditoria desenvolvido internamente, porque a fábrica sabia que eu os estava observando. Na verdade, ter essa capacidade implementada pode fazer com que o relacionamento com a fábrica funcione melhor: a fábrica arca com o custo dos problemas de rendimento (pelo menos inicialmente), então eles apreciam quando o engenheiro de projeto pode oferecer conselhos e ajuda convenientes antes que qualquer problema surja, fora de controle.



*Duas estações de teste rechonchudas em uma fábrica na China. Há uma história e tanto sobre o problema que enfrentamos para levar esses laptops para a China.*

## TESTES DE FÁBRICA ADICIONAIS

Depois de concluir a configuração do processo de teste, ele poderá ser executado de forma autônoma na fábrica. Por exemplo, na fábrica de placas de circuito impresso do Chumby, a primeira passagem da inspeção final foi feita manualmente, uma pessoa examinou cada placa de circuito e, em seguida, com a ajuda de um modelo de papelão, outro operador garantiu que nenhum componente estava faltando. As unidades então passaram para testes automatizados.

Periodicamente, tanto a PCH quanto a fábrica também realizavam testes de Restrição de Substâncias Perigosas (RoHS) em unidades pesadas para garantir que não houvesse contaminação com um conjunto específico de produtos químicos potencialmente nocivos, incluindo chumbo. RoHS é uma norma de segurança química perigosa exigida na Europa, mas, ironicamente, não nos Estados Unidos. As fábricas realizam rotineiramente este teste em todos os produtos, mesmo aqueles que são enviados apenas para os Estados Unidos, porque a contaminação latente na linha pode impedir que outros produtos fabricados na mesma linha sejam enviados para a Europa.

Mesmo depois de todos esses testes, nos Estados Unidos, Chumby continuou a amostrar unidades para fins de controle de qualidade. Para tanto, encorajamos, caracterizamos e dissecamos regularmente dispositivos para garantir que todos os procedimentos operacionais estavam sendo seguidos.

## MI STAKES ST I LL HA PPEN

Apesar de tais salvaguardas, alguns erros serão cometidos em qualquer produto. Cada produto passa por uma fase em que os bugs que não foram detectados pelo controle de qualidade interno são eliminados. Você tem que contar com uma equipe de atendimento e suporte de primeira linha e planejar ser muito ágil e inovador nesta fase para resolver os problemas e evitar que eles aconteçam novamente.

Quando eu estava na Chumby, se eu ouvisse falar de uma unidade com problemas de hardware, eu ligava para o cliente que relatava o problema. Eu queria saber o que deu errado para poder resolver o problema e ter certeza de que isso nunca mais aconteceria com ninguém!

Minha maior esperança com o chumby, no entanto, era evitar o que aconteceu com a Microsoft e o “anel vermelho da morte” do Xbox 360, onde os consoles sofreriam uma grande falha de hardware, parariam de funcionar e apenas exibiriam uma luz vermelha ao redor do botão liga / desliga. causando enorme frustração aos jogadores. Esse problema só apareceu depois que o Xbox 360 já estava no mercado há anos, depois que milhões de unidades foram vendidas. Situações como o anel vermelho da morte são o pior pesadelo de um engenheiro de produto.

Então veja bem, levar o chumby (ou qualquer produto) ao ponto em que ele possa ser enviado aos consumidores é apenas o começo. O verdadeiro desafio começa depois.

Se você se encontrar neste ponto do processo de fabricação, desejo-lhe boa sorte!

## **ENCERRANDO PENSAMENTOS**

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

## 2. dentro de três fábricas muito diferentes

---

É difícil entender como funciona um computador sem abri-lo e olhar seu interior. Da mesma forma, é difícil entender como os produtos são feitos sem entrar em uma fábrica e conhecer a linha. Embora muitas vezes pensemos na produção como uma etapa necessária, mas enfadonha, após a inovação, na realidade, as duas estão intimamente ligadas. Um inventor pensa uma vez num produto; uma fábrica pensa no mesmo produto todos os dias, às vezes durante anos a fio.

A importância das fábricas como centro de inovação só está a crescer na economia global conectada de hoje. A realidade é que não existe uma “fábrica da Apple” ou “fábrica da Nike”. Em vez disso, há uma série de instalações que são especialistas em processos (como fabricação de PCB ou fabricação de zíperes) que são

com curadoria de marcas conhecidas. Portanto, não é incomum ver produtos de dois concorrentes operando lado a lado em linhas semelhantes em uma única instalação. Essa concentração de conhecimento específico de um domínio significa que o melhor lugar para aprender como melhorar um aspecto do seu produto é muitas vezes o mesmo lugar que faz um aspecto semelhante nos produtos de todos os outros.

Alguns dos maiores insights que tive sobre como melhorar um produto vieram da observação de técnicos trabalhando em uma linha e dos truques inteligentes de otimização que eles desenvolveram depois de fazerem a mesma coisa repetidamente por tanto tempo.

Este capítulo leva você a um passeio por três fábricas que fabricam coisas cotidianas: PCBs (em particular, os usados no Arduino), cartões de memória USB e zíperes. Ao abrir a cortina, você terá alguns insights sobre as compensações de design por trás dos produtos e como elas podem ser melhoradas. Na fábrica de PCB, descobri o segredo de como eles imprimem um mapa da Itália em alta resolução na parte de trás de cada Arduino; na fábrica de cartões de memória USB, testemunhei um estranho casamento entre técnicas de fabricação de alta e baixa tecnologia; e na fábrica de zíperes, descobri como até os produtos mais humildes podem trazer lições valiosas para designers de produtos.

## **onde nascem os arduinos**

Era julho de 2012 e já se passaram cerca de seis meses desde que minha startup anterior, a Chumby, encerrou as operações. Decidi tirar um ano de folga para resolver as coisas e riscar alguns itens da lista de desejos, um dos quais era uma viagem à Itália. Minha namorada teve a brilhante ideia de entrar em contato com a equipe do Arduino para ver se eu poderia visitar a fábrica deles em Scarmagno (isso foi anos antes da divisão Arduino/Genuino) como parte do nosso itinerário. Os membros da Officine Arduino (particularmente o diretor-gerente Davide Gomba) gentilmente reservaram um tempo de suas agendas lotadas para mostrar

me em torno de sua fábrica. Eles esperaram pacientemente enquanto eu expressava meu fotógrafo interno e meu amor geral por todas as coisas de hardware, e eu definitivamente saí com muitas fotos ótimas.

Uma pequena cidade no norte da Itália, Scarmagno fica a cerca de uma hora e meia de carro a oeste de Milão, perto das fábricas da Olivetti, nos arredores de Torino. A cidade cuida de toda a fabricação de placas de circuito, preenchimento de placas e distribuição de Arduinos de marca oficial. Fiquei muito animado para ver as fábricas, e o destaque do meu passeio foi conhecer a System Elettronica, a fábrica de PCBs que fabricava os PCBs do Arduino.

Um aspecto encantador da System Elettronica é que o proprietário pintou a fábrica de verde, branco e vermelho para combinar com as cores da bandeira italiana. No chão de fábrica, vi um pouco desse espírito nos postes vermelhos e verdes que percorriam toda a extensão da instalação.



*Visão ampla do chão de fábrica da System Elettronica em agosto de 2012*

Mas logo parei de prestar muita atenção à decoração, pois aquele chão de fábrica também era onde pude acompanhar um novo lote de Arduino Leonards durante todo o processo de fabricação. Veja como essas placas foram feitas.

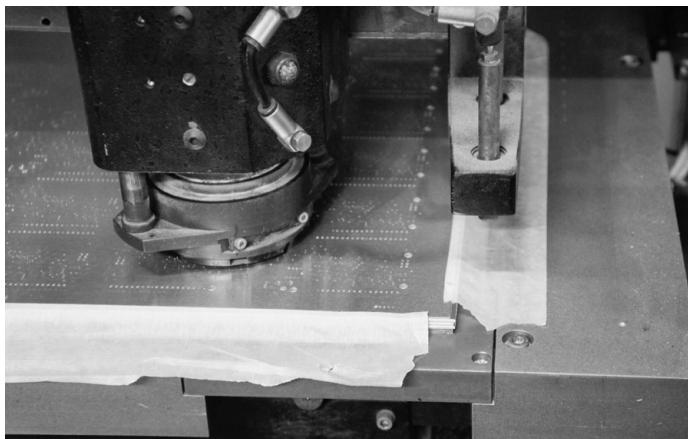
## começando com uma folha de cobre

As placas Arduino Leonardo começam como enormes folhas de cobre virgem FR-4, um material feito de fibra de vidro e epóxi que a maioria dos PCBs usa como substrato, uma camada isolante e estrutural entre as camadas de cobre. As folhas tinham 1,6 mm de espessura (a espessura mais comum para uma PCB, que corresponde a 1/16 polegada), provavelmente um metro de largura e cerca de um metro e meio de comprimento.



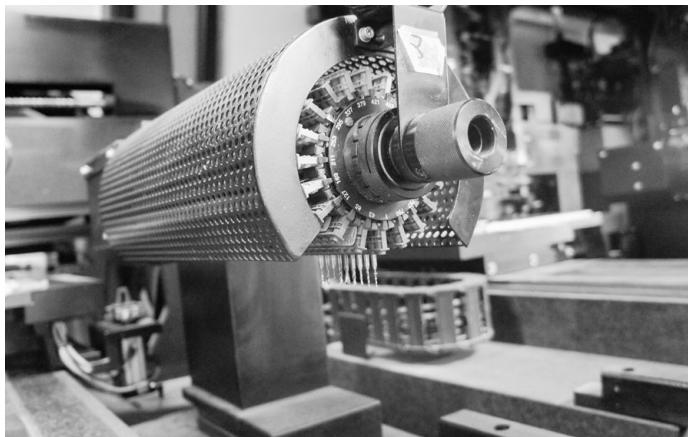
*Uma pilha de folhas de cobre esperando para se tornarem placas Arduino*

A primeira etapa no processamento de PCBs é perfurar todos os holepads, vias (os pequenos orifícios que conectam as diferentes camadas do PCB), orifícios de montagem, slots chapeados e assim por diante. Quando uma PCB é fabricada, os furos são perfurados *antes padronização*, o estágio em que um produto químico de mascaramento é definido fotograficamente na folha em todos os lugares em que as placas finais precisam ter cobre, incluindo locais de vestígios, almofadas de solda e assim por diante. Alguns dos furos são usados para alinhar as máscaras que modelam os traços posteriormente no processo. A perfuração também é um processo sujo e confuso que pode danificar os padrões do circuito se eles estiverem instalados antecipadamente.



*A cabeça de perfuração CNC usada para perfurar as placas Arduino*

Os painéis de cobre vazios foram empilhados em três alturas, e uma furadeira CNC fez uma única passagem em todos os três, permitindo perfurar três substratos por vez.



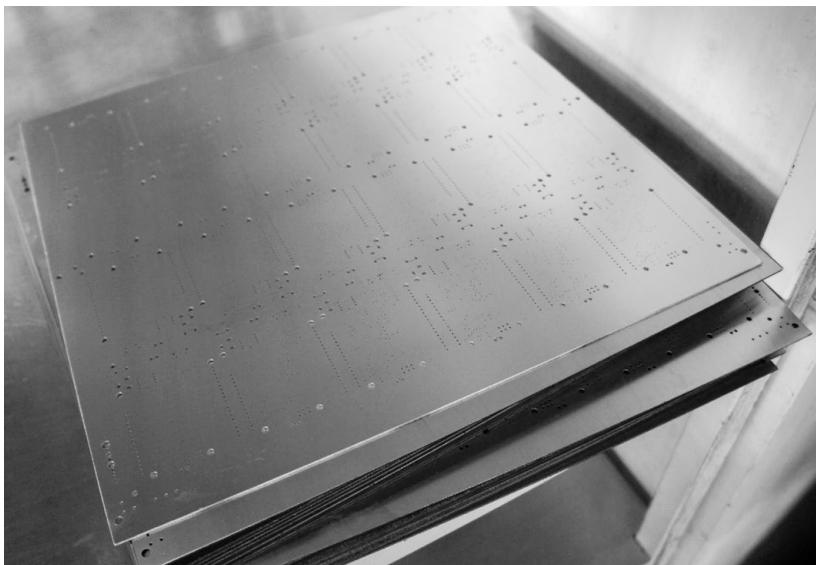
*O rack de perfuração usado pela furadeira CNC.*

*Se você já teve que criar arquivos de perfuração NC, este é o “suporte de perfuração”.*

Cada furo na placa Arduino foi perfurado mecanicamente, incluindo vias. O mesmo se aplica a qualquer PCB com furos passantes, razão pela qual a contagem de vias é um parâmetro tão importante no cálculo do custo de uma PCB.

Observe que a furadeira específica que vi na System Elettronica era relativamente pequena. Já vi enormes plataformas de perfuração na China que agrupam (conectam mecanicamente) quatro ou seis cabeças de perfuração em uma máquina do tamanho de um caminhão, processando dezenas de painéis ao mesmo tempo, em oposição aos três painéis que esta broca poderia suportar. O raciocínio por trás dessa abordagem é que o conjunto de posicionamento robótico preciso é a parte cara de uma furadeira. A furadeira em si é barata – apenas um motor giratório para acionar a broca. Portanto, uma maneira de aumentar o rendimento é agrupar várias brocas em uma grande montagem e movê-las em conjunto. Cada furadeira individual ainda passa por sua própria pilha de painéis, mas pelo preço de um posicionador XY, você obtém de quatro a seis vezes o rendimento da furadeira que vi em minha viagem à Itália. Essas máquinas maiores perfuram com tanta rapidez e força que o solo treme a cada via perfurada, mesmo a vários metros de distância.

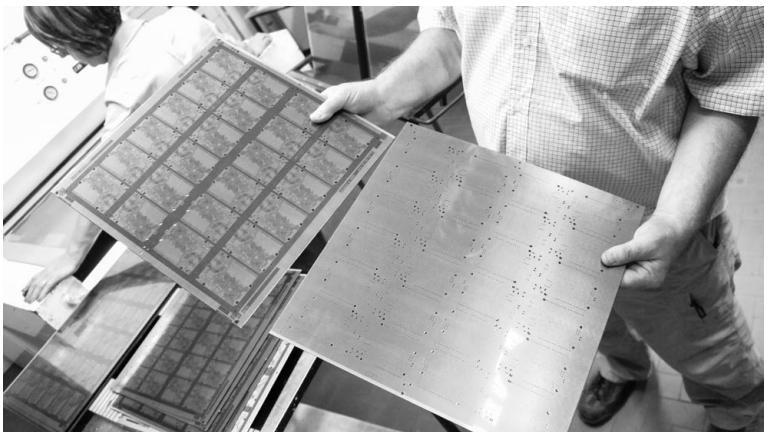
Depois que os painéis são perfurados, limpos e rebarbados, eles estão prontos para a próxima etapa do processo de fabricação.



*Uma pilha de painéis perfurados e acabados de placas Arduino Leonardo*

## aplicando o padrão PCB ao cobre

O próximo passo é aplicar um *fotorresistente*, um produto químico sensível à luz, ao painel e expõe um padrão. Na System Elettronica esse processo utilizou uma caixa de luz e um filme de alto contraste. Também vi imagens diretas a laser – na forma de um laser de varredura raster – usadas para aplicar um padrão a uma PCB. Os scanners a laser diretos são mais comuns em casas de protótipos de giro rápido, e a imagem de filme é mais comum em casas de produção em massa.



*Antes e depois: o painel direito mostra fotorresiste antes da exposição, e o painel esquerdo depois.*

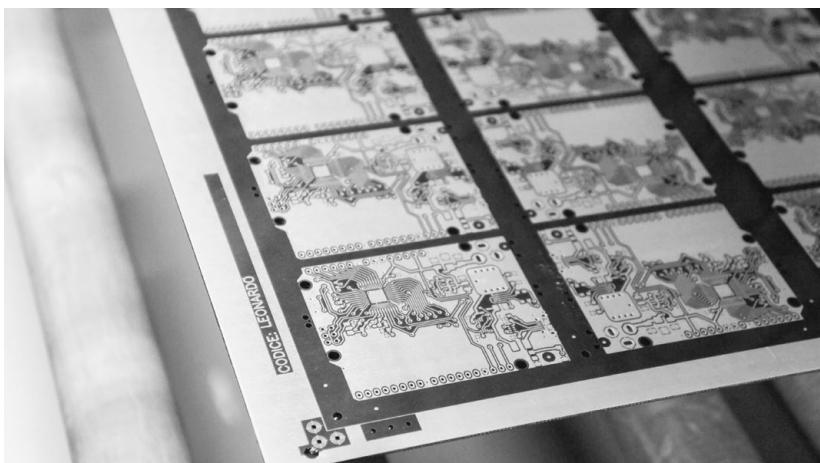


*Uma PCB sendo montada em uma caixa de luz que exporá seu filme traseiro não processado*

Após a aplicação do padrão, cada painel de placas é enviado para uma máquina para ser desenvolvido. Neste caso, a mesma máquina é utilizada para revelar o fotorresistente e a máscara de solda.



