

Paul A.
LONGLEY

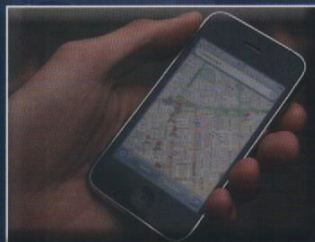
Michael F.
GOODCHILD

David J.
MAGUIRE

David W.
RHIND

3ª EDIÇÃO

SISTEMAS E CIÊNCIA DA
INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA



1.1 Introdução: Por que os SIG são importantes?

Quase tudo que acontece, acontece em algum lugar. Nós humanos restringimos nossas atividades geralmente à superfície ou às proximidades da superfície da Terra. Viajamos sobre ela, bem como nas camadas inferiores da atmosfera, e andamos em túneis escavados logo abaixo da superfície. Cavamos valas e enterramos dutos e cabos, construímos minas para chegar às jazidas minerais e perfuramos poços para acessar petróleo e gás. Ter controle de toda essa atividade é importante e conhecer onde ela ocorre pode ser a base mais conveniente para seu controle. Saber o local onde algo acontece pode ser criticamente importante, caso se queira ir ou enviar alguém até lá, ou para encontrar outra informação sobre o mesmo lugar, ou mesmo para informar algo à população que mora nas proximidades. Adicionalmente, as decisões têm consequências geográficas. Por exemplo, adotar uma fórmula especial de financiamento cria vencedores e perdedores geográficos, o que é mais claro quando o resultado é igual a zero. Por isso, a localização geográfica é um importante atributo de atividades, políticas, estratégias e planos. Os sistemas de informação geográfica (SIG) são uma classe especial de sistemas de informação que controlam não apenas eventos, atividades e coisas, mas também onde esses eventos, atividades e coisas acontecem ou existem.

Quase tudo que acontece, acontece em algum lugar. Saber o local onde algo acontece pode ser fundamental.

Como a localização é tão importante, ela é uma das várias questões a serem resolvidas pela sociedade. Alguns desses problemas são tão rotineiros que nos passam quase despercebidos – a questão diária do caminho a tomar para ir e voltar do trabalho, por exemplo. Outras são ocorrências extraordinárias e requerem respostas rápidas, organizadas e coordenadas de um amplo conjunto de indivíduos e órgãos – tal como os eventos de 29 de agosto de 2005 em New Orleans (Quadro 1.1). Problemas que envolvem um aspecto de localização, seja na informação usada para resolvê-lo ou na solução propriamente dita, são denominados problemas geográficos. Aqui estão alguns exemplos adicionais:

- Gestores de saúde solucionam problemas geográficos (e talvez criem outros) quando decidem onde localizar novas clínicas ou hospitais.
- Empresas de entregas expressas solucionam problemas geográficos diariamente ao decidirem as rotas e os horários de seus veículos.

- Autoridades de transporte resolvem problemas geográficos quando selecionam rodovias para se transformarem em autoestradas.
- Consultores geodemográficos resolvem problemas quando avaliam a performance de pontos de venda e recomendam onde expandir ou racionalizar a rede de lojas.
- Companhias de silvicultura resolvem problemas geográficos quando determinam como melhor gerenciar as florestas, onde cortar, onde local estradas e onde plantar novas árvores.
- Gestores de parques nacionais resolvem problemas geográficos quando estabelecem um cronograma de manutenção e melhoria de trilhas (Figura 1.1).
- Órgãos governamentais resolvem problemas geográficos quando decidem como destinar fundos para construção de proteção marítima.
- Viajantes e turistas resolvem seus problemas geográficos quando fornecem e recebem instruções de direção, selecionam hotéis em cidades não familiares e encontram seu próprio caminho nos parques temáticos (Figura 1.2).

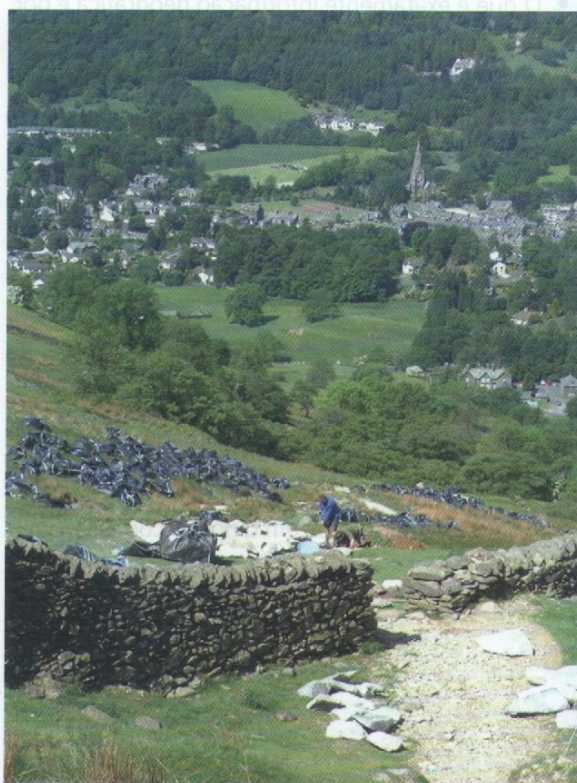


Figura 1.1 Manutenção e melhoramento de trilhas em parques nacionais é um problema geográfico.

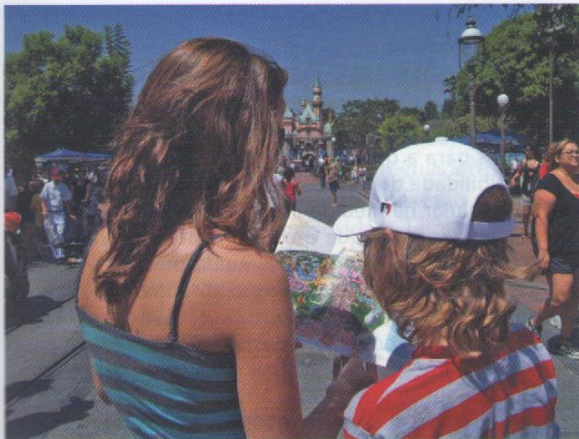


Figura 1.2 Navegação em destinos turísticos é um problema geográfico.

- Produtores rurais resolvem problemas geográficos quando empregam nova tecnologia da informação para tomar decisões melhores sobre a quantidade de

fertilizantes e pesticidas a aplicar em diferentes partes de sua propriedade.

Se tantos problemas são geográficos, o que distingue uns dos outros? Aqui estão as bases para a classificação dos problemas geográficos. Primeiro, há uma questão de **escala** ou nível de detalhamento geográfico. O desenho arquitetônico de um prédio pode apresentar problemas, como no caso da gestão de desastres (Quadro 1.1), mas apenas em uma escala muito detalhada ou local. A informação necessária para prover serviços públicos ao edifício também é local – o tamanho e forma do lote, a altura e a profundidade do edifício, a declividade do terreno e sua acessibilidade usando infraestrutura normal e de emergência. No outro extremo da escala, a difusão global da epidemia de síndrome respiratória aguda grave (SARS) de 2003 e da gripe aviária de 2004 foram problemas de escala muito mais ampla e grosseira, envolvendo informação sobre toda a população de um país e padrões de transporte globais.