*A máquina que desenvolve o fotoresiste*



*Essa foto de um painel com fotorresistente revelado é uma das minhas fotos preferidas da fábrica da System Elettronica.  
Além disso, algo sobre "Codice: Leonardo" parece legal.*

## **gravando os PCBs**

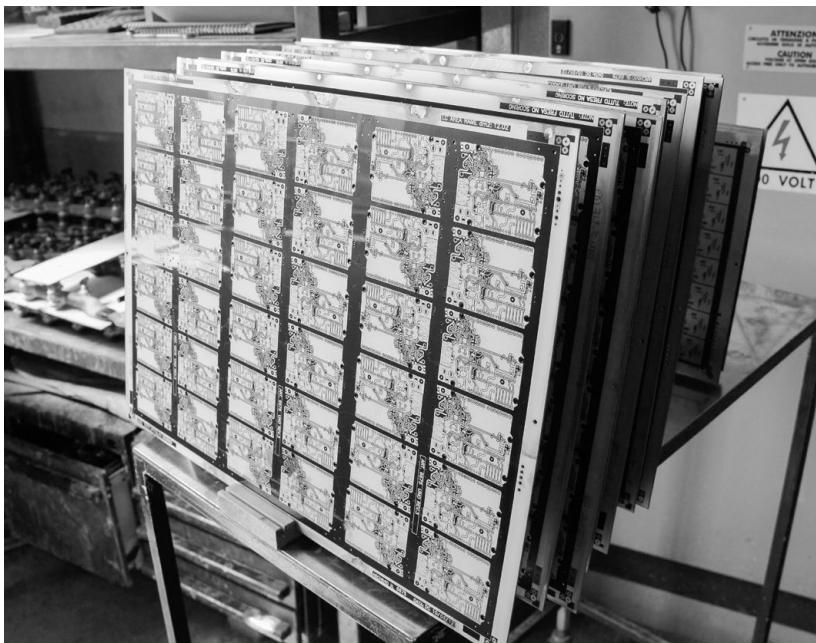
Após o processamento e revelação das fotos, os painéis passam por uma série de banhos químicos que gravam e chapeiam o cobre.

Os painéis são agitados suavemente para frente e para trás em um banho químico para agilizar o processo de gravação. O movimento também circula o ácido usado para longe dos painéis, garantindo uma taxa de ataque mais uniforme, independentemente da quantidade de cobre a ser removida. A movimentação dos painéis através desses banhos químicos foi totalmente automatizada em Scarmagno. A automação é necessária porque os painéis devem ser tratados com uma série de banhos químicos cáusticos com exposição mínima ao oxigênio. O oxigênio pode estragar um painel em questão de segundos, portanto a transferência entre os banhos precisa ser rápida e a quantidade de tempo que um painel passa no banho deve ser consistente. Os banhos também contêm produtos químicos prejudiciais aos seres humanos, por isso é muito mais seguro para um robô fazer esse trabalho.



*Uma máquina que move painéis em gravador*

Uma vez que os painéis são processados  nesta série de soluções, um revestimento branco e fosco (que eu suponho ser de níquel ou estanho) se desenvolve em todas as superfícies do painel não tratadas com fotorresistente, incluindo as vias e almofadas do orifício de passagem anteriormente não revestidas .

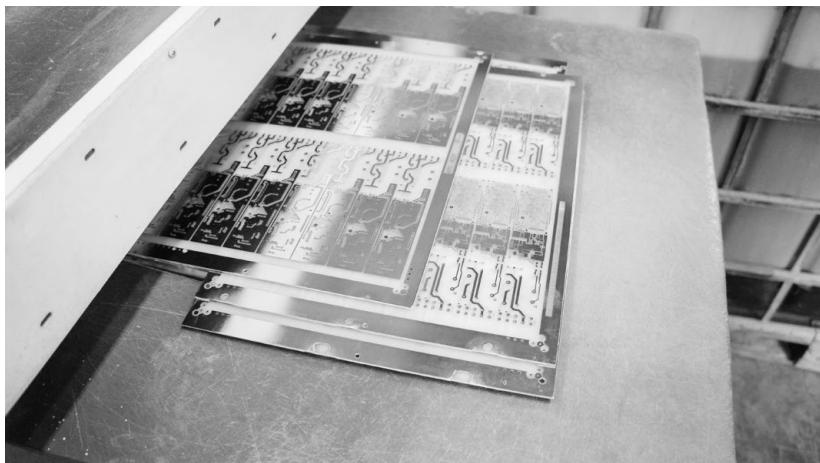


*Painéis de placas Arduino Leonardo após passarem por uma série de banhos químicos*

Neste ponto, a resistência e o cobre não revestido são removidos, deixando apenas o FR-4 bruto e o cobre revestido. A etapa final do processamento produz um acabamento de cobre brilhante.



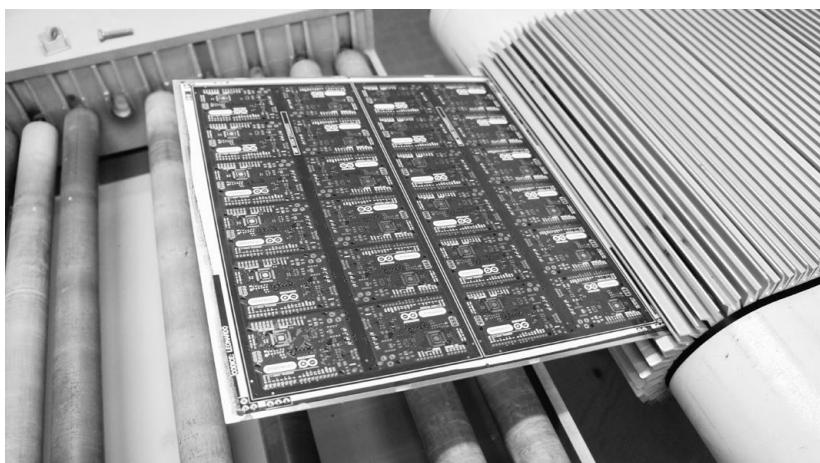
*Um painel gravado em cobre indesejado*



*Painéis PCB com cobre brilhante e brilhante. Esta foto não mostra um painel Arduino, já que eles não estavam passando pela máquina quando eu fotografei.*

### **aplicação de máscara de solda e serigrafia**

Uma vez polido o cobre, os painéis estão prontos para o *máscara de solda* (uma camada protetora semelhante a laca que isola os traços de cobre abaixo e evita a formação de pontes de solda acima) e *serigrafia* (a tinta usada para rotular componentes, desenhar logotipos e assim por diante). Estes são aplicados em um processo muito semelhante ao dos padrões de traço, usando uma fotomáscara e uma máquina reveladora/decapante.



*Um painel de placas Arduino com máscara de solda e serigrafia desenvolvido*

No caso dos Arduinos, a serigrafia é na verdade uma segunda camada da máscara de solda. Uma formulação muito específica de máscara de solda branca de filme seco foi adquirida pela equipe do Arduino para criar uma camada nítida e bonita que resolvesse a intrincada arte que você vê nas placas do Arduino – especialmente o mapa da Itália na parte traseira. Outras técnicas que vi para a produção de camadas de serigrafia incluem impressão a jato de tinta de alta resolução, que é mais adequada para casas de papelão de giro rápido e, claro, o processo homônimo de serigrafia com rodo e pintura.

## Testando e finalizando as placas

Depois de todo esse processamento químico, os painéis recebem um revestimento protetor de solda de uma máquina niveladora de solda a ar quente.

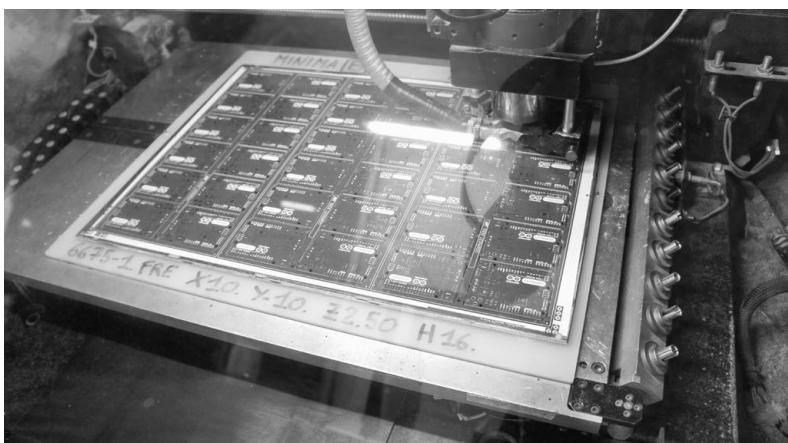
Com o revestimento de solda instalado, cada placa é 100% testada. Cada traço tem sua continuidade e resistência medidas com um par de sondas voadoras. O processo que vi é chamado *teste de cabeça voadora* (também referido como *teste de sonda voadora*), e nesse tipo de configuração, vários pares de braços com sondas em forma de agulha testam a continuidade entre pares de traços em um movimento rápido de batidas. Considerando todos os traços de um Arduino Leonardo, isso é muita investigação! Felizmente, os braços do robô se movem como um borrão, pois ele pode sonhar centenas de pontos por minuto.

**observação** *Uma alternativa ao teste de cabeça voadora é o teste em concha, onde um conjunto de pinos pogo é colocado em um acessório que pode testar toda a placa com uma única operação mecânica. No entanto, os acessórios em formato de concha são muito trabalhosos para montar e manter e exigem religação física sempre que os arquivos Gerber que descrevem as imagens PCB são atualizados. Portanto, em volumes menores, o teste de sonda voadora é mais econômico e flexível do que o teste em concha.*

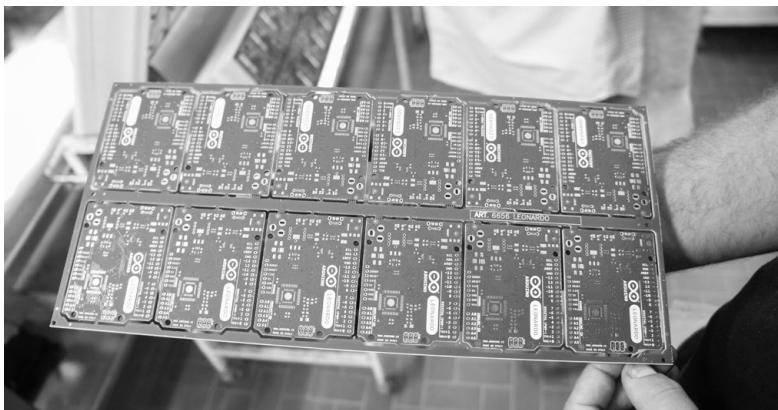


*Uma pilha de painéis PCB quase acabados,  
pronto para uma etapa final de roteamento das placas individuais*

Esta instalação específica apenas criou os painéis; uma fábrica diferente realmente preencheu os componentes. Em situações como essa, antes que os painéis possam ser enviados para a próxima fábrica, os PCBs individuais precisam ser roteados para que caibam dentro *tecnologia de montagem em superfície (SMT)* máquinas para colocar os componentes. Os painéis são novamente empilhados e processados em lote por meio de uma máquina que utiliza uma fresa para cortar e soltar as placas. Depois disso, as placas estão finalmente prontas para serem enviadas às instalações da SMT.



*Vários painéis Arduino, empilhados para roteamento*



*Painéis menores 2x6 tornam o processamento SMT mais eficiente.*



*Uma verdadeira pilha de cerca de 25.000 PCBs Arduino vazios,  
prontos para sair da fábrica de PCBs. A partir daí, eles foram recheados,  
enviado e vendido para fabricantes de todo o mundo!*

Estou feliz por ter feito uma viagem paralela para visitar a fábrica de PCB do Arduino. Visitei várias fábricas de PCB e cada uma delas tem características diferentes e seu próprio conjunto de truques para melhorar o rendimento, bem como limitações exclusivas que os designers precisam compensar. Também foi interessante ver o pequeno truque de usar um

camada extra de máscara de solda em vez de serigrafia para obter alta qualidade cosmética. Enquanto a resolução de uma serigrafia é limitada pela malha da barreira de seda para segurar a tinta, a máscara de solda é limitada pela qualidade da óptica e do desenvolvimento químico, proporcionando uma melhoria de ordem de magnitude na resolução e, em última análise, uma qualidade percebida mais alta. Normalmente a qualidade inferior da serigrafia é aceitável porque os usuários finais não veem as placas de circuito dentro dos computadores, mas para o Arduino, o produto final é a placa de circuito.

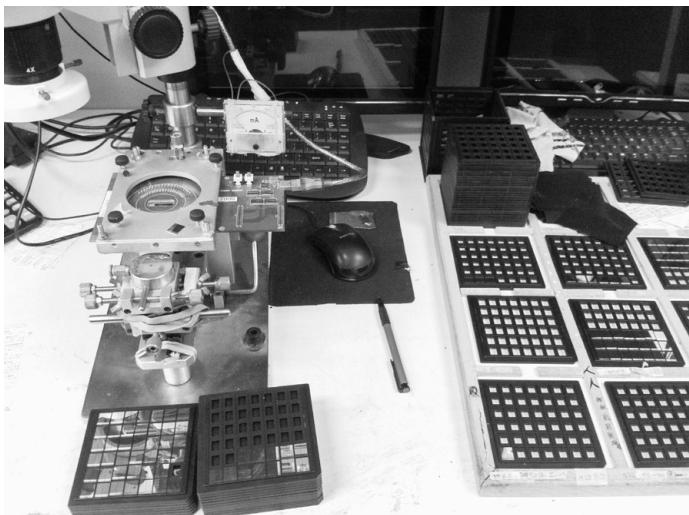
### **onde nascem os cartões de memória USB**

Vários meses depois de minha visita à fábrica do Arduino, tive a sorte de ser o palestrante principal na Linux Conference Australia (LCA) 2013. Em minha palestra, “Linux in the Flesh: Adventures Embedding Linux in Hardware”, discuti como o Linux está em todos os tipos de dispositivos que vemos todos os dias. Esta história não é sobre Linux, mas conecta a mim e, tangencialmente, ao LCA a uma fábrica.

Uma das bugigangas que recebi dos organizadores do LCA foi um pequeno cartão de memória USB com o pinguim Tux, o mascote do Linux, do lado de fora. Quando vi o dispositivo, pensei que era uma pura coincidência que, cerca de uma semana antes da conferência, eu estivesse em uma fábrica que fabricava cartões de memória USB exatamente iguais. Eu vi o processo de montagem da placa USB do início ao fim e, surpreendentemente, envolveu muito menos automação do que o processo de fabricação do Arduino.

### **O início de um stick USB**

Os pendrives USB começam a vida como chips de memória flash simples. Antes de serem montados em PCBs, esses chips são avaliados quanto à capacidade e funcionalidade da memória.

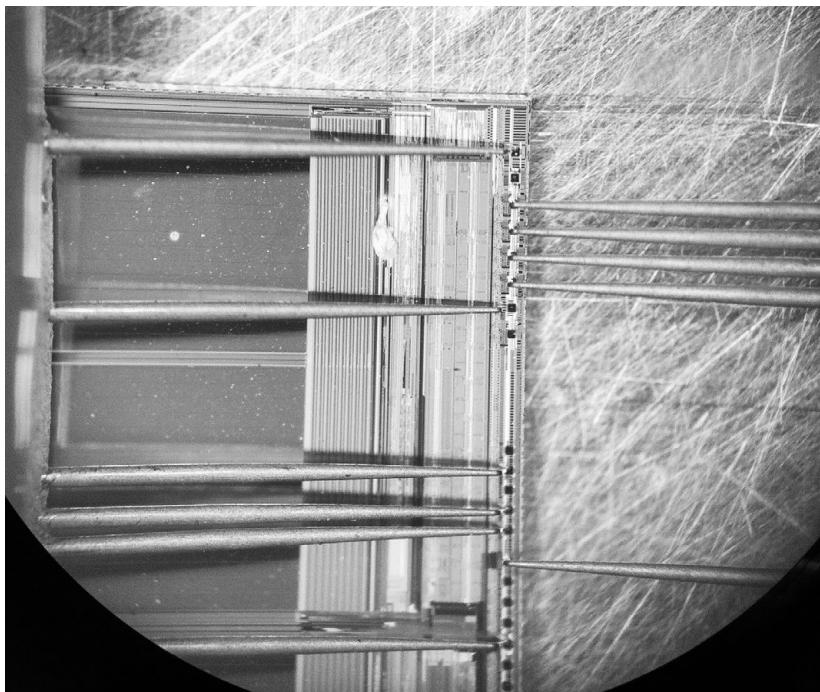


*Uma estação de trabalho onde os chips de memória flash são selecionados.  
O retângulo de metal à esquerda com o corte circular é o cartão da sonda.*

Em uma estação de trabalho nesta fábrica, pilhas de chips flash vazios aguardavam testes e armazenamento com um *cartão de sonda*, que possui pinos minúsculos e posicionados com muita precisão, usados para tocar almofadas apenas um pouco mais largas do que um fio de cabelo humano na superfície de um wafer de silício. (Adoro como o trabalhador desta estação em particular usou elásticos para prender um medidor de corrente analógico à placa de sonda.)



*A placa de sonda, de perto*

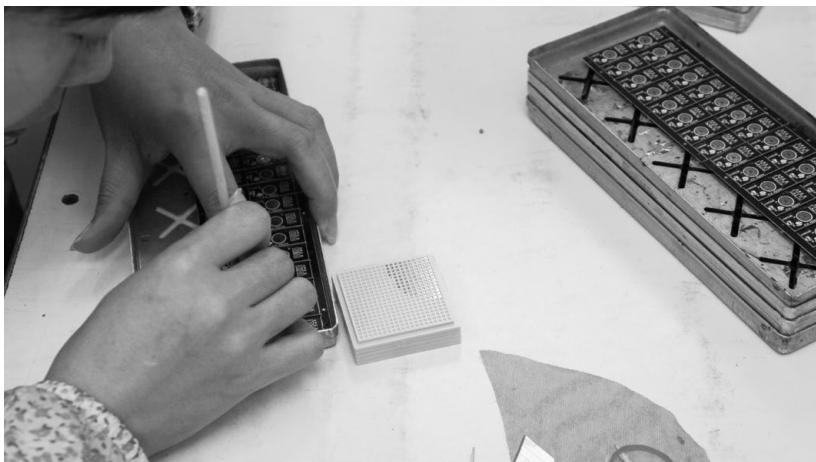


*Olhando através do microscópio na estação de microssondagem. Observe as agulhas tocando as almofadas quadradas na borda da superfície do chip flash. Cada almofada tem talvez 100 mícrons de lado – um fio de cabelo humano tem cerca de 70 mícrons de diâmetro.*

Curiosamente, os chips que vi não foram testados de forma alguma em um ambiente de sala limpa. Os trabalhadores manuseavam os cavacos com pinças e tornos de sucção manuais e montavam manualmente os cartões de sonda em seus gabaritos.

#### **Colocando chips manualmente em um PCB**

Depois que os chips foram avaliados quanto à funcionalidade, eles foram colocados à mãos nos PCBs do stick USB. Esta não é uma prática incomum; todas as instalações de wire bonding orientadas para o valor que visitei dependem da colocação manual da matriz nua.



*Um IC controlador sendo colocado em um painel de PCBs de pendrive USB. As minúsculas matrizes estão à direita, em um pacote de waffles.*



*Uma visão ampliada da estação de trabalho de colocação de matrizes*

A senhora que observei colocando o molde estava usando uma ferramenta semelhante a um pauzinho feita de bambu cortado à mão. Ainda não descobri exatamente como funciona o processo, mas meu melhor palpite é que as varas de bambu têm a energia superficial certa para aderir.

a matriz de silício, de modo que o silício grude na ponta da haste de bambu. Um ponto de cola é pré-aplicado nas placas nuas, de modo que quando o operador toca a matriz na cola, a tensão superficial da cola puxa a matriz da vara de bambu.

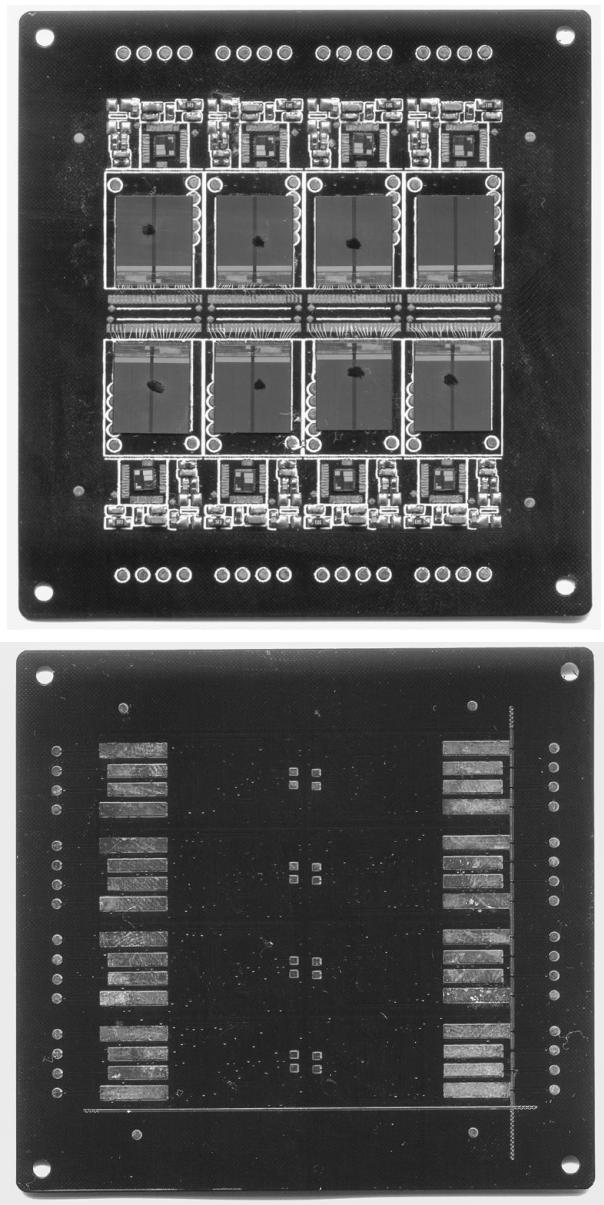
É estranho pensar que os chips dentro do meu pendrive foram manipulados com pauzinhos modificados.

### **ligando os chips ao PCB**

Depois que os chips foram colocados no PCB, eles foram *fio ligado* à placa com uma máquina de colagem automatizada, que usa reconhecimento de imagem assistido por computador para encontrar a localização das placas de colagem (essa é parte da razão pela qual as fábricas podem se safar com a colocação manual das matrizes). A ligação de fios é o processo que conecta um circuito integrado à sua embalagem, e a máquina de ligação automatizada conecta os fios ao IC a uma velocidade insana, girando a placa de circuito o tempo todo. Enquanto eu observava esse processo, o operador teve que retirar e substituir manualmente um fio mal colado e, em seguida, realocar o fio na máquina. Dado que esses fios são mais finos que um fio de cabo e que as almofadas de colagem na embalagem e no CI são microscópicas, isso não foi uma tarefa fácil de destreza manual.

### **uma olhada mais de perto nas placas USB**

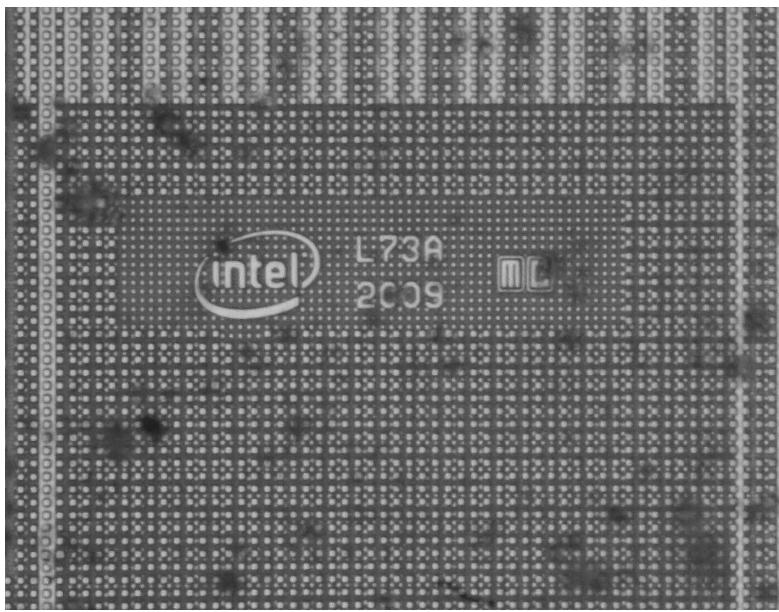
Assim como a fábrica do Arduino usava painéis contendo múltiplas placas Leonardo, a fábrica de cartões de memória USB usava painéis de oito cartões USB cada. Cada stick no painel consistia em um chip de memória flash e um IC controlador que fazia a ponte entre o USB e o flash bruto, uma tarefa não trivial que inclui o gerenciamento de mapas de blocos defeituosos e correção de erros, entre outras coisas. O controlador era provavelmente uma CPU da classe 8051 rodando a algumas dezenas de MHz.



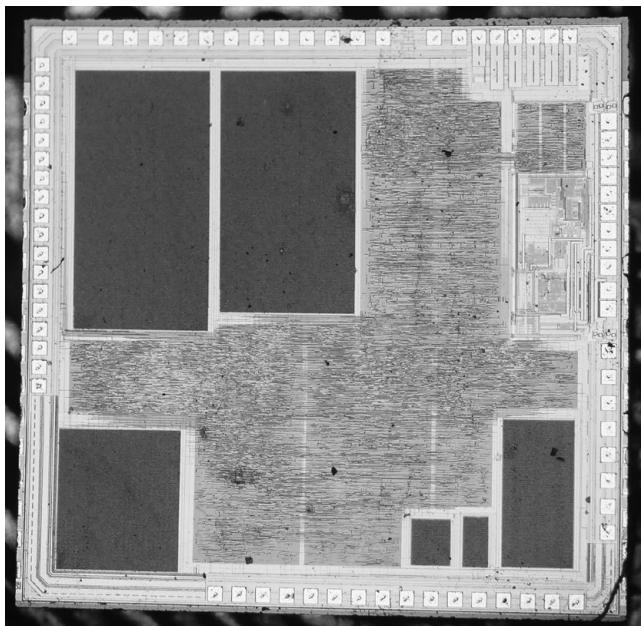
A PCB parcialmente ligada, mas totalmente montada em matriz, que o proprietário da fábrica me deu como lembrança da minha visita.  
Algumas das ligações dos fios foram quebradas durante o transporte.



*Curiosamente, todo o conjunto do stick USB é flexível antes do encapsulamento.*



*A marcação da matriz do chip flash. Aparentemente, é fabricado pela Intel.*



*Uma foto do chip controlador que estava dentro dos pendrives*

Depois de colados e testados os painéis, eles foram moldados com epóxi e depois cortados em pedaços individuais, prontos para venda.

Mas isso é o suficiente sobre a fabricação de eletrônicos; a seguir, quero mostrar um tipo diferente de chão de fábrica.

### **um conto de dois zíperes**

Meu amigo Chris “Akiba” Wang tem uma formação semelhante à minha, exceto que em sua juventude ele era muito mais descolado: ele foi dançarino de artistas como LL Cool J e Run DMC nos anos 90. Depois de passar por uma fase trabalhando para grandes empresas de semicondutores, ele finalmente desistiu e seguiu sua paixão de projetar e fabricar seus próprios projetos de hardware. Especialista em redes sem fio de curto alcance e baixo consumo de energia (ele é coautor de um livro sobre Bluetooth de baixo consumo de energia e vende uma variante Arduino + 802.15.4 chamada “Freakduino”), ele agora

presta consultoria para organizações como as Nações Unidas e a Universidade Keio, administra o FreakLabs e colabora com vários artistas de dança, como o Wrecking Crew, para fornecer soluções de iluminação exclusivas e atraentes para espetáculos de palco.

Tive a sorte de apresentar Akiba à área metropolitana de Shenzhen em uma viagem com alunos do MIT Media Lab em 2013 – a mesma viagem em que visitamos a fábrica de cartões de memória USB. Desde então, ele tem explorado cada vez mais profundamente a área. Como seu trabalho abrange as disciplinas de arte performática, wearables e eletrônica, sua rede de fábricas é bem diferente da minha, por isso sempre aprecio a oportunidade de aprender mais sobre seu mundo.

Em janeiro de 2015, Akiba me levou para visitar a fábrica de zíperes de seu amigo. Fiquei muito animado com o passeio: por mais humilde que seja o produto, sempre aprendo algo novo visitando sua fábrica. Esta fábrica era muito diferente das instalações do Arduino e do stick USB. Havia muito menos funcionários e era um fabricante altamente automatizado e integrado verticalmente. Para se ter uma ideia do que isso significa, essa instalação transformou lingotes de metal, serragem e arroz em peças de zíper.



*Aproximadamente 1 tonelada de lingotes,  
composto de 93% de zinco e 7% de liga de alumínio*



*Pelotas de serragem comprimidas, usadas para abastecer a fundição de lingotes*



*Arroz, usado para alimentar os trabalhadores*



*Conjuntos de puxador de zíper e controle deslizante finalizados*

Vejamos um lado de como esse processo realmente funciona.

#### **um processo totalmente automatizado**

Entre os três materiais de entrada e o produto de saída havia uma linha de fundição sob pressão totalmente automatizada para criar os puxadores e controles deslizantes de zíper, um conjunto de copos e potes vibratórios (ou, como gosto de chamá-los, “vibrapots”) para liberar e polir os zíperes e um conjunto de máquinas para rebarbar e unir cada puxador ao seu controle deslizante. Acho que contei menos de uma dúzia de funcionários nas instalações e suponho que a capacidade deles excede em muito um milhão de zíperes por mês.

Fiquei hipnotizado pelos vibrapots\* que unem os zíperes. Havia dois vibrapots: um com extratores e outro com controles deslizantes. Tanto os controles deslizantes quanto os extratores foram depositados em um trilho móvel e, enquanto eu observava esses milagres em ação, parecia que os controles deslizantes e os extratores estavam se alinhando na orientação correta por mágica. Cada um caiu em seu trilho e, no final da linha, foram pressionados juntos em um formato familiar de zíper, tudo em uma única máquina totalmente automatizada.

---

\* Sinceramente, não sei como eles são chamados, então sim, vou continuar chamando-os assim.

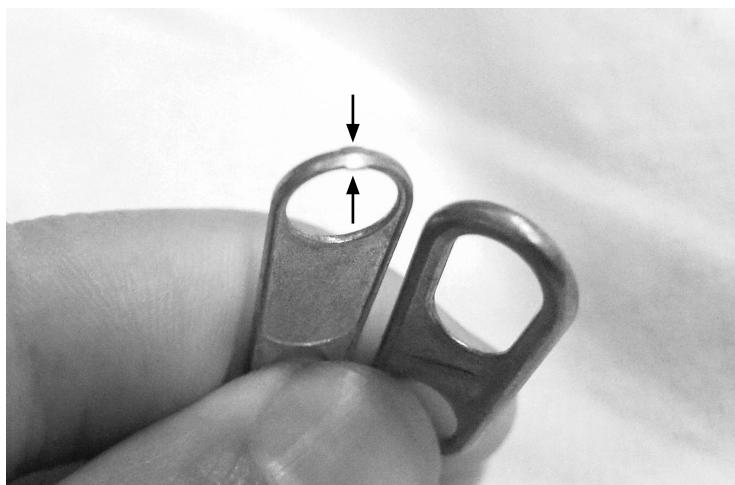
Quando coloquei a mão na panela, descobri que não havia nenhum agitador para provocar o movimento; Eu apenas senti uma forte vibração. Relaxei minha mão e percebi que ela começou a se mover junto com todos os outros itens da panela. Todo o pote vibrava de forma tendenciosa, de modo que os itens dentro dele tendiam a se mover em movimentos circulares. Isso empurrou os puxadores e controles deslizantes para o conjunto de trilhos, que foram moldados para aproveitar as assimetrias dos objetos para permitir que apenas as peças que saltavam no trilho na orientação correta continuassem para a próxima etapa.

### **um processo semiautomatizado**

Apesar do alto nível de automação nesta fábrica, muitos dos trabalhadores que vi realizavam uma única operação. Eles alimentaram os extratores de um tipo diferente de zíper em um dispositivo conectado a outro vibrapot contendo controles deslizantes, enquanto o dispositivo juntava os controles deslizantes e os puxadores.

Claro, perguntei: "Por que alguns zíperes têm processos de montagem totalmente automatizados, enquanto outros são semiautomáticos?"

Acontece que a resposta é muito sutil e se resume à forma.