A escala ou o nível de detalhamento geográfico é propriedade essencial de qualquer projeto de SIG.

Quadro de aplicações 1.1

Furacão Katrina, 29 de agosto de 2005

Desastres causados por furacões ocorrem de diferentes formas: surgimento do furacão, ventos fortes, tornados, inundações. É importante para famílias e comunidades terem planos de ação de segurança para antecipar esses riscos. O furacão Katrina (Figura 1.3) atingiu a cidade de New Orleans, Louisiana (EUA) em 29 de agosto de 2005, com toda a força de uma tempestade de categoria 5, tendo cortado uma faixa através do



Figura 1.3 (A) O furacão Katrina em 28 de agosto de 2005. (Cortesia NOAA/NESDIS: www.nnvl.noaa.gov)



Figura 1.3 (B) Suas consequências em Nova Orleans em 29 de agosto de 2005, mostrando a inundações da autoestrada interestadual I-10, causada diretamente pelo rompimento dos diques do canal da 17th Street (Rua 17). (Imagem da Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Image:KatrinaNewOrleansFlooded_edit2.jpg)

extremo sul dos EUA, da Flórida ao Mississippi. Meteorologistas tiveram muito sucesso na previsão de sua trajetória e força, e muito da área afetada pôde ser evacuada antes da chegada da tempestade. New Orleans foi declarada área de emergência federal em 24 de agosto. O dano físico causado por essa passagem e o consequente rompimento dos diques de proteção contra cheias em mais de 50 lugares inundaram 80% da cidade de New Orleans (Figura 1.4). O furacão Katrina causou um dano estimado de US\$ 81 bilhões (cotação do dólar de 2005), além das 1836 vidas perdidas.

Lidar com as consequências dessa emergência teve uma série de problemas geográficos. Muitos dos mapas de SIG usados para lidar com a situação foram produzidos por voluntários e por agências oficiais. A demanda inicial por mapas de SIG foi de socorristas e equipes de emergência em terra, que necessitavam de mapas de ruas específicos para busca e salvamento. Isso incluía mapas de ruas mostrando a densidade populacional, as principais referências urbanas citadas nas chamadas de emergência, as coordenadas de latitude e longitude necessárias ao resgate por helicóptero ou as últimas coordenadas conhecidas de pessoas desaparecidas. Outros mapas de "sensibilidade situacional" foram requisitados

para uso dos comandantes do incidente e outros tomadores de decisão, trabalhando desde a escala local até o nível federal. Estes sítios identificados foram fundamentais para a queda de energia ou a restauração, a disponibilidade de mudança de largura de banda de telefone celular na medida em que as torres voltavam a funcionar, as áreas que provavelmente haviam tido inundações (ou que viriam a ter) inundações, fechamento de estradas e restrições de acesso, disponibilidade de abrigos e cozinhas, pontos de distribuição água e gelo e à localização dos sítios ambientalmente perigosos.

Nessas aplicações operacionais e táticas, o emprego dos SIG assegurou que os dias antes e imediatamente após o impacto da tempestade fossem usados de modo produtivo. No entanto, o socorro do governo e o atraso em responder à inundação de New Orleans foram alvos de críticas. Numa visão mais estratégica, também se aponta que o furacão Katrina foi responsável por uma catástrofe que poderia ter sido evitada, causada pelo corte de verbas e pela falta de conhecimento da resistência das barragens. A intervenção estratégica falhou, mas os SIG foram, apesar disso, de extrema importância no gerenciamento de catástrofes em curto prazo e de operações de limpeza de médio prazo.

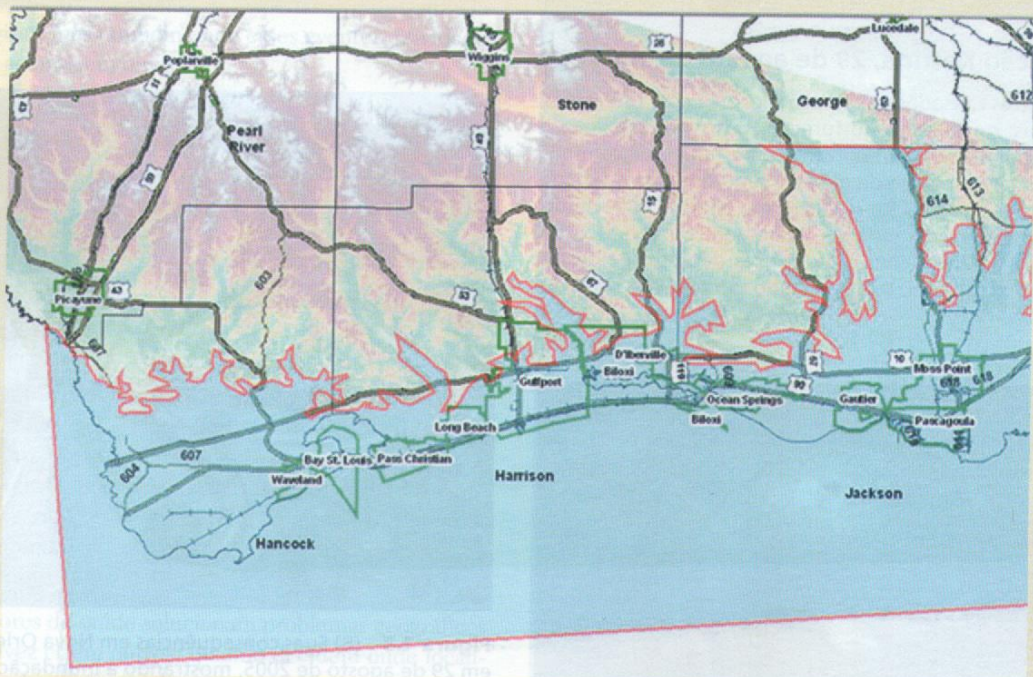


Figura 1.4 Previsão dos efeitos de uma tempestade de 32 pés (~9,75m) com a ação das ondas de 20 pés (~6,10m), modelada utilizando um SIG. Os limites da cidade são mostrados em verde e o limite da tempestade, em vermelho. (Fonte: ArcNews)

Segundo, problemas geográficos podem ser distinguidos com base na intenção ou no **propósito**. Alguns problemas são de natureza bem prática – eles devem ser resolvidos tão rápido quanto possível e/ou com custo mínimo, de modo a atingir objetivos práticos como economizar dinheiro, evitar multas de órgãos reguladores ou lidar com uma situação de emergência. Outros são melhor caracterizadas como fruto da curiosidade humana. Quando dados geográficos são usados para verificar a teoria da deriva dos continentes, para mapear a distribuição dos depósitos glaciais ou ainda para analisar os movimentos históricos da população em pesquisas arqueológicas e antropológicas (Quadro 1.2 e Figura 1.5), não há sensação de um problema imediato a ser resolvido. Ao contrário, a intenção é o avanço da compreensão humana sobre o mundo, o que frequentemente reconhecemos como sendo a intenção da ciência.

Embora se possa pensar que a ciência e a solução de problemas práticos sejam atividades humanas distintas, frequentemente argumenta-se que não há mais distinção entre os seus métodos. As ferramentas e os métodos usados por um cientista em um órgão governamental para assegurar a proteção de uma espécie ameaçada são essencialmente os mesmos usados por um ecólogo pesquisador para avançar nosso conhecimento científico dos sistemas biológicos. Ambos usam os equipamentos de medição mais precisos, empregam termos cujo significado têm sido amplamente compartilhados e são de consenso, insistem que seus resultados sejam replicáveis por outros e geral-



Figura 1.5 Princípios de localização de uma loja são muito importantes no desenvolvimento de mercados ao redor do mundo, como os investimentos da Tesco em Beijing, China. (© Lou-Foto/Alamy Limited)

mente seguem todos os princípios da ciência que evoluíram ao longo dos últimos séculos.

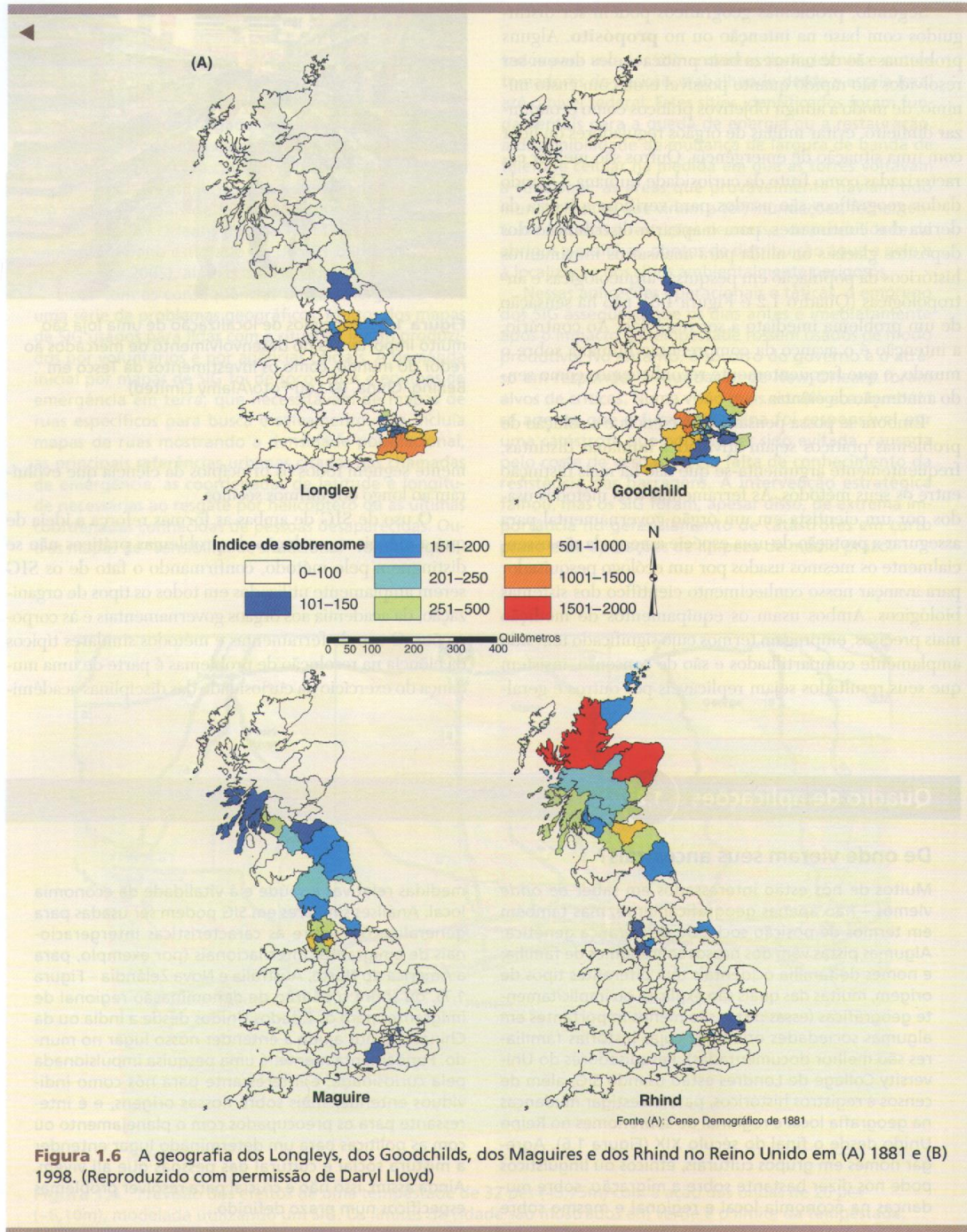
O uso de SIG de ambas as formas reforça a ideia de que a ciência e a solução de problemas práticos não se distinguem pelo método, confirmando o fato de os SIG serem amplamente utilizados em todos os tipos de organização, da academia aos órgãos governamentais e às corporações. O uso de ferramentas e métodos similares típicos da ciência na resolução de problemas é parte de uma mudança do exercício da curiosidade das disciplinas acadêmi-