*Observe a diferença entre esses dois extratores, indicada pelas setas.*

Uma pequena guia, quase invisível, era a diferença entre a automação total e a necessidade de um ser humano para unir milhões de controles deslizantes e extratores. Para entender o porquê, vamos revisar uma etapa crítica na operação do vibrapot. Um trabalhador gentilmente pausou o vibrapot responsável por classificar os extratores na orientação correta para o processo totalmente automático para que eu pudesse tirar uma foto da etapa principal.



*Extratores passando pelo vibrapot*

Quando os puxadores contornaram o trilho, sua orientação foi aleatória: alguns voltados para a direita, outros para a esquerda. Mas a operação de união só deve inserir o controle deslizante no menor dos dois orifícios. Essa pequena aba permitiu que a gravidade fizesse com que todos os extratores pendurassem na mesma direção ao cair em um trilho à esquerda.

O design de zíper semiautomático não possui essa aba; como resultado, o design é muito simétrico para que um vibrapot alinhe o extrator. Perguntei ao proprietário da fábrica se adicionar a pequena aba economizaria esse trabalho, e ele disse que sim.

Nesse ponto, parecia extremamente óbvio para mim que todos os zíperes deveriam ter essa pequena aba, mas o designer do zíper não a teria. Mesmo que essa aba seja muito pequena, os consumidores podem sentir os solavancos sutis, e alguns percebem isso como um

defeito no projeto. Como resultado, o designer insistiu em uma aba perfeitamente lisa, que, portanto, não tinha nenhum recurso que permitisse a orientação automática de maneira fácil e confiável.

## A ironia da escassez e da demanda

Eu gostaria de imaginar que a maioria das pessoas, depois de observar uma pessoa unindo puxadores a controles deslizantes por alguns minutos, ficaria bastante contente em sofrer um pequeno impacto na ponta do zíper para salvar outro ser humano do destino de alinhar manualmente os puxadores em controles deslizantes durante oito horas por dia. Alternativamente, suponho que um engenheiro poderia gastar inúmeras horas tentando projetar um método mais complexo para alinhar os extratores e controles deslizantes, mas há dois problemas com isso:

- O cliente do zíper provavelmente não pagaria por esse esforço.
- Provavelmente é mais barato pagar mão de obra não qualificada para realizar a classificação manualmente.

O dono da fábrica de zíperes já havia automatizado todo o resto nas instalações, então imagino que eles também pensaram muito sobre esse problema. Meu palpite é que a construção e a manutenção de robôs são caras; as pessoas são auto-replicantes e em grande parte auto-sustentáveis. Lembra daquele terceiro insumo da fábrica: o arroz? As peças sobressalentes de qualquer robô têm que ser mais baratas que o arroz para que o robô ganhe um lugar na fábrica.

Na realidade, porém, é muito trabalhoso explicar esse conceito aos clientes finais; na verdade, acontece exatamente o oposto no mercado. Montar os zíperes lisos envolve mão de obra extra, então os zíperes custam mais; portanto, eles tendem a acabar em produtos de alta qualidade. Isso reforça ainda mais a noção de que zíperes realmente lisos, sem nenhuma pequena aba, devem ser o resultado de controle de qualidade e atenção aos detalhes.

Meu mundo está cheio de pequenas frustrações como essa. Por exemplo, a maioria dos clientes considera os plásticos com acabamento espelhado de qualidade superior aos plásticos com acabamento acetinado. Há

não há diferença funcional entre o desempenho estrutural dos dois plásticos, mas fazer algo com acabamento espelhado exige muito mais esforço. As ferramentas de moldagem por injeção devem ser cuidadosa emeticulosamente polidas e, em cada etapa da fábrica, os trabalhadores devem usar luvas brancas. Montanhas de plástico são descartadas em busca de defeitos e películas extras de plástico são colocadas sobre superfícies espelhadas para protegê-las durante o transporte.

Apesar de todo esse esforço, apesar de todo esse desperdício, qual é a primeira coisa que os usuários fazem? Eles colocaram suas impressões digitais sujas em todo o acabamento espelhado. Um minuto depois de um produto sair da caixa, todo esse esforço é desfeito. Ou pior ainda, o usuário deixa a película protetora, resultando em um efeito cosmético pior do que um acabamento acetinado.

Compare isso com o plástico com acabamento acetinado. Os acabamentos acetinados não requerem películas protetoras, são mais fáceis de manusear pelos trabalhadores e usuários, duram mais e têm rendimentos muito melhores. Nas mãos do usuário, escondem pequenos arranhões, impressões digitais e pedaços de poeira. Indiscutivelmente, o acabamento acetinado oferece uma melhor experiência ao cliente a longo prazo do que o acabamento espelhado.

Mas esse acabamento espelhado certamente fica lindo em fotos e exibições de showroom!



# 3. chão de fábrica

---

Os dois capítulos anteriores foram repletos de histórias de minhas experiências pessoais, aprendendo, cometendo erros e crescendo com o ecossistema de manufatura na área metropolitana de Shenzhen. Em janeiro de 2013, depois de aprender o básico, o MIT Media Lab me pediu para começar a orientar estudantes de pós-graduação em cadeia de suprimentos e manufatura, e eu os levei em um tour por Shenzhen (o mesmo tour onde conheci Akiba e visitei o USB fábrica de cartões de memória). Este capítulo é uma tentativa de resumir tudo o que ensinei ao longo de semanas em algumas dezenas de páginas.

Os desafios e compromissos na produção de baixo volume são diferentes daqueles de exercícios empresariais bem financiados que criam protótipos à escala de milhares de unidades. Aprendi isso com o tempo, mas nem todo mundo tem seis anos para corrigir todos os erros de novato. Se você já está em uma startup de tecnologia em rápida evolução, provavelmente não terá o luxo de fazer nenhuma exploração. As lições deste capítulo são aplicáveis a qualquer pessoa que queira inicializar um produto de hardware desde um protótipo inicial até volumes moderados (talvez centenas de milhares de unidades). Trate este resumo como uma diretriz geral, não como um roteiro detalhado. O diabo está sempre nos detalhes, e uma parte divertida de criar produtos de hardware novos e inovadores é que não há fim de desafios novos e interessantes a serem resolvidos.

### **Como fazer uma conta de materiais**

A maioria dos fabricantes que tentam aumentar a sua produção percebem rapidamente que o único caminho prático a seguir é terceirizar a produção. Se ao menos a terceirização fosse tão fácil quanto esquemático + dinheiro = produto!

Quer você trabalhe na oficina de montagem da rua ou envie seu trabalho para a China, uma mensagem clara e completa/*lista de materiais (BOM)*é o primeiro passo para terceirizar a produção. Cada suposição que você faz sobre sua placa de circuito, até a cor da máscara de solda, deve ser explicada de forma inequívoca para que terceiros reproduzam fielmente seu projeto. Documentação ausente ou incompleta é a principal causa de atrasos na produção, defeitos e custos excessivos.

### **um simples bom para uma luz de segurança de bicicleta**

Para um estudo de caso, suponha que você realizou uma campanha bem-sucedida no Kickstarter para uma luz de segurança para bicicletas. Ele contém um circuito que usa um temporizador 555 para piscar um pequeno conjunto de LEDs. Depois de uma grande campanha de marketing, várias centenas de pedidos precisam ser atendidos em poucos meses.

A princípio, uma lista técnica para a luz da bicicleta, gerada automaticamente por uma ferramenta de design como o Altium, pode ser assim:

Quantidade	Comente	Designador
1	0,1µF	C1
1	10µF	C2
3	LED branco	D1, D2, D3
1	2N3904	1º trimestre
1	100	R1
2	20 mil	R2, R4
1	1k	R3
1	555 temporizador	U1

*Uma luz de segurança de bicicleta muito básica BOM*

Esta lista técnica, juntamente com um esquema, é provavelmente suficiente para qualquer graduado de um programa de engenharia elétrica dos EUA reproduzir o protótipo, mas está longe de ser adequado para uma cotação de custos de fabricação. Esta versão da lista técnica trata apenas de eletrônicos. Uma lista técnica completa para um pisca-pisca LED também precisa incluir a placa de circuito impresso, a bateria, as peças da caixa de plástico, as lentes, os parafusos, qualquer etiqueta (como um número de série), um manual e a embalagem (saco plástico mais caixa de papelão, por exemplo). Também pode ser necessária uma caixa mestra para enviar vários piscas de LED juntos, pois um único pisca-pisca de LED em caixa é muito pequeno para ser enviado sozinho. Embora as caixas de papelão sejam baratas, elas não são gratuitas e, se não forem encomendadas no prazo, o estoque ficará parado até que uma caixa mestra seja entregue para embalagem final antes do envio.

As seguintes informações importantes também estão faltando:

- Fabricante aprovado para cada componente
- Tolerância, composição do material e especificação de tensão para componentes passivos
- Informações do tipo de pacote para todas as peças
- Números de peça estendidos específicos para cada fabricante

Vejamos cada um dos itens ausentes com mais detalhes.

## fabricantes aprovados

Uma fábrica adequada exigirá que você forneça um *lista de fornecedores aprovados (AVL)* especificando o(s) fabricante(s) permitido(s) para cada peça em uma PCB. Um fabricante não é um distribuidor, mas sim a empresa que realmente fabrica uma peça. Um capacitor, por exemplo, poderia ser fabricado pela TDK, Murata, Taiyo Yuden, AVX, Panasonic, Samsung e assim por diante. Ainda estou surpreso com quantas listas técnicas revisei listam DigiKey, Mouser, Avnet ou algum outro distribuidor como fabricante de uma peça.

Pode parecer bobagem brincar sobre quem fabrica um capacitor, mas definitivamente há situações em que o fabricante de um componente é importante – mesmo para o humilde capacitor. Por exemplo, substituir cegamente os capacitores do filtro em um regulador de comutação, mesmo que o substituto tenha a mesma capacidade e tensão nominais, pode levar a uma operação instável e até mesmo ao incêndio das placas.

É claro que algumas peças de um projeto podem ser realmente insensíveis ao fabricante; nesse caso, eu marcaria “qualquer/aberto” na lista técnica do AVL. (Isso é particularmente verdadeiro para peças como resistores pull-up.) Isso convida a fábrica a sugerir seu fornecedor preferido em seu nome.

## Tolerância, composição e especificação de tensão

Para componentes passivos marcados como “qualquer/aberto”, você deve sempre especificar os seguintes parâmetros-chave para garantir que a peça certa seja adquirida:

- Para resistores, especifique no mínimo a tolerância e a potência. Um resistor de carbono de 1 kΩ, 1 por cento de tolerância e 1/4 W é muito diferente de um resistor de fio enrolado de 1 kΩ, 5 por cento de tolerância e 1 W!
- Para capacitores, especifique no mínimo a tolerância, a classificação de tensão e o tipo dielétrico. Para aplicações especiais, especifique também determinados parâmetros, como ESR ou corrente de ondulação

tolerância. Um capacitor eletrolítico de 10 µF, com tolerância de 10 por cento, classificado para 50 V, tem desempenho muito diferente em altas frequências em comparação com um capacitor cerâmico de 10 µF, com tolerância de 20 por cento, classificado para 16 V.

Os indutores são suficientemente especializados que eu não recomendo rotulá-los como “qualquer/aberto” em sua lista técnica. Para indutores de potência, os parâmetros básicos a serem especificados são composição do núcleo, resistência CC, saturação, aumento de temperatura e corrente, mas diferentemente dos resistores e capacitores, os indutores não possuem padrão para revestimento. Além disso, parâmetros importantes como blindagem e encapsulamento, que podem ter impactos materiais no desempenho de um circuito, estão frequentemente implícitos em um número de peça; portanto, é melhor especificar totalmente o indutor. O mesmo vale para indutores de RF.

### **Fator de forma de componente eletrônico**

Sempre especifique completamente o *fator de forma*, ou tipo de pacote, de um componente. Parâmetros de pacote mal especificados ou subespecificados podem levar a erros de montagem. Além dos parâmetros básicos, como o código do pacote Electronic Industries Alliance (EIA) ou JEDEC Solid State Technology Association (ou seja, 0402, 0805, TSSOP e assim por diante), considere as seguintes informações do pacote ao criar sua BOM:

**pacotes de montagem em superfície** A altura de um componente pode variar, principalmente para pacotes maiores que 1206 ou para indutores. Preste atenção se a placa está encaixando em um gabinete apertado.

**Pacotes através do furo** Sempre especifique o passo inicial e a altura do componente.

Para CIs em geral, tente especificar também o nome comum que corresponde ao pacote, não apenas o nome do fabricante.

código interno. Por exemplo, um código de pacote do tipo “DW” da Texas Instruments corresponde a um pacote SOIC. Essa verificação de consistência ajuda a proteger contra erros.

## Números de peça estendidos

Os projetistas costumam pensar nos componentes em números de peça abreviados. Um ótimo exemplo disso é o 7404. O venerável 7404 é um inversor hexadecimal e está em serviço há décadas. Devido à sua onipresença, 7404 pode ser usado como um termo genérico para um inversor entre engenheiros de projeto.

Ao entrar em produção, entretanto, você deve especificar informações como tipo de pacote, fabricante e família lógica. Um número de peça completo para um inversor hexadecimal específico pode ser **74VHCT04AMTC**, que especifica um inversor fabricado pela Fairchild Semiconductor, da série VHCT, em embalagem TSSOP, enviado em tubos. Os caracteres extras são muito importantes, porque pequenas variações podem causar grandes problemas, como cotar e solicitar o dispositivo embalado errado e ficar preso a uma bobina de peças inutilizáveis ou problemas sutis de confiabilidade.

Por exemplo, em um controlador robótico que projetei (codinome *Kovan*), encontrei um problema devido a uma substituição equivocada de *VHC* no número da peça de um componente na *VHCT* família lógica. O uso da parte *VHC* alterou os limites de entrada do inversor de TTL para compatibilidade lógica CMOS e, como resultado, algumas unidades tiveram uma resposta assimétrica aos sinais de entrada. Felizmente, detectei esse problema antes do aumento da produção. A peça correta foi usada em todas as outras unidades e evitei muitos possíveis retrabalhos – ou pior, devoluções de clientes insatisfeitos. Felizmente, o único custo do erro foi retrabalhar os poucos protótipos que validei antes da produção.

Aqui está outro exemplo de como a falta de alguns caracteres em um número de peça pode custar milhares de dólares. Um totalmente especificado

o número da peça do regulador de comutação LM3670 pode ser LM3670MFX-3.3/NOPB. Se *NOPB* for omitido, o número da peça ainda será válido e poderá ser solicitado – mas essa versão usa solda com chumbo. Isto poderia ser desastroso para produtos exportados para uma região que exige conformidade com a RoHS (ou seja, sem chumbo, entre outras coisas), como a União Europeia.

O *número da peça* há outra questão mais sutil. Números de peças com um *Xvêm* em rolos de 3.000 peças, e aqueles que não possuem *Xvêm* em bobinas de 1.000 peças. Embora muitas fábricas questionem uma *NOPB* missão, uma vez que normalmente montam a documentação RoHS à medida que compram peças, raramente sinalizam a quantidade da bobina como um problema.

Mas você deve se preocupar com a quantidade da bobina. Se você planeja construir apenas 1.000 produtos, incluindo o *número da peça* significa que você terá 2.000 LM3670s extras. E sim, você terá que pagar pela franquia, já que sua lista técnica especificou esse número de peça. Existem muitas razões válidas para encomendar peças em excesso, por isso as fábricas raramente questionarão uma decisão como esta.

Por outro lado, peças encomendadas em lotes de 1.000 unidades são um pouco mais caras por unidade do que aquelas encomendadas em lotes de 3.000. Então, se você deixar de fora o *Xâ* medida que seu volume aumenta, você acabará pagando mais pela peça do que o necessário. De qualquer forma, a fábrica citará sua lista técnica exatamente como especificado e, se seus especificadores de quantidade estiverem incorretos, você poderá estar deixando dinheiro na mesa – ou pior, perdendo dinheiro.

O resultado final? Cada dígito e caractere conta, e a falta de atenção aos detalhes pode custar dinheiro de verdade!

## **A segurança da bicicleta Light bom revisitada**

Com esses quatro pontos em mente, considere como seria uma lista técnica adequada e totalmente especificada para o exemplo da luz de segurança da bicicleta.