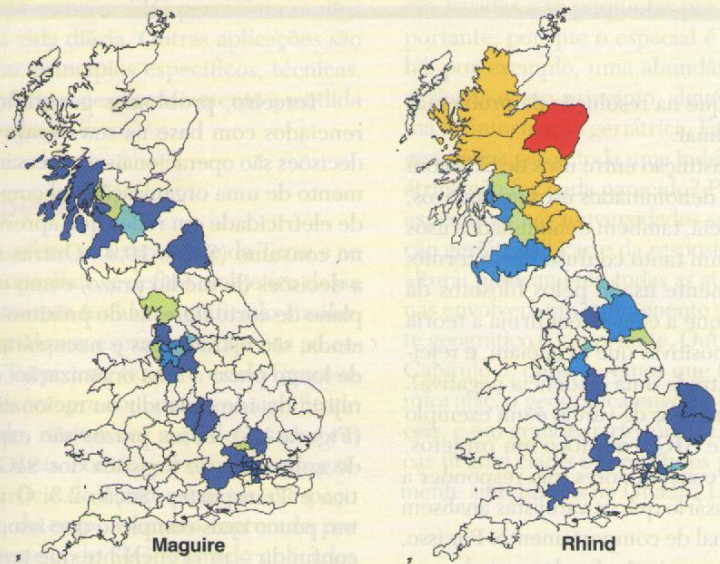
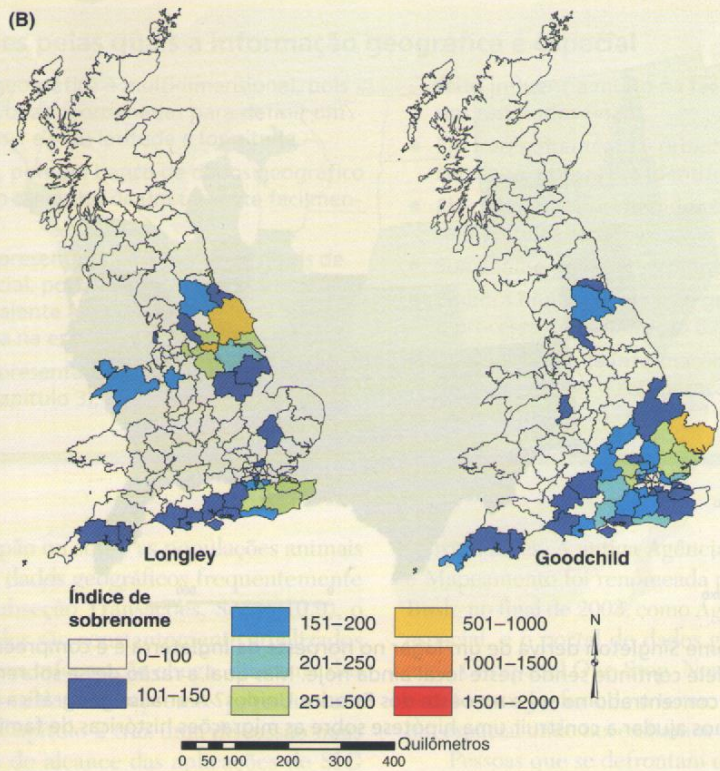
Quadro de aplicações 1.2

De onde vieram seus ancestrais?

Muitos de nós estão interessados em saber *de onde* viemos – não apenas geograficamente, mas também em termos de posição social ou de herança genética. Algumas pistas vêm dos nossos sobrenomes de família; e nomes de família ocidentais têm diferentes tipos de origem, muitas das quais são explícita ou implicitamente geográficas (essas pistas são menos importantes em algumas sociedades orientais, cujas histórias familiares são melhor documentadas). Pesquisadores do University College de Londres estão usando SIG, além de censos e registros históricos, para investigar mudanças na geografia local e regional de sobrenomes no Reino Unido desde o final do século XIX (Figura 1.6). Agregar nomes em grupos culturais, étnicos ou linguísticos pode nos dizer bastante sobre a migração, sobre mudanças na economia local e regional e mesmo sobre

medidas relativas à saúde e à vitalidade da economia local. Análises similares em SIG podem ser usadas para generalizações sobre as características intergeracionais de emigrantes internacionais (por exemplo, para a América do Norte, Austrália e Nova Zelândia – Figura 1.7), ou sobre o padrão de denominação regional de imigrantes para os Estados Unidos desde a Índia ou da China. Isso nos ajuda a entender nosso lugar no mundo. Fundamentalmente, é uma pesquisa impulsionada pela curiosidade: é interessante para nós como indivíduos entender mais sobre nossas origens, e é interessante para os preocupados com o planejamento ou com as políticas para um determinado lugar entender a mistura social e cultural das pessoas que ali vivem. Ainda assim, isso não é crucial para resolver problemas específicos num prazo definido.





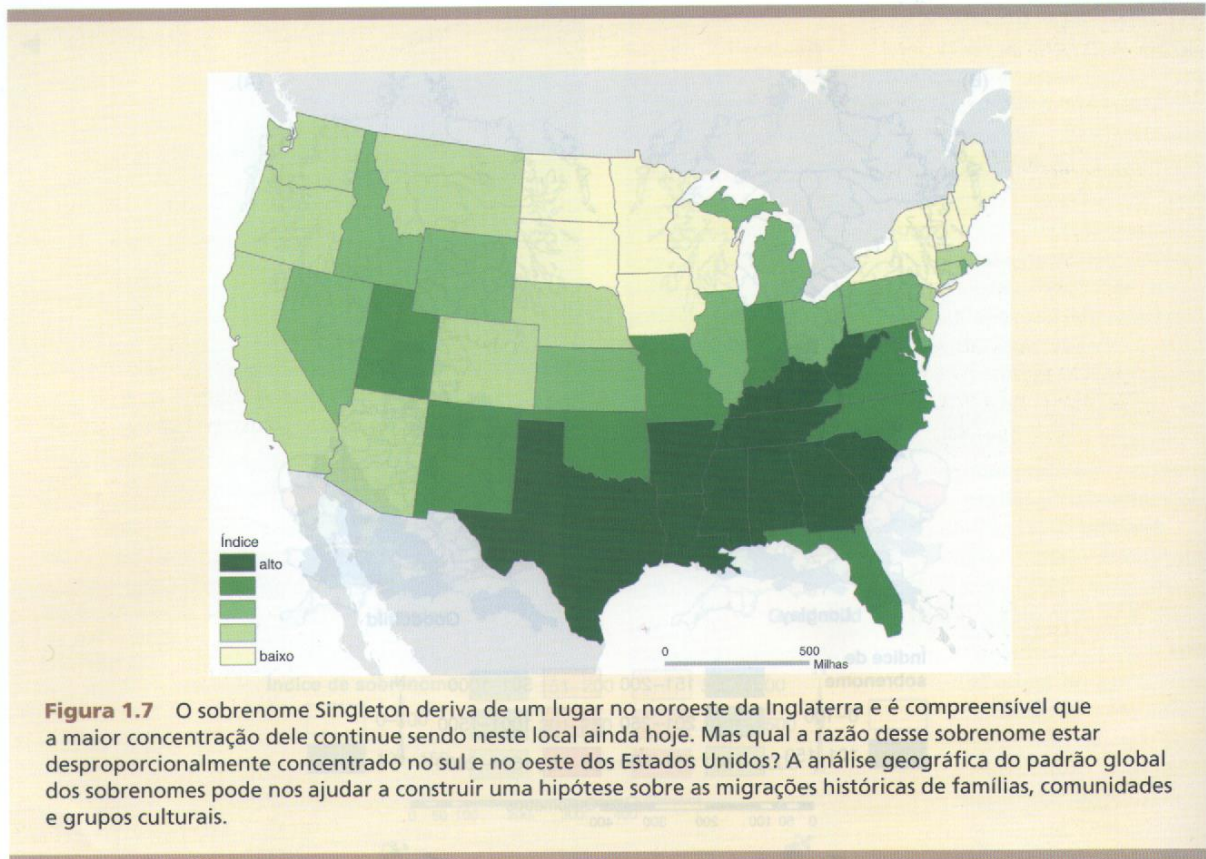


Figura 1.7 O sobrenome Singleton deriva de um lugar no noroeste da Inglaterra e é compreensível que a maior concentração dele continue sendo neste local ainda hoje. Mas qual a razão desse sobrenome estar desproporcionalmente concentrado no sul e no oeste dos Estados Unidos? A análise geográfica do padrão global dos sobrenomes pode nos ajudar a construir uma hipótese sobre as migrações históricas de famílias, comunidades e grupos culturais.

cas tradicionais para enfoque na resolução de problemas de uma equipe interdisciplinar.

Neste livro, fazemos distinção entre usos de SIG com foco em projetos, também denominados usos normativos, e usos que avançam a ciência, também denominados usos positivos (um significado um tanto confuso desse termo, infelizmente, mas comumente usado pelos filósofos da ciência – seu uso implica que a ciência confirma a teoria por encontrar evidências positivas que as apóiam, e rejeita teorias quando é encontrada uma evidência negativa). Encontrar novos locais para lojas de varejo é um exemplo de aplicação normativa de SIG, com foco em projetos. Mas para prever como os consumidores irão responder a esses novos locais, é necessário que os varejistas analisem e modelem seu padrão atual de comportamento. Por isso, os modelos que eles usam estarão fundamentados em observações de uma realidade confusa, testados de um modo positivo.

Com uma simples coleção de ferramentas, os SIG são capazes de estabelecer uma ligação entre a ciência movida pela curiosidade e a resolução de problemas práticos.

Terceiro, problemas geográficos podem ser diferenciados com base na sua **escala temporal**. Algumas decisões são operacionais e necessárias ao bom funcionamento de uma organização, tal como controlar a entrada de eletricidade em redes que apresentam picos e quedas no consumo (Seção 10.9). Outras são táticas e voltadas a decisões de médio prazo, como o corte de árvores no plano de corte florestal do próximo ano. Outras decisões, ainda, são estratégicas e necessárias para dar diretrizes de longo prazo a uma organização, como quando um varejista decide expandir ou racionalizar sua rede de lojas (Figura 1.5). Esses prazos são explorados no contexto de aplicações de logística dos SIG na Subseção Logística e Transportes, Seção 2.3. O mundo real é de fato um pouco mais complexo que isso, e essa distinção pode confundir – uma enchente que teoricamente e estatisticamente ocorre a cada 1.000 anos influencia as considerações estratégicas e táticas, embora ela possa ocorrer um ano depois do outro! Outros problemas que interessam a geofísicos, geólogos ou biólogos evolucionistas podem ocorrer em escalas de tempo muito maiores do que a vida de um ser humano, mas mesmo assim são de natureza geográfica, tal como as predições sobre o futuro

Quadro técnico 1.3

Algumas razões pelas quais a informação geográfica é especial

- A informação geográfica é multidimensional, pois são necessárias duas coordenadas para definir um local, sejam elas x e y ou latitude e longitude.
- Ela é volumosa, pois um banco de dados geográfico pode alcançar o tamanho de um terabyte facilmente (Tabela 1.1).
- Ela pode ser representada em diferentes níveis de resolução espacial, por exemplo, usando a representação equivalente a um mapa na escala 1:1 milhão e um mapa na escala 1:24.000 (Seção 3.7).
- Ela pode ser representada de diferentes formas no computador (Capítulo 3), e a maneira como isso é feito influencia muito na facilidade das análises e nos resultados finais.
- Ela frequentemente é projetada sobre uma superfície plana, por razões identificadas na Seção 5.8.
- Ela requer muitos métodos especiais para sua análise (Capítulos 14 e 15).
- Sua análise pode ser demorada.
- Embora muita informação geográfica seja estática, o processo de atualização é complexo e caro.
- A visualização de informação geográfica na forma de mapa requer a recuperação de grande volume de dados.

ambiente físico do Japão ou sobre as populações animais da África. Bancos de dados geográficos frequentemente são *transacionais* (Subseção Transações, Seção 10.9), o que quer dizer que eles são constantemente atualizados à medida que uma nova informação chega, diferente dos mapas em papel, que uma vez impressos permanecem da mesma forma. O Capítulo 2 traz uma discussão mais detalhada da gama e do alcance das aplicações de SIG e fornece uma visão de como os SIG permeiam muitos dos aspectos da nossa vida diária. Outras aplicações são discutidas para ilustrar princípios específicos, técnicas, métodos analíticos e práticas de gerenciamento à medida que elas surgem ao longo do livro.

O espacial é especial

O adjetivo *geográfico* refere-se à superfície da Terra e ao que está próximo da superfície, e define o objetivo desse livro, embora outros termos tenham significado similar. *Espacial* refere-se a qualquer espaço, não apenas ao espaço da superfície da Terra; esse termo é usado frequentemente no livro, quase sempre com o mesmo significado de *geográfico*. Contudo, muitos dos métodos usados em SIG também são aplicáveis a outros espaços não geográficos, incluindo a superfície de outros planetas, o espaço do cosmos e o espaço do corpo humano capturado por imagens médicas. Técnicas de SIG têm sido aplicadas à análise de sequências de genomas no DNA. Assim, a discussão de análise nesse livro é de análise *espacial* (Capítulos 14 e 15), não de análise geográfica, para enfatizar sua versatilidade.

Outro termo que tem tido uso crescente nos últimos anos é *geoespacial* – como um subconjunto de espacial aplicado especificamente à superfície da Terra e a suas

proximidades. A antiga Agência Nacional de Inteligência e Mapeamento foi renomeada pelo presidente George W. Bush, no final de 2003, como Agência de Inteligência Geoespacial, e o portal de dados governamentais é denominado Geospatial One-Stop. Neste livro, procuramos evitar esse termo, preferindo o termo geográfico e usando o termo espacial onde necessitamos enfatizar um caráter geral.

Pessoas que se defrontam com SIG pela primeira vez são levadas a se perguntar por que a geografia é tão importante; por que o espacial é especial? Acima de tudo, há, por exemplo, uma abundância de informação sobre geriatria e, em princípio, alguém poderia criar um sistema de informação geriátrica. Então, por que a informação geográfica gerou toda uma indústria se a informação geriátrica não fez nada parecido? Por que não existem cursos específicos nas universidades sobre sistemas de informação geriátrica? Parte da resposta deveria estar clara nessa altura: praticamente todas as atividades e decisões humanas envolvem um componente geográfico, e o componente geográfico é importante. Outra razão ficará evidente no Capítulo 3, onde veremos que trabalhar com sistemas de informação geográfica envolve escolhas complexas e difíceis, e em grande parte, únicas. Outras razões mais técnicas ficarão claras em capítulos posteriores e estão brevemente sintetizadas no Quadro 1.3.