Quantidade	Valor	Pacote	Designador	AVL1	AVL1 P/N	Quantidade mínima Lidar ao tempo
1	0,1µF, cerâmica, 25V, 10%, X5R	0402	C1	Taiyo Yuden	TMK105BJ104KV-F...	10.000 8 semanas
1	10µF, cerâmica, 16V / 10%, X5R	1206	C2	TDK	C3216X5RC106K(085AB)	2000 12 semanas
3	LED branco, lente transparente	T-1 3/4	D1, D2, D3	Lumex	SSI-LX5093UWCG	3.000 12 semanas
1	2N3904	SOT-223	1º terminal SOBRE o condutor	Semiconductor	PZT3904T1GOS	1000 6 semanas
1	100 ohms, 1/2 W, 5%	2010	R1	Panasonic	ERj-125F100U	5.000 8 semanas
2	20k, 1/16W, 1%	0402	R2, R4	qualquer/aberto		10.000 8 semanas
1	1k, 1/16W, 5%	0402	R3	qualquer/aberto		10.000 8 semanas
1	NE555D	SOIC-8	U1	TI	NE555D	1000 4 semanas
1	PCB FR4, 1,6mm +/- 10%, máscara de solda verde, HASL, serigrafia branca, 5cm x 8cm	PCB	A definir	FLASHYLIGHT_GERBERS_V1.ZIP	1000	4 semanas
1	Plástico ABS, caixa inferior, acabamento acetinado, sem chumbo, preto		A definir	FLASHYLIGHT_BOT_V1.STEP	1000	16 semanas / 4 semanas
1	Plástico ABS, top case, acabamento acetinado, sem chumbo, preto		A definir	FLASHYLIGHT_TOP_V1.STEP	1000	16 semanas / 4 semanas
1	Policarbonato plástico, lente, acabamento espelhado sem chumbo, transparente		A definir	FLASHYLIGHT_LENS_V1.STEP	1000	16 semanas / 4 semanas
4	Parafuso, M2x4, cabeça panela philips, auto-roscante 5mm		qualquer/aberto		4.000	estoque
1	Snap da bateria, 9V, 15CM fios vermelhos e pretos 26 AWG (cabos de 5mm)		Kaweei	CBS-150	5.000	1 semana
1	Manual de instruções, folha A4, preto e branco, impressão frente e verso		qualquer/aberto	flashylite_manual_y2.ai	1000	3 semanas
1	Saco plástico PE de 10cm x 12cm, transparente		qualquer/aberto		1000	1 semana
1	Etiqueta de código de barras, número de série e código de data, CODE39 5mm x 15mm		qualquer/aberto	código de barras_amostra_v1.pdf veja amostra da caixa incluída	1000	1 semana
1	Caixa de papelão, 6cm x 6cm x 10cm, cor natural, estoque de 50lts		qualquer/aberto		1000	1 semana
0,02	Caixa mestra, 60cm x 40cm x 20cm		qualquer/aberto		100	1 semana

Há uma grande diferença entre uma lista técnica que qualquer engenheiro poderia usar para produzir um protótipo, como a primeira que mostrei para a luz de segurança para bicicletas, e uma lista técnica como esta, que qualquer fábrica poderia usar para produzir um produto em massa. Observe as colunas MOQ (quantidade mínima do pedido) e Lead Time em particular. Essas colunas são irrelevantes quando você está construindo protótipos de baixo volume, já que normalmente você compraria peças de distribuidores que têm poucas restrições de MOQ e manteriam estoque para entregas no dia seguinte. Ao aumentar a produção, no entanto, você economiza muito dinheiro cortando as despesas gerais do distribuidor e comprando por meio de canais de atacado. Nos canais de atacado, os MOQs e os prazos de entrega são importantes.

A boa notícia é que a fábrica preencherá o MOQ e o prazo de entrega como parte do processo de cotação. Mas você achará útil monitorar esses parâmetros desde o início. Se o MOQ de um componente específico for muito alto, a fábrica poderá ter que comprar um grande número de peças excedentes, o que aumenta o preço efetivo do projeto. Se o prazo de entrega de uma peça for muito longo, você pode considerar o reprojeto de uma peça com prazo de entrega mais curto. Usar peças com prazos de entrega mais curtos não apenas economiza tempo, mas também melhora o fluxo de caixa: ninguém quer gastar dinheiro em componentes com prazo de entrega longo quatro meses antes da receita de vendas.

Essa lista técnica também inclui vários itens não eletrônicos — como a caixa, uma etiqueta de código de barras e assim por diante — que não estariam na lista técnica do protótipo de engenharia. Essas informações diversas são fáceis de esquecer, mas a falta de um manual do usuário em uma lista técnica inicial muitas vezes não é descoberta até que a amostra final seja aberta para aprovação, levando a uma confusão de última hora para incluir o manual no produto final. Muitos produtos foram atrasados simplesmente porque o manual do usuário ou a arte da caixa não foram concluídos e aprovados a tempo, e é uma pena ter um estoque no valor de cem mil dólares parado em um depósito por falta de um pedaço de papel.

Além de uma lista técnica adequada, fornecer à fábrica amostras douradas de seu produto junto com seus arquivos CAD é outra prática recomendada. Esses protótipos funcionais permitem que a fábrica tome decisões mais inteligentes sobre quaisquer ambiguidades na lista técnica enviada. Soldar manualmente mais uma unidade apenas para a fábrica pode parecer chato, mas na minha opinião, algumas horas de soldagem superam uma semana de troca de e-mails com a fábrica.

**observação** *Quando você está construindo um modelo de negócios, peças e embalagens ainda não são os únicos custos a serem considerados. Mesmo esta lista técnica detalhada não lista a margem de fábrica, mão de obra para montagem, embalagem, remessa, taxas e assim por diante. Discuto esses “custos intangíveis” em “Escolhendo (e mantendo) um parceiro” na página 107.*

## Planejando e lidando com a mudança

É claro que, mesmo que seu projeto seja perfeito e sua lista técnica seja ideal, seu projeto ainda poderá precisar ser alterado se os fornecedores *fim da vida (EOL)* ou pare de criar os componentes selecionados. E sejamos realistas: sempre há uma chance de que suas suposições de design também não sobrevivam ao contato com consumidores reais.

Antes de cruzar o limiar da produção, formalize o processo de alteração de um projeto com a fábrica. É uma prática recomendada usar informações escritas e formais *pedidos de alteração de engenharia (ECO)* para atualizar a fábrica sobre quaisquer alterações após a cotação inicial. No mínimo, aqui está o que um modelo ECO deve incluir:

- Os detalhes de cada peça alterada e uma breve explicação de por que a alteração é necessária
- Um número de revisão exclusivo para referenciar convenientemente as alterações futuras
- Um método para registrar o recebimento da papelada ECO pela fábrica

Seja minucioso com os ECOs, em vez de depender de e-mails casuais, ou os compradores da sua fábrica poderão comprar a peça errada. Pior ainda, a fábrica pode *instalar* uma peça errada e lotes inteiros do seu produto precisarão ser descartados ou retrabalhados. Mesmo depois de solucionar um problema com os engenheiros da fábrica, ainda escrevo um ECO formal e o envio à equipe de produção para formalizar as conclusões. Odeio a papelada tanto quanto qualquer engenheiro, mas na produção, um pequeno erro pode custar dezenas de milhares de dólares, e esse pensamento me mantém disciplinado em relação aos ECOs.

Na próxima página está um ECO real que emiti e que acabou me economizando tempo e dinheiro.

Observe a data neste ECO: 27 de fevereiro de 2014. Este ECO foi emitido pouco antes do Ano Novo Chinês, quando as fábricas entram em férias por algumas semanas. Há uma rotatividade significativa de mão de obra não qualificada dentro das fábricas após os feriados e, portanto, há muitas oportunidades para que as ordens de serviço sejam perdidas e esquecidas. Preocupado com a perda do ECO, consultei os gerentes depois que a fábrica retomou a produção para garantir que o ECO não fosse esquecido. Eles me garantiram que estava aplicado, mas eu ainda sentia uma vaga paranoíia, então pedi fotos da placa de circuito para confirmar. Com certeza, faltava a mudança no meu ECO no primeiro lote de produção.

Graças ao ECO detalhado, a fábrica admitiu prontamente o seu erro, reparou toda a produção e pagou pelo retrabalho. Mas se eu tivesse enviado o pedido de alteração em um e-mail rápido, sem fazer referência a lotes ou ordens de serviço específicos, poderia haver ambiguidade suficiente para que a fábrica se livrasse das cobranças de retrabalho. A fábrica poderia ter argumentado que pensava que eu pretendia aplicar a alteração a uma produção futura, ou poderia simplesmente negar o recebimento de um pedido confirmado, já que os e-mails são uma forma de comunicação bastante casual. De qualquer forma, alguns minutos de documentação economizaram dias de negociação e centenas de dólares em taxas de retrabalho.

## ENGINEERING CHANGE ORDER

Mr. [REDACTED]  
 Name: [REDACTED]  
 [REDACTED]@[REDACTED].com

Date: 27 February 2014

Sutajio Ko-Usagi Pte LTD  
 bunnie@[REDACTED].com

ECO number: 0001 version: 2  
 Project: [REDACTED]  
 Subassembly: [REDACTED] sensor and microcontroller [REDACTED]  
 Reference PO: PO-0018 and PO-0016

### Background

Per request by engineer [REDACTED], pull-ups on inputs to the microcontroller and trigger sticker are to be modified to enhance flexibility and better target user use-cases.

On the microcontroller, R2, R3, and R4 (all 22M, 5%) shall be omitted, to allow the inputs to be used in applications that bar the presence of a pull-up.

On the trigger, R16 shall be changed from 10k, 1% to 22M, 5%, to allow for resistive-touch style sensing of the input pin.

### CHANGE ORDER DETAILS

ORIGINAL		NEW		Comments
Designator	Value	Designator	Value	
R2	22M, 5% 0603	R2	DNP	BOM change only
R3	22M, 5% 0603	R3	DNP	BOM change only
R4	22M, 5% 0603	R4	DNP	BOM change only
R16	10k, 1% 0603	R16	22M, 5% 0603	BOM change only

### MATERIAL DISPOSITION

No extra material needs to be ordered to execute this change.

Excess material resulting from this change shall be held by [REDACTED] and applied to future builds. No expected change to PO or cost for assembly.

### Version history

version 2 – changed 0805 to 0603 for part footprints, was a typo.

*Exemplo de um ECO real utilizado na produção. Graças ao processo de documentação formal, uma produção confusa relacionada a este ECO foi resolvida a meu favor.*

## Processo otimizado:

## PROJETO PARA FABRICAÇÃO

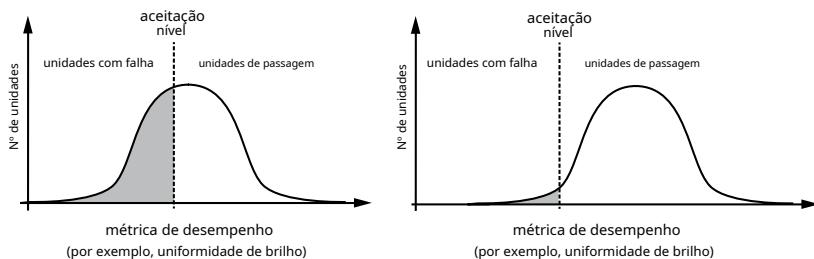
Enquanto você projeta seu produto final e monta uma lista técnica, considere *colheita*, o número de unidades boas que saem do processo de fabricação também é importante. O rendimento é um assunto chato para muitos engenheiros, mas para os empreendedores,

o sucesso ou o fracasso será determinado em parte pelo facto de conseguirem um rendimento razoável. Felizmente, você pode aumentar seu rendimento projetando com isso em mente.

### por que DFM?

Ao contrário do software, cada cópia de um bem físico apresenta pequenas imperfeições. Às vezes as imperfeições se anulam; às vezes, eles se agrupam e prejudicam o desempenho. À medida que o volume de produção aumenta, uma fração do produto acaba sempre por não ser vendável. Num projeto robusto, a fração de falhas pode ser tão pequena que os testes funcionais podem ser simplificados, levando a maiores reduções de custos. Por outro lado, projetos sensíveis às tolerâncias dos componentes exigem testes extensivos e sofrerão grandes perdas de rendimento. O retrabalho de unidades defeituosas incorre em custos extras de mão de obra e peças, o que acaba prejudicando os lucros.

Assim, redesenhar para melhorar a robustez face às tolerâncias normais de fabricação é um grande desafio na passagem da bancada de engenharia para a produção em massa. Este processo é chamado *projeto para fabricação (DFM)*.



*À esquerda, antes do DFM, quase metade das unidades não atendia ao nível de aceitação e, portanto, estava falhando. Certo, depois do DFM, o nível de aceitação é o mesmo, mas o desempenho médio é melhorado, fazendo com que a maioria das unidades seja aprovada.*

Para entender a importância do DFM, considere estes gráficos. Cada um retrata *um curva de sino*, que é uma distribuição estatística assumida de um parâmetro específico. O eixo x é um parâmetro de interesse e o eixo y é o número de itens produzidos que atingem o parâmetro determinado. Por exemplo, em um enredo

do brilho de milhares de LEDs, o eixo x seria o brilho e o eixo y seria o número de LEDs que atingem um determinado brilho. A posição da curva em forma de sino em relação aos critérios de aprovação/reprovação determina o rendimento líquido da produção.

Na curva da direita, a maioria dos LEDs são brilhantes o suficiente e a maior parte do estoque de produção pode ser entregue. Na curva da esquerda, talvez 40% dos LEDs passem. Dado que a maioria das empresas de hardware opera com uma margem bruta de cerca de 30 a 50 por cento, o desmantelamento de 40 por cento do material significaria o fim do negócio. Em tal situação, as únicas opções viáveis são gastar tempo e esforço para retrabalhar os LEDs até que passem ou diminuir o requisito de desempenho. O produto não teria a qualidade esperada, mas pelo menos o negócio poderia continuar operando.

## Tolerâncias a considerar

O objetivo do DFM é garantir que seu produto sempre seja aprovado e que você nunca se depare com a escolha desagradável de reduzir margens, diminuir os padrões de qualidade ou fechar o negócio. Mas há alguns aspectos componentes a serem considerados ao aplicar o DFM.

### TOLERÂNCIAS DE CI ELETRÔNICO

As tolerâncias de componentes passivos são as tolerâncias mais óbvias para projetar. Se o valor verdadeiro de um resistor puder ser +/-5 por cento de seu valor rotulado, certifique-se de que o resto do seu circuito possa lidar com os casos extremos.

Parâmetros da folha de dados de componentes ativos - como ganho de corrente ( $hFE$ ) para transistores bipolares, tensão limite ( $V_t$ ) para transistores de efeito de campo (FETs) e tensão de polarização direta ( $V_f$ ) para LEDs – também pode variar amplamente. Leia sempre a ficha técnica e observe os parâmetros com grande disparidade entre seus valores mínimo e máximo, diferença muitas vezes chamada de *spread mínimo-máximo*. Por exemplo, o min-max em  $hFE$

para 2N3904 da Fairchild varia de 40 a 300, e o V<sub>f</sub>em um LED super brilhante da Kingbright está entre 2 e 2,5V.

Deixando de lado a tensão nominal de operação, a classificação de tensão máxima de um componente é particularmente importante para capacitores e redes de entrada. Tento usar capacitores classificados para o dobro da tensão nominal; por exemplo, sempre que possível, uso capacitores de 10 V para trilhos de 5 V e capacitores de 6,3 V para trilhos de 3,3 V. Para entender o porquê, considere os dielétricos de capacitores cerâmicos, que reduziram a capacidade com o aumento da tensão. Em projetos que operam perto da tensão máxima de um capacitor cerâmico, a capacidade operacional desse componente estará no extremo negativo de sua faixa de tolerância. Também, *redes de entrada* (qualquer parte do circuito onde um usuário possa conectar algo) estão sujeitos a descargas eletrostáticas punitivas e outros abusos transitórios, portanto, preste atenção especial às classificações dos capacitores para alcançar a confiabilidade desejada.

Finalmente, depois de ter uma boa noção dos componentes que usará, preste muita atenção às larguras dos traços e às variações da pilha de camadas ao projetar seu PCB. Isso afetará sistemas que exigem impedância correspondente ou que lidam com correntes elevadas.

#### TOLERÂNCIAS MECÂNICAS

No entanto, as tolerâncias eletrônicas não são o fim das suas preocupações; as tolerâncias mecânicas também são importantes. Nem os PCBs nem os gabinetes sairão exatamente do tamanho certo, então projete seu gabinete com algum espaço de manobra. Se o design do seu gabinete tiver tolerância zero para as dimensões da PCB, na metade das vezes a fábrica forçará as PCBs nas caixas, quando a PCB for cortada um pouco grande ou a caixa sair um pouco pequena. Isso pode causar danos mecânicos não intencionais ao circuito ou à caixa.