1.2 Dados, informação, conhecimento, evidência e sabedoria

Os sistemas de informação nos ajudam a gerenciar o que *conhecemos* tornando simples a tarefa de organizar e ar-

Tabela 1.1 Volume potencial de bancos de dados de SIG para algumas aplicações clássicas (volume estimado para a ordem de magnitude mais próxima). Estritamente, bytes são contados na potência ao quadrado – 1 quilobyte são 1.024, não 1.000 bytes

1 megabyte	1 000 000	Conjunto de dados único em um banco de dados de pequeno porte
1 gigabyte	1 000 000 000	Rede viária de uma grande cidade ou de um país pequeno
1 terabyte	1 000 000 000 000	Altitudes de toda a superfície da Terra registradas a cada 30 m
1 petabyte	1 000 000 000 000 000	Imagem de satélite de toda a Terra com resolução espacial de 1 m
1 exabyte	1 000 000 000 000 000 000	Uma representação 3D futura de toda a Terra com resolução espacial de 10 m?

mazenar, acessar e recuperar, manusear e sintetizar, além de aplicar o conhecimento na resolução de problemas. Usamos uma variedade de termos para descrever o que conhecemos, incluindo os cinco que dão título a essa seção e são mostrados na Tabela 1.2. Não existe consenso universal na definição desses termos, dos quais os dois primeiros são frequentemente utilizados no âmbito dos SIG. Entretanto, vale a pena entender os seus vários sentidos, pois a diferença entre eles pode muitas vezes ser significativa. O que segue baseia-se em várias fontes e fornece assim uma base para o uso desses termos ao longo do livro. Dados refere-se claramente ao tipo mais comum de informação; sabedoria, ao mais importante. *Dados* consistem em números, texto, símbolos que são de algum modo neutros e quase sem contexto. Fatos geográficos brutos (Subseção Propriedade e usufruto de IG, na Seção 18.5), tal como a temperatura num dado momento e local, são exemplo de dados. Quando os dados são transmitidos, eles são tratados como uma sequência de bits; um requisito crucial é a preservação da integridade do conjunto de dados. O significado interno do dado é irrelevante em tais considerações. Dados são reunidos em um banco de dados (Capítulo 10), e os volumes de dados necessários a uma aplicação típica são mostrados na Tabela 1.1.

O termo *informação* pode ser usado de forma restrita ou ampla. No sentido restrito, informação pode ser trata-

da com desprovida de sentido e por isso como um sinônimo de dado, tal como definido no parágrafo anterior. Outros definem informação como qualquer coisa que possa ser digitada, isto é, representada na forma digital (Capítulo 3), mas também argumentam que informação diferencia-se de dado porque implica seleção, organização e preparação para fins específicos – informação são dados servindo a um *propósito*, ou dados aos quais foi agregada interpretação. A informação muitas vezes é cara para ser produzida, mas uma vez digitada, é de fácil reprodução e distribuição. Conjuntos de dados geográficos, por exemplo, podem ser muito caros para serem coletados e reunidos, mas muito fáceis de serem copiados e disseminados. Outra característica da informação é a facilidade com que se agrega valor a ela através de processamento e da fusão com outra informação. Os SIG são um exemplo excelente desse último, em função das ferramentas que eles oferecem para combinar informação oriunda de diferentes fontes (Seção 18.5).

Os SIG fazem um trabalho melhor de compartilhamento de dados e informação do que de conhecimento, o qual é mais difícil de separar da pessoa.

O *conhecimento* não surge simplesmente pelo acesso a um grande volume de informação. Ele pode ser

Tabela 1.2 Um ordenamento da infraestrutura de apoio à tomada de decisão

Infraestrutura de apoio à tomada de decisão	Facilidade de compartilhar com os outros	Exemplos com SIG
Sabedoria ↑	Impossível	Políticas desenvolvidas e aceitas pelos interessados
Conhecimento ↑	Difícil, especialmente conhecimento implícito	Conhecimento pessoal sobre os lugares e seus problemas
Evidência ↑	Raramente fácil	Resultado de análises de SIG de vários conjuntos de dados e cenários
Informação ↑	Fácil	Conteúdo de um banco de dados construído a partir de dados brutos
Dados	Fácil	Dados geográficos brutos

considerado como informação à qual foi agregado valor por uma interpretação com base em um contexto particular, experiência e propósito. De forma simples, a informação disponível em um livro ou na Internet ou em um mapa torna-se conhecimento apenas quando a informação foi lida e compreendida. A forma como ela é interpretada e usada será diferente para leitores diferentes, dependendo da experiência, expertise e necessidade de cada um. É importante distinguir dois tipos de conhecimento: *codificado* e *tácito*. O conhecimento pode ser codificado caso ele possa ser escrito e transferido a outros com relativa facilidade. Conhecimento tácito é frequentemente lento para ser adquirido e muito mais difícil para ser transferido. Exemplos incluem o conhecimento construído durante o aprendizado, a compreensão de como funcionam os mercados ou a familiaridade no uso de determinada tecnologia ou linguagem. Essa diferença na transferência significa que o conhecimento tácito e o codificado precisam ser gerenciados e recompensados de modo distinto. Pela sua natureza, o conhecimento tácito é frequentemente uma fonte da vantagem competitiva.

Alguns têm argumentado que o conhecimento e a informação são fundamentalmente diferentes em pelo menos três aspectos importantes:

1. Conhecimento implica o conhecedor. A informação existe independentemente, mas o conhecimento está intimamente ligado a pessoas.
2. Conhecimento é mais difícil de destacar do conhecedor do que a informação; transportá-lo, recebê-lo, transferi-lo entre pessoas ou quantificá-lo é muito mais difícil do que para a informação.
3. Conhecimento requer muito mais assimilação – digerimos o conhecimento melhor do que o retemos. Guardamos informação conflitante, mas raramente guardamos conhecimento conflitante.

A *evidência* é considerada um meio-caminho entre informação e conhecimento. Parece melhor considerá-la como uma multiplicidade de informação oriunda de diferentes fontes, relacionadas a problemas específicos e com uma consistência validada. Muitas tentativas foram feitas pela medicina para extrair evidência confrontando um conjunto por vezes contraditório de informações coletadas por fontes de diversas partes do mundo, o que é conhecido como meta-análise, ou para a análise comparativa dos resultados com muitos estudos anteriores.

A definição de *sabedoria* é ainda mais sutil do que a dos outros termos. Normalmente, o termo é usado no contexto da tomada de decisões ou de um conselho dado de forma desinteressada, baseado em todas as evidências e conhecimento disponíveis, mas com alguma compreensão das possíveis consequências. Quase que invariavel-

mente, ela é altamente individual e não é fácil de ser criada ou compartilhada com um grupo. A sabedoria está no topo de uma espécie de hierarquia da infraestrutura da tomada de decisão.

1.3 Sistemas e ciência

Sistemas de informação geográfica são sistemas computacionais feitos para armazenar e processar informação geográfica. Eles são ferramentas que melhoram a eficiência e efetividade do tratamento da informação de aspectos e eventos geográficos. Eles podem ser usados para muitas outras tarefas úteis, como armazenar grandes quantidades de informação geográfica em bancos de dados, realizar operações analíticas numa fração do tempo necessária para fazê-lo manualmente e automatizar o processo de confecção de mapas úteis. Sistemas de informação geográfica também processam informação, mas há limites ao tipo de procedimento e prática que podem ser automatizados na transformação de dados em informação. Além disso, está mais no domínio da evidência, do conhecimento e da sabedoria avaliar se a seletividade e a preparação a um dado propósito agregam algum valor, ou se os resultados agregam discernimento à interpretação das aplicações geográficas.

Esses temas constituem o domínio da ciência da informação geográfica. Esse campo de rápido desenvolvimento preocupa-se com o contexto científico e com as bases dos sistemas de informação geográfica. Ele fornece um quadro no qual novas evidências, conhecimento e, finalmente, sabedoria sobre a Terra podem ser criadas de modo eficiente, efetivo e para uso seguro.

A ciência da resolução de problemas

Como em todas as ciências, um requisito essencial da ciência da informação geográfica é o método para descobrir novo conhecimento. O método científico da IG deve garantir:

- Transparência de premissas e métodos para que outros cientistas da IG possam determinar como o conhecimento prévio foi descoberto e como eles podem contribuir com o conhecimento já existente.
- Objetividade através de uma perspectiva individual e independente, que evita ou acomoda tendenciosidade (intencional ou não).
- A capacidade de qualquer outro cientista qualificado reproduzir os resultados da análise.
- Métodos de validação usando os resultados da análise (validação interna) ou outra fonte de informação (validação externa).

ciamos o valor de mapas, e a noção de que eles poderiam ser processados por um computador é diretamente análoga ao uso de processadores de texto ou planilhas de cálculo para lidar com outros tipos de informação. Um SIG é também *uma ferramenta computadorizada para resolver problemas geográficos*. Essa definição fala dos propósitos dos SIG mais do que de suas funções ou sua forma física – uma ideia que é expressa em outra definição, *um sistema de apoio à decisão espacial*. Um SIG é *um inventário mecanizado de feições e serviços geograficamente distribuídos*.

Essa definição explica o valor dos SIG para os serviços de infraestrutura, em que eles são usados para controlar tubulações subterrâneas, transformadores, linhas de transmissão, postes e contas de clientes. Um SIG é *uma ferramenta para revelar o que de outra forma é invisível na informação geográfica*. Essa definição interessante enfatiza o poder de um SIG como um mecanismo de análise para examinar dados e revelar seus padrões, relações e anomalias – coisas que podem não ser aparentes para alguém que olha um mapa. Um SIG é *uma ferramenta para realizar operações sobre dados geográficos, que são muito tediosas, onerosas ou imprecisas se feitas manualmente*. Essa definição fala do problema associado à análise manual de mapas, particularmente à extração de medidas simples, de área, por exemplo.

Cada um de nós tem uma definição favorita de SIG, e há muitas para escolher.

1.4 Uma breve história dos SIG

Como seria de esperar, alguma controvérsia ronda a história dos SIG, pois houve desenvolvimento paralelo na América do Norte, na Europa e na Austrália (no mínimo). Muito da história publicada foca nas contribuições dos Estados Unidos. Por isso, ainda não temos uma história bem arredondada do nosso assunto. O que está claro, entretanto, é que a extração de medidas geográficas simples dirigiu o desenvolvimento do primeiro SIG verdadeiro, o Sistema de Informação Geográfica do Canadá (*Canada Geographic Information System – CGIS*), em meados dos anos 1960 (Seção 17.3). O Inventário de Terras do Canadá foi um esforço de peso do governo federal e dos governos provinciais para identificar os recursos naturais da nação e seus usos potenciais. Os resultados mais úteis de tal inventário foram medidas de área, embora a área seja muito difícil de ser quantificada de forma precisa a partir de um mapa (Subseção Medição de área, na Seção 15.1). O CGIS foi planejado e desenvolvido como uma ferramenta de mensuração, um produtor de informação tabular, não como uma ferramenta de fazer mapas.

O primeiro SIG foi o Sistema de Informação Geográfica do Canadá, concebido em meados da década de 1960 como um sistema computadorizado de mensuração de mapas.

Uma segunda explosão de inovação ocorreu no final dos anos 1960 no órgão de recenseamento dos Estados Unidos (*Bureau of Census*), no planejamento das ferramentas necessárias para realizar o Censo Demográfico de 1970. O programa DIME – *Dual Independent Map Coding* (Codificação Dual Independente de Mapas) criou registros digitais de todas as ruas dos Estados Unidos para dar suporte de referência e agregação automática aos registros do censo. A similaridade dessa tecnologia com aquela do CGIS foi imediatamente reconhecida e levou a um importante programa do Laboratório de Computação Gráfica e Análise Espacial da Universidade de Harvard para o desenvolvimento de um SIG multifuncional que pudesse atender às necessidades de ambas as aplicações. Esse projeto levou ao software de SIG ODYSSEY no final dos anos 1970.

Desde cedo, os desenvolvedores de SIG reconheceram que as mesmas necessidades básicas estavam presentes em diferentes áreas de aplicação, da gestão de recursos ao censo.

Em um desenvolvimento muito diferente durante o final dos anos 1960, cartógrafos e agências de mapeamento começaram a se perguntar se os computadores poderiam ser adaptados às suas necessidades, reduzindo possivelmente os custos e o tempo para criação de mapas. A Unidade de Cartografia Experimental (*Experimental Cartography Unit – ECU*) do Reino Unido foi pioneira no mapeamento computacional de alta qualidade em 1968; ela publicou o primeiro mapa feito por computador do mundo em uma série regular, em 1973, com o Serviço Geológico Britânico (Figura 1.12). A ECU também foi pioneira no ensino de SIG, no uso de códigos postais e códigos ZIP como referências geográficas, na percepção visual de mapas e muito mais. As agências de mapeamento nacionais como o Ordnance Survey, do Reino Unido, o Instituto Geográfico Nacional, da França, e o Serviço Geológico e a Agência de Mapeamento da Defesa (agora Agência Nacional de Inteligência Geoespacial), dos Estados Unidos, iniciaram a investigação do uso de computadores na edição de mapas que pudessem evitar o caro e demorado processo de correção e redesenho manual. O primeiro desenvolvimento de cartografia automatizada ocorreu nos anos 1960, e no final dos anos 1970 a maioria das mais importantes agências cartográficas tinham sido informatizadas em algum grau. No entanto, a magnitude da tarefa fez com que apenas em 1995 o primeiro país (Reino Unido)