E não se esqueça das manchas cosméticas! Qualquer produto fabricado está sujeito a pequenas manchas, como poeira presa em plásticos, pequenos arranhões, marcas de pia e abrasões. É importante definir os critérios de aceitação para

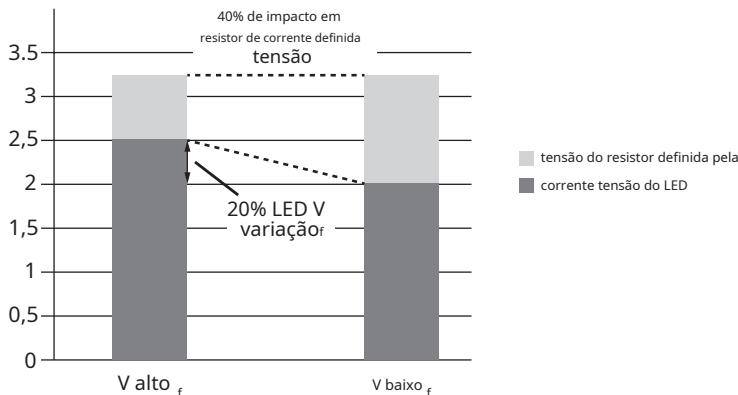
tais defeitos com a fábrica com antecedência. Por exemplo, você pode dizer à fábrica que uma unidade pode ser considerada “boa” se não tiver mais do que dois pontos maiores que 0,2 mm, nenhum arranhão maior que 0,3 mm e assim por diante. A maioria das fábricas terá um sistema específico adotado para descrever e fazer cumprir esses padrões. Se você discutir esses parâmetros com antecedência, a fábrica poderá elaborar o processo de fabricação para evitar tais defeitos, em oposição à alternativa mais cara de construir unidades extras e jogar fora aquelas que não atendem aos critérios impostos mais tarde no jogo.

É claro que evitar defeitos não é algo gratuito. Para manter seu produto mais barato, evite acabamentos de alto brilho e considere usar acabamentos foscos ou texturizados que escondam manchas naturalmente.

### **seguir o dfm ajuda seus resultados financeiros**

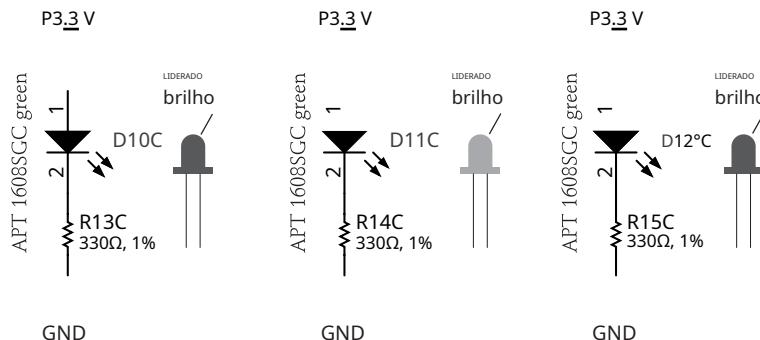
Para imaginar o DFM em um cenário do mundo real, retorne ao estudo de caso do pisca-pisca de segurança para bicicletas em “Como fazer uma lista de materiais” na página 74. Digamos que o projeto do protótipo exija um conjunto de três LEDs em paralelo, cada um com seu próprio resistor para definir a corrente. *Otensão de polarização direta, ou V<sub>f</sub>, de um LED com um determinado brilho pode variar talvez em 20% entre os dispositivos; neste caso, essa oscilação é de 2,0 a 2,5V.*

Um projeto que limita a corrente aos LEDs com resistores, chamado *limitação de corrente resistiva*, amplificará essa variação. Isso acontece porque um circuito eficiente reduziria uma minoria da tensão no resistor limitador de corrente, deixando o parâmetro que define a corrente (a queda de tensão no resistor) mais sensível à variação em V<sub>f</sub>. Como o brilho de um LED não é proporcional à tensão, mas sim à corrente que flui através dele, definir o brilho do LED com limitação de corrente resistiva pode causar inconsistências chocantes no brilho do LED.



*Comparando V alto e V baixo de LEDs*

Neste exemplo, um LED V de 20 por cento variação (de 2,0 V a 2,5 V, de acordo com a especificação do fabricante do LED) leva a uma mudança de 40 por cento na tensão através de um resistor definido por corrente para uma fonte fixa de 3,3 V. Isso causará uma mudança de 40% na corrente que flui através do LED. Como o brilho é diretamente proporcional à corrente, a mudança se manifesta como uma variação de até 40% no brilho percebido entre LEDs individuais. Um design como esse pode funcionar bem na maioria das vezes; o problema só seria pronunciado quando um V alto de uma unidade é observada próxima a um V baixo de outra unidade.



*Configurando a corrente para LEDs individuais usando resistores pode levar a variações dramáticas no brilho.*

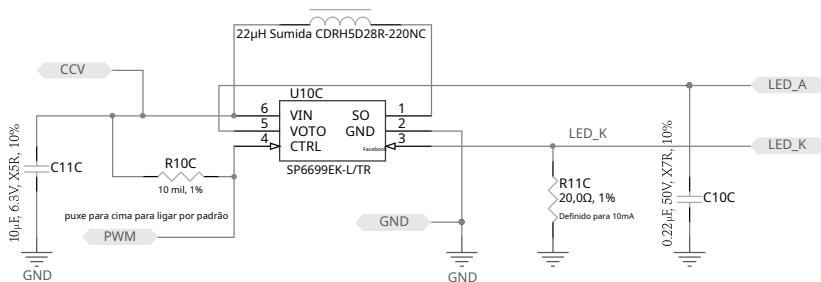
Uma ou duas unidades preparadas na bancada do laboratório durante o desenvolvimento podem ter parecido ótimas, mas na produção uma fração significativa pode ter problemas tão sérios de uniformidade de brilho que as unidades devem ser rejeitadas. Como a maioria das grandes empresas de hardware tem de sobreviver com margens reduzidas, perder até 10% dos produtos acabados devido a defeitos é um resultado terrível.

Uma opção provisória é retrabalhar as unidades com falha. Uma fábrica pode identificar um LED que seja muito fraco ou muito brilhante em um conjunto e substituí-lo por um que melhor corresponda aos seus grupos. Mas esse retrabalho aumentaria os custos e resultaria numa fatura inesperada e desagradável na 11<sup>a</sup> hora de um programa de produção. Designers ingênuos podem estar inclinados a culpar a fábrica pela má qualidade e discutir sobre quem deve arcar com os custos, mas é melhor evitar proativamente esses tipos de problemas, submetendo cada projeto a uma verificação DFM e usando um pequeno teste piloto para verificar a sanidade do rendimento. antes de perfurar um monte de unidades.

O custo das consequências do rendimento quantifica quanto dinheiro gastar em circuitos extras para compensar a variabilidade normal dos componentes. Por exemplo, um produto com valor de US\$ 10 *custo dos produtos vendidos (CPV)* que rende 80% de unidades boas tem um custo efetivo por unidade vendável de \$ 12,50, conforme calculado com esta fórmula:

$$\text{Custo efetivo} = \text{CPV} \times \frac{\text{total de unidades construídas}}{\text{unidades produzidas}}$$

Aumentar o CPV em US\$ 2,50 para melhorar o rendimento para 100% permitiria que você empatasse. Mas, usando a mesma fórmula, gastar US\$ 1 dólar extra em CPV para melhorar o rendimento para 99% melhoraria, na verdade, o resultado final em US\$ 1,38.



Um circuito para definir a corrente em três LEDs, criado aplicando DFM

No caso da luz de segurança para bicicletas, esse dinheiro poderia ser gasto em um IC regulador de aumento de feedback de corrente como o SP6699EK-L/TR, permitindo que os LEDs sejam empilhados em série em vez de paralelos. O projeto seria muito mais complicado e caro do que usar resistores individuais, mas garantiria que cada LED tivesse uma corrente consistente e idêntica fluindo através dele, acionando todos os três LEDs em um circuito em série com um circuito de feedback de corrente fixa. Isso praticamente eliminaria a variação de brilho. Embora o custo do regulador de reforço seja muito maior do que o centavo gasto em três LEDs limitadores de corrente, a melhoria no rendimento de fabricação mais do que compensa os custos extras dos componentes. Na verdade, esse truque é uma prática padrão para aplicações que exigem boa uniformidade de brilho dos LEDs, como na retroiluminação de painéis LCD. A retroiluminação típica de um telemóvel utiliza cerca de uma dúzia de LEDs, mas, graças a circuitos como este, nunca se vêem manchas claras ou escuras, apesar das grandes variações no V.entre os LEDs constituintes.

## O produto por trás do seu produto

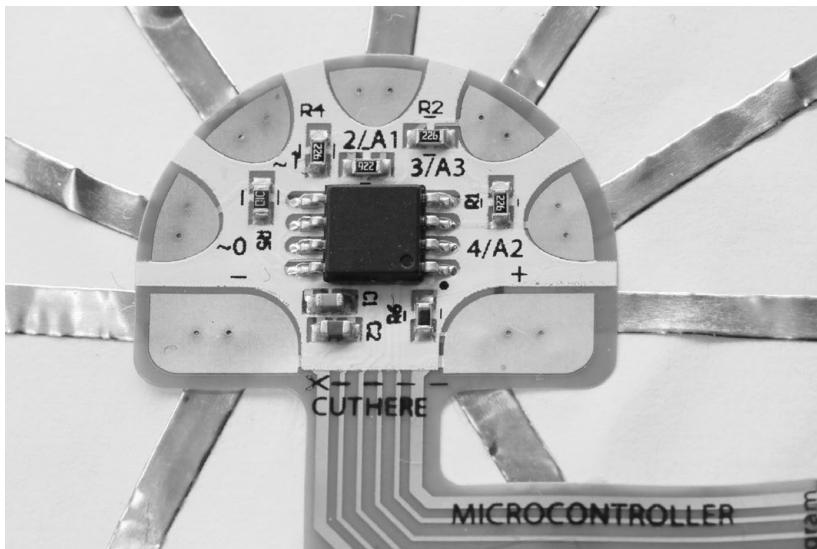
Além de lidar com tolerâncias, outra responsabilidade de projeto frequentemente negligenciada é o programa de testes. Uma fábrica só pode detectar os problemas que foi instruída a procurar. Portanto, cada

característica de um produto deve ser testada, não importa quão trivial seja. Por exemplo, em um dispositivo chumby, todos os recursos voltados para o usuário tiveram um teste de fábrica explícito, incluindo LCD, tela sensível ao toque, áudio, microfone, todas as portas de expansão (USB, áudio), bateria, botões, botões e assim por diante. Certifiquei-me de que até os botões mais simples fossem testados. Embora seja tentador pular o teste de componentes tão simples, garanto que qualquer coisa não testada levará a devoluções.

Gosto de chamar o testador de fábrica de “o produto por trás do seu produto”. Isso ocorre porque, em alguns casos, o testador de fábrica é mais complicado e mais difícil de projetar do que o produto que você está tentando vender. Isto é particularmente verdadeiro para produtos simples.

#### UM PROGRAMA DE TESTE REAL - MUNDIAL

Como estudo de caso, considere este adesivo de microcontrolador da Chibitronics, um projeto que discuto detalhadamente no Capítulo 8.



*Um circuito microcontrolador – em um adesivo*

Este circuito é muito simples: consiste apenas em um microcontrolador AVR de 8 bits e alguns resistores e capacitores.

(É também o mesmo produto mencionado no exemplo ECO na página 84.) Meu colaborador e eu esboçamos no Adobe Illustrator por cerca de dois dias antes de derivarmos a forma final para este produto. Depois passamos cerca de um dia em Altium projetando o circuito e cerca de uma semana codificando no Arduino IDE para criar seu firmware. Ao todo, o processo de desenvolvimento durou cerca de duas semanas. Para produção, o microcontrolador é emparelhado com um conjunto de sensores que podem processar som, luz e toque e, como resultado, o programa de teste é executado em todos os quatro ao mesmo tempo.



*A máquina de teste para o adesivo do microcontrolador Chibitronics*

O equipamento de teste mostrado consiste em um computador ARM de 32 bits rodando Linux com uma interface gráfica renderizada em um monitor HDMI. Por trás disso está um FPGA, alguns adaptadores eletrônicos para criar formas de onda analógicas para teste e um pogo-pin mecânico

montagem para pousar no adesivo. Dividindo o processo de design desta plataforma em suas partes componentes, gastamos:

- Vários dias projetando em Altium
- Uma semana de programação no Xilinx ISE para FPGA
- Algumas semanas hackeando drivers Linux
- Alguns meses inteiros hackeando em C++, para criar a estrutura de integração Qt
- Alguns dias no SolidWorks, para criar o aparato mecânico que manterá tudo unido

Ao todo, a criação do testador para o adesivo do microcontrolador levou mais de dois meses, em comparação com as duas semanas para criar o produto em si.

Por que passar por todo esse esforço? Porque tempo é dinheiro e defeitos e devoluções são caros para processar. O testador pode processar uma placa em menos de 30 segundos; e nesses 30 segundos, o testador tem que programar dois microcontroladores; testar sensores de luz, som e toque; e confirme a operação em 5V e 3V. Um teste manual para todas essas operações poderia exigir vários minutos de mão de obra qualificada e não seria tão confiável. Graças a este testador, processamos zero devoluções devido a material defeituoso. Além disso, a interface gráfica do testador torna muito fácil para a fábrica determinar exatamente qual ponto do circuito está falhando, facilitando o retrabalho rápido de qualquer material imperfeito.

#### GUÍA DEL INES PARA CRIAR UM PROGRAMA DE TESTE

Como regra geral, para cada produto que você fabrica, você está na verdade fabricando dois produtos relacionados: um para o usuário final e um teste para a fábrica. De muitas maneiras, o teste de fábrica deve ser tão fácil de usar e infalível quanto o próprio produto; afinal, os testes não são realizados por engenheiros elétricos. Mas os testes relacionados

O produto será muito mais rápido e rápido de construir se recursos de teste adequados forem projetados no produto de consumo.

E não, não terceirize o programa de testes para a fábrica, mesmo que a fábrica ofereça esse serviço. A fábrica muitas vezes não entende a intenção do seu projeto, então seus programas de teste serão ineficientes ou testarão o comportamento errado. As fábricas também têm um incentivo para passar o máximo de material possível, o mais rápido possível, de modo que seus programas de testes tendem a ser primitivos e inadequados.

Aqui estão algumas diretrizes a serem seguidas ao projetar seu próprio programa:

**esforce-se para obter 100% de cobertura de recursos.**

Não negligencie recursos simples ou secundários, como LEDs de status ou um sensor de tensão interno. Ao criar a lista de testes, adote uma abordagem “fora/dentro”. Primeiro, olhe para o produto de fora: liste todas as maneiras pelas quais o consumidor pode interagir com ele. Seu programa de teste aborda todas as superfícies de interação, mesmo que apenas superficialmente? Todos os LEDs estão acesos, todos os botões pressionados, todos os sensores estimulados e todos os dispositivos de memória tocados? Todos os pontos do seu material de marketing foram confirmados? Prometer uma sensibilidade RF de “classe mundial” é diferente de simplesmente anunciar a presença de um rádio. Depois, pense no interior: a partir do esquema, observe cada porta e considere os principais nós internos a serem monitorados. Caso o produto possua microcontrolador, revise quais drivers estão carregados para verificar a lista de testes e certifique-se de que nenhum componente seja esquecido.

**minimizar o esforço de configuração incremental.**

Otimize o tempo necessário para configurar o teste para cada unidade. Isso geralmente é feito por meio de gabaritos que empregam pinos pogo ou conjuntos de conectores pré-alinhados. Um teste que exige que um operador teste manualmente uma dúzia de pontos de teste com um

multímetro ou inserir uma dúzia de conectores é demorado e sujeito a erros. A maioria das fábricas na China pode ajudar a projetar o gabarito por um custo nominal, mas o projeto do gabarito é mais fácil e eficaz se o projeto em si já incluir pontos de teste adequados.

#### **automatizar o procedimento de teste em um fluxo linear.**

Um teste ideal é executado com um único toque de botão e produz um resultado de aprovação ou reprovação. Na prática, sempre existem pontos de parada que exigem intervenção do operador, mas tente não exigir muito. Por exemplo, não exija que um operador digite ou selecione um SSID de uma lista durante cada teste de conectividade Wi-Fi. Em vez disso, corrija o SSID do alvo de teste e codifique esse valor em um script de teste para que o ciclo de conexão seja automático.

#### **Use ícones e cores, e não texto, para se comunicar com os operadores.**

Nem todo operador tem garantia de ser alfabetizado em um determinado idioma.

#### **empregar registros de auditoria.**

Registre os resultados dos testes correlacionados aos números de série do dispositivo, incorporando um leitor de código de barras no equipamento de teste. Como alternativa, faça com que o dispositivo imprima um cupom com um código exclusivo com carimbo de data e hora ou um registro de auditoria armazenado localmente para comprovar quais unidades passaram no teste. Os registros ajudarão você a descobrir o que deu errado quando um consumidor devolve um produto com defeito e permitem verificar rapidamente se todos os produtos foram testados. Após um turno de testes de oito horas, um operador pode cometer erros, como colocar acidentalmente uma unidade defeituosa no recipiente “bom”. Ser capaz de verificar se cada produto enviado foi submetido e aprovado no teste completo pode ajudá-lo a identificar e isolar tais problemas.

### **Fornece um mecanismo de atualização fácil.**

Como qualquer programa, os programas de teste apresentam bugs. Os testes também precisam evoluir à medida que seu produto é corrigido e atualizado. Tenha um mecanismo para atualizar e corrigir programas de teste sem visitar pessoalmente a fábrica. Muitos dos meus equipamentos de teste podem “ligar para casa” por meio de uma VPN, e posso usar SSH no próprio gabarito para corrigir bugs. Até meu gabarito mais simples emprega um laptop Linux (ou equivalente) em sua essência. Isso ocorre em parte porque o Linux é mais fácil de atualizar e manter do que um microcontrolador personalizado que requer um adaptador especial para atualizações de firmware.

Essas diretrizes são fáceis de implementar se o seu produto for projetado tendo em mente a testabilidade. A maioria dos produtos que projeto roda Linux e uso o processador dentro do próprio produto para executar a maioria dos testes e ajudar a gerenciar a interface do usuário de teste. Para produtos que não possuem superfícies de interação do usuário, um telefone Android ou um laptop conectado via Wi-Fi ou serial pode ser usado para renderizar a interface do usuário de teste.

### **Teste vs. validação**

Os testes de produção destinam-se a verificar erros de montagem, não variações paramétricas ou problemas de design. Se um teste estiver filtrando dispositivos devido a variações normais de componentes paramétricos, comre componentes melhores ou refaça seu projeto.

Para produtos de consumo, você não precisa executar um teste abrangente de RAM de cinco minutos em cada unidade. Em teoria, seu produto deve ser projetado bem o suficiente para que, se tudo estiver soldado corretamente, a RAM faça seu trabalho. Um teste rápido para verificar se não há pinos de endereço presos ou abertos costuma ser suficiente. Os fornecedores de chips de marca normalmente apresentam defeitos muito baixos, portanto você não está validando o silício; em vez disso, você está validando as juntas de solda e os conectores e verificando se há componentes ausentes ou trocados. (Mas se você comprar um clone

chips ou dispositivos sem marca, remarcados ou parcialmente testados para reduzir custos, recomendo fazer um mini programa de validação para esses componentes.)

#### VA LI DATANDO UM SW I TCH

Para ilustrar a diferença entre teste de produção e validação, vejamos como ambos podem funcionar para um switch.

Um teste de produção para um interruptor pode simplesmente pedir ao operador para apertar o interruptor algumas vezes e verificar se a sensação está correta e se o contato elétrico é feito através de um simples indicador digital. Um teste de validação, por outro lado, pode envolver a seleção aleatória de alguns dispositivos, medindo a resistência do contato da chave com um multímetro com precisão de cinco dígitos significativos (também chamado de *multímetro de cinco dígitos*), submetendo os dispositivos à umidade e temperatura elevadas por alguns dias e, em seguida, colocando os dispositivos em um gabinete automatizado que aciona os interruptores 10.000 vezes. Finalmente, você pode medir novamente a resistência do contato da chave com um multímetro de cinco dígitos e observar qualquer degradação na resistência do contato no estado fechado.

Claramente, este nível de validação não pode ser realizado em todos os dispositivos fabricados. Em vez disso, o programa de validação avalia o desempenho do switch durante a vida útil esperada do produto. O teste de produção, por outro lado, apenas garante que o switch esteja montado corretamente.

**observação** É uma boa prática executar novamente os testes de validação em algumas unidades amostradas aleatoriamente em cada milhares de unidades produzidas. Existem fórmulas e tabelas que você pode usar para calcular a quantidade de amostragem necessária para atingir um determinado nível de qualidade; basta pesquisar online por “tabela de teste de validação de fabricação”.

Mas quantos testes são suficientes? Você pode derivar um limite para teste por meio de um argumento de custo. Cada teste adicional incorre em custos de equipamento, custos de engenharia e

custo variável do tempo de teste. Como resultado, os testes estão sujeitos a retornos decrescentes: em algum momento, é mais barato simplesmente devolver o produto do que testar mais. Naturalmente, a fasquia dos testes é muito mais elevada para equipamentos médicos ou de nível industrial, uma vez que a responsabilidade associada a equipamentos defeituosos também é muito mais elevada. Da mesma forma, um produto novo destinado a ser doado pode precisar de muito menos testes.

#### PROJETANDO SEU JIG DE TESTE

Um pensamento final: sempre aplique engenharia sólida ao projeto do seu gabarito de teste. Quando trabalhei no chumby 8, houve um problema em que um adaptador de cabo flexível plano de 50 pinos exibia falhas aleatórias na junta de solda a frio. Pedi à fábrica que construísse um teste para validar os adaptadores. A solução deles foi pendurar LEDs em cada pino do adaptador, aplicar uma tensão de teste em um lado do cabo e procurar LEDs que não acendessem no outro lado. As juntas de solda fria não estavam simplesmente abertas ou fechadas; alguns apenas tinham alta resistência. Fluiria corrente suficiente para acender um LED, mas também haveria resistência suficiente para causar uma falha no projeto.

A fábrica propôs comprar 50 multímetros e fixá-los em cada pino para verificar manualmente a resistência, o que seria caro e sujeito a erros. Não é razoável esperar que um operador olhe para 50 monitores centenas de vezes por dia e seja capaz de encontrar com segurança os números fora das especificações. Em vez disso, optei por encadear as conexões através do adaptador e usar um único multímetro para verificar a resistência líquida da ligação em série. Ao colocar as conexões em série, pude verificar todas as 50 conexões com uma única medição numérica, em oposição à observação subjetiva do brilho de um LED.

Como este caso ilustra, existem boas e más maneiras de implementar até mesmo um teste tão simples como verificar juntas de solda fria em um adaptador de cabo. Componentes cada vez mais complicados

exigem testes cada vez mais sutis, e há valor real em usar habilidades de engenharia para criar testes eficientes, porém infalíveis.

## ENCONTRANDO EQUILÍBRIO NO DESIGN INDUSTRIAL

Mesmo que seu produto passe com louvor em todos os testes de validação, ele ainda poderá não ter sucesso se os consumidores não o desejarem. Lembre-se: sexo vende. Dentro de um fator de dois ou mais, o desempenho de uma CPU ou a quantidade de RAM em uma caixa é menos importante para um consumidor típico do que a aparência do dispositivo. Os dispositivos Apple alcançam um alto valor, em parte por causa de seu design industrial elegante, e muitos designers de produtos pretendem imitar o sucesso de Sir Jonathan Ive, diretor de design da Apple, em seus próprios produtos.

Existem muitas escolas de pensamento em *desenho industrial*, o processo de projetar a aparência de um produto antes de realmente fabricá-lo. Uma escola invoca o designer monástico, que cria um conceito belo e puro, e os engenheiros de produção, que estragam a pureza do design quando o ajustam para obter funcionalidade. Outra escola invoca o designer pragmático, que trabalha em estreita colaboração com engenheiros de produção para chegar a acordos difíceis para produzir um design barato e de alto rendimento.

Na minha experiência, nenhum dos extremos é convincente. A abordagem monástica muitas vezes resulta em um produto não manufaturado que chega tarde ao mercado ou é caro para produzir. A abordagem pragmática muitas vezes resulta num produto que parece tão barato que os consumidores têm dificuldade em atribuir-lhe um valor significativo. O verdadeiro truque é entender como encontrar um equilíbrio entre os dois, e isso começa entrando na fábrica e entendendo como as coisas são feitas. Aqui estão alguns exemplos do que aprendi sobre como diferentes processos de fábrica afetam esse equilíbrio, desde Chumby e Arduino.

## O gordinho é aparado e acabado

O acabamento e o acabamento são difíceis, o que os torna pontos de distinção na aparência de um produto. Quando trabalhei na Chumby, queríamos que o produto final tivesse um acabamento minimalista e honesto. (*Acabamentos honestos* apresentam as propriedades naturais dos sistemas de materiais em jogo e evitam o uso de tintas e decalques.) Os designs minimalistas são muito difíceis de fabricar porque, com menos recursos, até mesmo pequenas manchas se destacam. Acabamentos honestos também podem ser difíceis, pois todas as brocas, portões, pias, malhas, marcas e linhas de fluxo que são fatos da vida na fabricação são expostas diante do consumidor. Como resultado, esta escola de design exige ferramentas de fabricação bem feitas que sejam constantemente verificadas e mantidas durante toda a produção.

Se você não tiver recursos suficientes para investir em novos equipamentos e capacidades em nome de sua fábrica (ou seja, se você não for um *Fortuna 500*), o primeiro passo é aprender o vocabulário disponível. *Avocabulário de design* definido pelas capacidades da fábrica ou fábricas que produzem os produtos, como quais materiais você pode obter, qual acabamento é possível, quais tolerâncias são alcançáveis e qual tecnologia de fixação existe. Tudo isso depende muito dos processos disponíveis em sua fábrica.

Portanto, acho que visitar pessoalmente uma fábrica no início do processo de design resulta em um design melhor. Após uma visita à fábrica, você descartará algum vocabulário de design, mas também descobrirá um novo vocabulário. Os engenheiros que trabalham diariamente na fábrica desenvolvem inovações de processo que podem abrir novas possibilidades de design que você não descobrirá a menos que visite.

O chumby One é um exemplo concreto do impacto que os processos de fabricação podem ter no resultado do projeto. Na arte conceitual original, um destaque azul foi adicionado ao redor da borda frontal para lembrar um balão de fala, como aqueles usados em

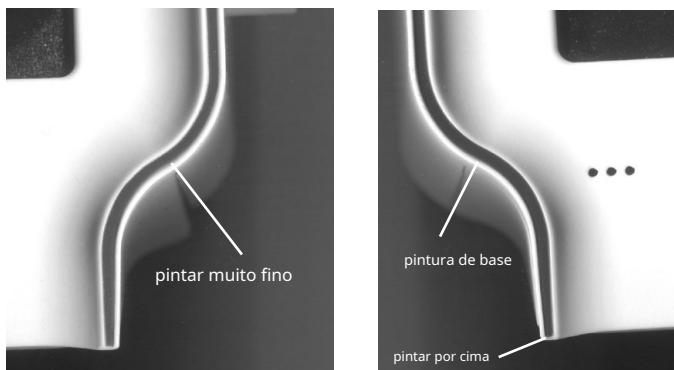
tirinhas. A ideia era que o gordinho legendasse seu mundo com trechos da internet.



*Uma unidade gordinha acabada*

Mas aplicar um acabamento azul em uma superfície elevada era muito difícil. A primeira fábrica usava tinta, porque a borda frontal não era plana o suficiente para tornar a serigrafia uma opção. *Tampografia* (também conhecido como *tampografia*, um processo no qual a tinta é transferida de uma almofada de silicone para um objeto) pode lidar com superfícies curvas, mas o alinhamento da saliência no Chumby One não era bom o suficiente, e o menor vazamento de tinta na borda parecia terrível visto de lado. Decalques e adesivos também não conseguiram atingir o alinhamento que queríamos. Ao final, foi esculpido um pequeno canal para conter a tinta, e a fábrica criou o destaque com estêncil e tinta spray.

O rendimento foi terrível. Em alguns lotes, mais de 40% das caixas Chumby One foram jogadas fora devido a erros de pintura. Felizmente, o plástico é barato, então jogar fora todas as outras caixas após a pintura teve um impacto no custo líquido de cerca de US\$ 0,35.



*Duas unidades gordinhos com pintura ruim*

No meio da produção, começamos a produzir unidades Chumby One em uma instalação de segunda fonte. A segunda fábrica tinha diferentes equipamentos de moldagem de plástico e, ao contrário da primeira fábrica, esta instalação poderia fazer *moldes de dose dupla*. Um molde de injeção dupla envolve o dobro do número de ferramentas de um molde de injeção de injeção única, mas pode moldar por injeção duas cores diferentes, ou até mesmo dois materiais diferentes, no mesmo molde. Na nova fábrica, tentamos um processo de injeção dupla em vez de pintar a fina faixa azul.

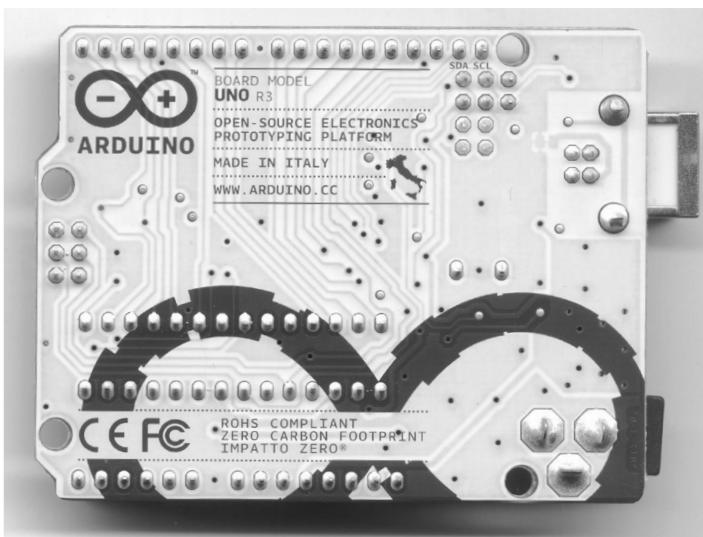


*Um cume perfeito e gordinho, do processo de molde de injeção dupla*

Os resultados foram impressionantes. Cada unidade saiu da linha com uma linha azul nítida e nenhuma pintura significava um acabamento mais limpo e honesto. Mas o custo por caixa saltou para US\$ 0,94 cada com o processo mais caro, apesar do rendimento de 100%. Teria sido mais barato jogar fora mais da metade das caixas pintadas, mas mesmo as melhores caixas pintadas não se comparavam à qualidade do acabamento fornecido pela ferramenta de duplo disparo.

## A arte da serigrafia do arduino Uno

Outro ótimo exemplo de como ajustar um processo de fábrica pode melhorar a aparência de um produto é a placa-mãe Arduino. A arte maravilhosamente detalhada no verso, exibindo um contorno da Itália e letras muito finas, não é serigrafia. A fábrica que fabrica essas placas coloca duas camadas de máscara de solda: uma azul e outra branca.



*A parte inferior de um Arduino Uno R3*

Quando as placas Arduino são fabricadas, a máscara de solda é aplicada por meio do processo fotolitográfico que descrevi em “Onde nascem os Arduinos” na página 44. Esse processo resulta em obras de arte com resolução, consistência e qualidade muito melhores.

e alinhamento do que uma serigrafia. E como a aparência do Arduino é a placa de circuito, essa arte dá ao produto uma aparência distinta e de alta qualidade que é difícil de copiar usando métodos de processamento convencionais.

Assim, a capacidade do processo de uma fábrica (seja pintura versus moldagem dupla, ou dupla máscara de solda versus serigrafia) pode ter um efeito real na qualidade percebida de um produto, sem um enorme impacto no custo. A fábrica, entretanto, pode não apreciar todo o potencial de seus processos e, até que um projetista interaja diretamente com a instalação, seu produto também não poderá aproveitar esse potencial.

Infelizmente, muitos designers não visitam uma fábrica até que algo dê errado. Nesse ponto, as ferramentas são cortadas e, mesmo que você descubra um processo interessante que possa resolver todos os seus problemas, muitas vezes é tarde demais.

### **meu processo de design**

O design é uma atividade intensamente pessoal e, como resultado, cada designer desenvolverá o seu próprio processo. Se você precisar de uma estrutura para desenvolver a sua própria, no entanto, este é o processo geral que posso usar para desenvolver um produto com um orçamento inicial apertado:

1. Comece com um caderno de desenho. Decida a alma e a identidade do design e escolha um sistema de materiais e um vocabulário que se adapte ao seu conceito. Mas não se apaixone por isso, porque pode ter que mudar.
2. Divida o projeto por sistema de materiais e identifique uma fábrica capaz de produzir cada sistema de materiais.
3. Visite as instalações e observe o que realmente está acontecendo nas linhas de produção. Não presuma nada com base nas unidades únicas da sala de amostra. A prática leva à perfeição e, dos operadores aos engenheiros, os trabalhadores da fábrica executam procedimentos que executam diariamente muito melhor do que executariam uma capacidade misteriosa que não usam com frequência.

4. Reavalie seu projeto com base em uma nova compreensão do que é possível na fábrica e repita. Volte para a etapa 1 se pequenos ajustes não forem suficientes. Este é o estágio em que é mais fácil fazer concessões sem sacrificar a pureza do seu design.
5. Esboce os detalhes do seu design. Escolha superfícies deslizantes, linhas divisórias onde as peças da caixa se encaixam, acabamentos, sistemas de fixação e assim por diante, com base no que a fábrica pode fazer de melhor.
6. Envie um desenho revisado para a fábrica e trabalhe com eles para finalizar detalhes como ângulos de inclinação, superfícies de fixação, nervuras internas e assim por diante.
7. Valide o projeto usando uma impressão 3D e verificações extensivas do modelo 3D.
8. Identifique recursos propensos a erros de tolerância e ajuste a ferramenta de fabricação inicial para que a tolerância favoreça modificações que ajudarão você a minimizar alterações dispendiosas na ferramenta. Por exemplo, considere a moldagem por injeção, onde uma ferramenta de aço é o negativo do plástico que está sendo moldado. Remover aço de uma ferramenta (adicionar plástico) é mais fácil do que adicionar aço (remover plástico), portanto, direcione o teste inicial para usar mais aço em dimensões críticas, em vez de muito pouco. Um botão é um mecanismo que se beneficia de ajustes como este: prever exatamente como será a sensação de um botão a partir de impressões CAD ou 3D é difícil, e aperfeiçoar a sensação tátil geralmente requer um pequeno corte da ferramenta.

É claro que esse processo não é um conjunto de regras rígidas a serem seguidas. Talvez seja necessário adicionar ou repetir etapas com base na sua experiência com sua fábrica, mas se você escolher uma boa fábrica, este deve ser um bom ponto de partida.

## **Escolhendo (e mantendo) um Parceiro**

Assim como as varinhas de *Harry Potter*, uma boa fábrica escolhe você tanto quanto você escolhe, então esqueça o termo *fornecedor* substitua-o por *parceiro*. Se você estiver fazendo certo, não estará simplesmente instruindo a fábrica; deve haver um diálogo franco sobre os compromissos envolvidos e como o processo de produção pode ser melhorado. Essa é a única maneira de obter o melhor produto possível.

Um relacionamento saudável com uma fábrica também pode levar a melhores condições de pagamento, o que melhora o seu fluxo de caixa. Em alguns casos, o crédito à fábrica pode substituir diretamente a obtenção de capital de risco, a obtenção de empréstimos ou a obtenção de financiamento no Kickstarter. Como resultado, trate as boas fábricas com o mesmo respeito que os investidores e parceiros de um negócio. Para ter uma ideia do que isso significa, aqui vêm algumas dicas de como escolher e trabalhar com sua fábrica.

### **Dicas para estabelecer um relacionamento com uma fábrica**

Primeiro, escolha a fábrica do tamanho certo para o seu produto. Se você trabalha com uma fábrica muito grande, corre o risco de se perder na burocracia e ser expulso da linha de produção por clientes maiores em momentos críticos. Trabalhe com uma fábrica muito pequena e ela não conseguirá prestar os serviços que você precisa. Como regra, escolha a maior instalação onde posso obter acesso direto ao *proibição do Laos* (chefes da fábrica) regularmente, porque se você não consegue falar com o chefe, você não é ninguém. É um bom sinal se a proibição do Laos estiver presente na primeira reunião para fazer um tour e fazer perguntas astutas sobre o seu negócio durante o almoço.

Em segundo lugar, siga o ditado “A luz solar é o melhor desinfetante”. Se uma fábrica não cotar com uma lista técnica aberta, onde o custo de cada componente, processo e margem é explicitamente divulgado, não trabalharei com ela. As discussões sobre redução de custos não podem

funcionar sem transparência, porque, de outra forma, há demasiados lugares para enterrar custos. Da mesma forma, se as discussões sobre custos se transformarem em um jogo de pancadaria, onde custos reduzidos em um item de linha estão inexplicavelmente surgindo em outro, fuja.

Esta dica final se aplica principalmente a startups. Nos estágios iniciais, todos sabem que seus estoques de dinheiro são finitos. Mesmo que você tenha acabado de fechar uma grande rodada de financiamento, entrar arrogantemente em uma fábrica com sacos de dinheiro não é uma abordagem sustentável. As fábricas inteligentes sabem que os seus fornecimentos de dinheiro são limitados, e se o maior valor que se propõe trazer para a fábrica são pilhas de dinheiro, o seu valor é limitado; na melhor das hipóteses, não terá retorno até anos depois, quando o produto for enviado em grandes volumes. Como resultado, é útil tentar agregar valor à fábrica de formas não monetárias.

Por mais bobo que pareça, ser uma pessoa agradável e construtiva ajuda muito a obter o favor de suas instalações. A manufatura é um negócio de alto estresse e baixa margem, e todos nas instalações precisam lidar com problemas difíceis o dia todo. Descobri que obtenho um serviço melhor – ainda melhor do que os clientes com recursos financeiros mais elevados – se tratar as minhas fábricas como trataria um conhecido amigo, e não como trabalho escravo ou um mero subcontratado. Erros acontecem, e ser capaz de transformar uma situação ruim em uma experiência de aprendizado irá beneficiá-lo no dia em que cometer um erro estúpido (e talvez caro).

## Dicas sobre cotações

Deixando a abertura de lado, saiba que se uma citação parece boa demais para ser verdade, muitas vezes é. Ao negociar preços com uma fábrica, dê um passo atrás e verifique se a cotação faz sentido. As fábricas que perdem dinheiro num acordo não se deterão perante nada para recuperá-lo, e muitas histórias de terror na indústria transformadora têm raízes em estruturas de custos pouco saudáveis. A primeira prerrogativa de uma fábrica é a sobrevivência, mesmo que isso signifique misturar unidades defeituosas em lotes para aumentar

margem ou designar engenheiros novatos para um projeto em declínio para melhor monetizar seus engenheiros experientes em clientes mais lucrativos.

Ao avaliar uma cotação, certifique-se de que ela inclua o seguinte:

- O preço de cada peça
- O excesso de material para o trabalho devido *quantidades mínimas de pedido (MOQs)*
- Custos trabalhistas
- O custo indireto da fábrica
- *Engenharia não recorrente (NRE)*tarifas

Vejamos alguns desses itens em detalhes.

#### DE OLHO NO EXCESSO

*Excesso*é o resultado do que chamo de problema dos “cachorros-quentes e pães”. Os cachorros-quentes vêm em embalagens de 10, mas os pães vêm em embalagens de 8. A menos que você compre 40 porções, você terá sobras de pães ou cachorros-quentes.

Da mesma forma, muitos componentes vêm apenas em bobinas de 3.000 peças. Uma construção de 10.000 peças requer 4 rolos para um total de 12.000 peças, deixando 2.000 peças em excesso. As fábricas podem comprar peças em fita cortada ou em bobinas parciais, mas o custo por peça de fita cortada é muito maior, pois o risco de o excesso de material ser transferido para o distribuidor.

Porém, o excesso não é de todo ruim: ele pode ser incorporado em futuras execuções de um produto. Contanto que seu produto mantenha uma taxa de produção decente, o excesso de estoque de componentes deverá se transformar em dinheiro regularmente. Em algum momento, porém, a produção terminará ou será interrompida, e a conta do excesso chegará, prejudicando o fluxo de caixa. Se a cotação não tiver coluna em excesso, a fábrica poderá cobrar pela bobina completa, mas ficará com o excesso para seus próprios fins; é aqui que muitos do mercado cinza

as mercadorias em Shenzhen vêm. Eles também podem simplesmente enviar uma fatura inesperada no futuro, que muitas vezes chega no pior momento possível - a receita do produto já cessou, mas as contas continuam chegando. modelo de negócios mortal.

#### DIGURANDO OS CUSTOS DE TRABALHO

Os custos laborais são terrivelmente difíceis de estimar, mas a boa notícia é que, para montagens de alta tecnologia, a mão-de-obra representa normalmente uma pequena fração do custo total. O custo de mão-de-obra para montar pequenos volumes de uma placa simples com 200 peças pode ser de cerca de US\$ 2 ou US\$ 3 na China, enquanto o custo de montagem nos Estados Unidos está próximo de US\$ 20 ou US\$ 30. Mesmo que os preços do trabalho dupliquem da noite para o dia na China e caiam para metade nos Estados Unidos, a China ainda poderá ser competitiva.

Isto contrasta com os bens de menor valor que saem da China (como os têxteis), onde o valor base da matéria-prima já é baixo, pelo que os custos laborais constituem uma parte significativa do custo do produto final. Normalmente não discuto muito sobre os custos laborais, uma vez que o resultado final da redução da mão-de-obra é muitas vezes uma qualidade inferior, e pressionar demasiado os custos laborais pode forçar a fábrica a reduzir a qualidade de vida dos trabalhadores, reduzindo os benefícios.

#### A sobrecarga da fábrica

Negociar a margem da fábrica também é uma arte e não existem regras rígidas. Darei orientações aqui, mas sempre há exceções à regra, e cada fábrica pode fazer um acordo especial para você dependendo das circunstâncias. Em última análise, é importante ter uma visão geral ao revisar a cotação de uma fábrica e usar o bom senso.

O que constitui uma margem justa para uma fábrica depende de quanto valor ela agrega ao seu produto e do volume de produção. A definição de "margem" também varia dependendo da instalação. Algumas instalações incluem sucata, manuseio de despesas gerais,

e até mesmo despesas de pesquisa e desenvolvimento na margem, enquanto outros podem dividir-las em linhas separadas.

Em geral, a margem varia entre porcentagens de um dígito e baixas de dois dígitos, dependendo do volume, do valor agregado e da complexidade do projeto. Para lotes de produção de quantidade muito baixa (menos de 1.000 peças), também poderá ser cobrado um valor por lote *taxa de linha*. Essa taxa cobre parcialmente o custo de instalação de uma linha de montagem, apenas para desmontá-la depois de algumas horas. O rendimento de uma linha pode ser muito rápido, produzindo centenas a milhares de unidades por dia, mas também leva dias para ser configurada.

#### CUSTOS NÃO RECORRENTES DE ENGENHARIA

Os custos de NRE são taxas únicas exigidas para configurar uma execução de produção, como estêncis, programação SMT, gabinetes e equipamentos de teste. Observe que a reutilização de equipamentos de teste entre clientes é considerada uma má prática; se um multímetro for necessário como parte de um teste de produção, não se surpreenda se a nota fiscal de um multímetro for colada no NRE. Os clientes têm padrões que variam drasticamente em relação à manutenção e ao uso de equipamentos de teste, portanto, boas fábricas não se arriscam com isso.

### **conselhos diversos**

Com quem você pode conversar e quanto aberta a fábrica é em relação aos custos são certamente preocupações importantes, mas com a experiência você aprenderá muito mais sobre como lidar com fábricas que não se enquadram em nenhuma categoria específica. Para encerrar, aqui estão mais alguns pontos importantes que você deve ter em mente ao selecionar uma fábrica.

#### SCR AP E RENDIMENTO

Idealmente, você pagaria a uma fábrica apenas pelos itens bons e entregues, e a fábrica arcaria com o ônus das unidades defeituosas. Isto dá à fábrica um incentivo para manter uma elevada qualidade de produção, porque cada percentagem de defeitos corrói a sua margem. Mas se o seu projeto tiver uma falha ou for muito difícil de construir, e o defeito for alto, a fábrica pode começar a enviar

unidades de qualidade inferior como uma medida desesperada para cumprir as metas de produção e margem. Também poderá começar a vender produtos defeituosos no mercado paralelo para recuperar custos, levando a problemas de reputação da marca no futuro.

Para evitar situações como essa, chegue a um acordo com a fábrica com antecedência sobre como lidar com unidades sucateadas ou perdas excepcionais de rendimento. Isso pode incluir, por exemplo, um item de linha dedicado de “sucata” dentro da cotação para lidar explicitamente com defeitos.

#### ENCOMENDE MAIS UNIDADES DO QUE A DEMANDA COMPROVADA

Apesar dos melhores esforços de todos, erros acontecerão, os clientes receberão dispositivos ruins e você precisará de unidades extras de trabalho para devoluções e trocas. Encomendar 1.000 peças para cumprir uma campanha Kickstarter de 1.000 peças significa que se os clientes quiserem devolver ou trocar unidades que foram quebradas no envio, tudo o que você pode fazer é emitir reembolsos. Simplesmente não é prático acionar a fábrica para fabricar uma dúzia de unidades de reposição.

Como regra geral, encomendo alguns por cento a mais além do número de unidades que preciso entregar aos clientes, para ter estoque em mãos para lidar com devoluções e trocas. As unidades que não são usadas pelo processo de devolução podem ser transformadas em empréstimos de demonstração ou brindes de desenvolvimento de negócios para angariar o próximo conjunto de pedidos!

#### O ENVIO CUSTA DINHEIRO

Fique de olho nos custos de envio. Essas taxas normalmente não estão incluídas na cotação de uma fábrica, mas impactam seus resultados financeiros, ainda mais para produtos de baixo volume. O envio FedEx é uma ótima maneira de economizar tempo, mas também é muito caro. As taxas de correio podem facilmente eliminar o lucro de um projeto pequeno, portanto, gerencie esses custos.

**observação** *Os transportadores oferecem descontos para remetentes frequentes, mas você precisa ligar para negociar as tarifas especiais.*

#### FATOR NAS DEVERES DE IMPORTAÇÃO

Os componentes importados para a China sem licença de importação são cobrados com uma taxa obrigatória de aproximadamente 20% sobre o seu valor. A regra geral para a China é tributável na importação e isenta de impostos na exportação. Se algo for accidentalmente enviado através da fronteira para Hong Kong, espere pagar uma taxa para devolvê-lo à China também.

Peça a um despachante aduaneiro para trabalhar em ângulos para economizar dinheiro; por exemplo, alguns corretores podem fazer com que as mercadorias sejam tributadas pelo seu peso e não pelo seu valor, o que para a microeletrônica é normalmente um bom negócio. Ainda não descobri todas as regras alfandegárias, pois parecem ser um alvo móvel. Todo mês parece que há uma nova regra, multa, taxa excepcional ou tarifa a ser tratada. Existem também muitas formas duvidosas de levar mercadorias para a China, mas durmo melhor à noite sabendo que faço o meu melhor para cumprir todas as regras.

As cotações não incluem taxas, porque as fábricas assumem por padrão que você terá uma licença de importação. As licenças de importação permitem a importação de mercadorias com isenção de impostos. Mas as licenças de importação custam alguns milhares de dólares, levam semanas para serem processadas e não têm espaço para flexibilidade, pois estão vinculadas a uma lista técnica exata do produto. Pequenos pedidos de alteração de engenharia podem invalidar uma licença de importação. Conheço funcionários da alfândega que contam o número de limites de desacoplamento em um PCB e, se não corresponder à contagem da licença, será aplicada uma multa e a licença será invalidada. Mesmo desvios no material utilizado para forrar uma caixa decorativa podem invalidar a licença. Em suma, este regime de licenças de importação favorece produtos de grande volume e pune os produtores de baixo volume, por isso aja com cautela.

#### ENCERRANDO PENSAMENTOS

Ir para a China para fabricar claramente não é para todos. Especialmente se você estiver nos Estados Unidos, as despesas gerais com taxas de correio, viagens, deveres e teleconferências noturnas aumentam rapidamente. Como regra geral, uma pequena empresa sediada nos EUA

muitas vezes é melhor montar PCBs nos Estados Unidos para volumes abaixo de 1.000 unidades, e você não começará a ver vantagens claras até volumes de talvez 5.000 a 10.000 unidades.

Essa matemática muda a favor da China à medida que processos como moldagem por injeção e montagem de chassis entram em jogo, devido à experiência que as fábricas chinesas têm nestes processos de mão-de-obra intensiva. O ponto de equilíbrio também pode ser muito menor se você mora na China ou perto dela, já que as taxas de correio, as viagens e o impacto do fuso horário são uma pequena fração do que seriam nos Estados Unidos. Isto se soma ao fato de que os habitantes locais são mais eficazes no aproveitamento do ecossistema de componentes na China, levando a maiores reduções de custos em comparação com um design produzido usando apenas peças dos EUA.

Por outro lado, conjuntos ou sistemas fisicamente grandes construídos com muitos componentes sujeitos a impostos podem ser mais baratos de construir no mercado interno, uma vez que pouparam em custos de envio e tarifas. No final, mantenha a mente aberta e tente considerar todos os possíveis custos e benefícios secundários da produção nacional versus estrangeira antes de decidir onde estacionar a produção.