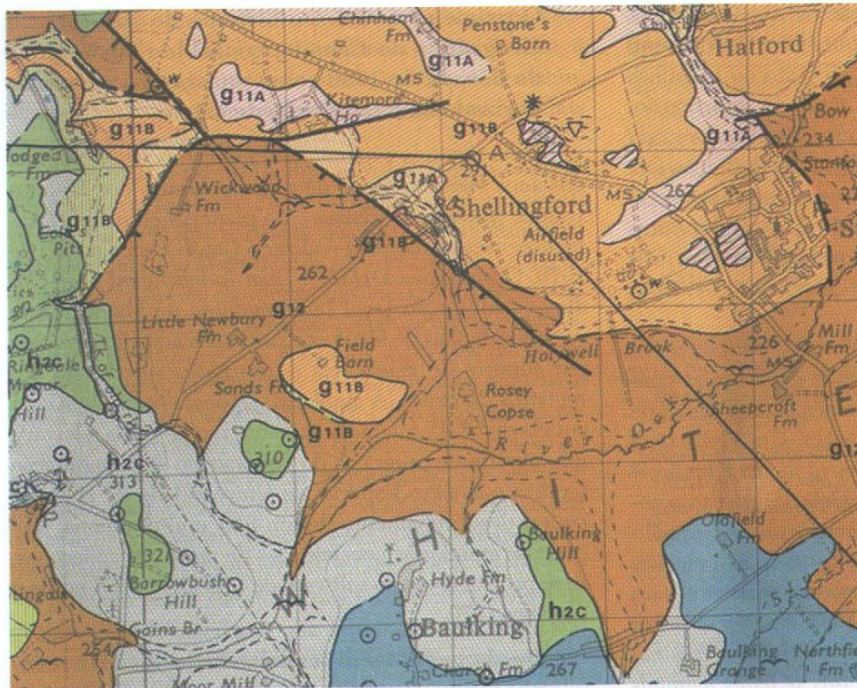


Figura 1.12 Seção de um mapa geológico na escala 1:63.360 de Abingdon – o primeiro exemplo conhecido de um mapa produzido por meios automáticos, publicado em uma série de mapas para estabelecer padrões cartográficos. (Reproduzido com permissão do British Geological Survey and Ordnance Survey © NERC. Todos direitos reservados. IPR/59-13C)

conseguisse colocar a cobertura cartográfica digital completa em um banco de dados.

O sensoriamento remoto também teve parte no desenvolvimento dos SIG, como uma fonte de tecnologia e de dados. O primeiro satélite militar dos anos 1950 foi desenvolvido e mantido em grande segredo para ganhar em inteligência, mas a liberação de muitos desses materiais nos últimos anos ofereceu visões interessantes sobre o papel dos militares e da comunidade de inteligência no desenvolvimento dos SIG. Embora os primeiros satélites espíões usassem câmeras fotográficas convencionais para registrar imagens, o sensoriamento remoto digital passou a substituí-las nos anos 1960, e no início dos anos 1970 os sistemas civis de sensoriamento remoto como o Landsat começaram a oferecer grandes volumes de novos dados sobre a aparência da superfície do planeta a partir do espaço, bem como a explorar as tecnologias de classificação de imagens e de reconhecimento de padrões que tinham sido previamente desenvolvidas para aplicações militares. Os militares também foram responsáveis pelo desenvolvimento, nos anos 1950, do primeiro sistema uniforme do mundo para calcular localização, guiados pela necessidade de localizar alvos balísticos dos mísseis intercontinentais. Esse desenvolvimento levou diretamente aos métodos de controle posicional utilizadas hoje. As necessidades militares também foram responsáveis pelo desenvolvimento inicial do Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System – GPS; Seção 5.9*).

Muito do desenvolvimento técnico dos SIG teve origem durante a Guerra Fria.

Os SIG começaram de fato a decolar no início dos anos 1980, quando o preço dos computadores caiu a um nível que poderia sustentar a significativa indústria de software e aplicações com bom custo-benefício. Entre os primeiros clientes estavam companhias florestais e agências de recursos naturais, levadas pela necessidade de controlar um vasto recurso florestal e de regular seu uso efetivo. Naquele tempo, um sistema computacional modesto – muito mais modesto que um computador pessoal de hoje – poderia ser obtido por cerca de US\$ 250.000,00, e o software associado, por cerca de US\$ 100.000,00. Mesmo com esses preços, os benefícios da gestão consistente usando SIG e as decisões que podiam ser tomadas com essas novas ferramentas excederam substancialmente os custos. O mercado de software de SIG continuou a crescer, os computadores continuaram a cair de preço e aumentar em potência e a indústria de software de SIG vem crescendo desde então.

A história moderna dos SIG data do início dos anos 1980, quando o preço de computadores suficientemente potentes caiu abaixo de um nível crítico.

Como indicado previamente, a história dos SIG é complexa, muito mais complexa do que pode ser descrita nessa breve história, mas a Tabela 1.4 resume alguns dos maiores eventos.

Tabela 1.4 Principais eventos que formaram os SIG

Data	Tipo	Evento	Observações
A Era da Inovação			
1957	Acadêmico	Produção do primeiro mapeamento automático conhecido	Meteorologistas suecos e biólogos britânicos
1963	Tecnológico	Início do desenvolvimento do CGIS	Sistema de Informação Geográfica do Canadá é desenvolvido por Roger Tomlinson e colegas para o Inventário territorial do Canadá. Esse projeto foi pioneiro em muita tecnologia e introduziu o termo SIG.
1963	Geral	Estabelecimento da URISA	A Associação de Sistemas de Informação Urbanos e Regionais é fundada nos EUA. Logo se tornou ponto de intercâmbio para inovadores dos SIG.
1964	Acadêmico	Estabelecimento do Harvard Lab	O Laboratório Harvard de Computação Gráfica e Análise Espacial é estabelecido sob direção de Howard Fisher na Universidade de Harvard. Em 1966, SYMAP, o primeiro SIG matricial, é criado por pesquisadores de Harvard.
1967	Tecnológico	Desenvolvimento do DIME	O Bureau of Census dos EUA desenvolve o DIME/GBF (Dual Independent Map Encoding/Geographic Base File), uma estrutura de dados e um banco de dados de endereços de rua para o Censo de 1970.
1967	Acadêmico e geral	Formação da Unidade de Cartografia Experimental (ECU) do Reino Unido	Organização pioneira em uma gama de áreas da cartografia computadorizada e dos SIG.
1969	Comercial	Formação da ESRI Inc.	Jack Dangermond, um estudante do Harvard Lab, e sua mulher Laura formam a ESRI, comprometida com projetos de SIG.
1969	Comercial	Formação da Intergraph Corp.	Jim Meadlock e quatro outros que trabalhavam em sistemas de orientação para os foguetes Saturn formam a M&S Computing, mais tarde renomeada como Intergraph.
1969	Acadêmico	Publicação de <i>Design with Nature</i>	O livro de Ian McHarg é o primeiro a descrever muitos dos conceitos modernos da análise em SIG, inclusive o processo de sobreposição de mapas (Subseção Sobreposição de polígonos, Seção 14.2).
1969	Acadêmico	Primeiro livro-texto técnico sobre SIG	O livro de Nordbeck e Rystedt detalha algoritmos e software desenvolvidos para análise espacial.
1972	Tecnológico	Lançamento do Landsat 1	Originalmente denominado ERTS (Earth Resources Technology Satellite), ele é o primeiro de muitos dos principais satélites de sensoriamento remoto.
1973	Geral	Primeira linha de produção de vetorização	Estabelecimento do Ordnance Survey, a agência nacional de mapeamento britânica.
1974	Acadêmico	1ª Conferência AutoCarto	Realizada em Reston, Virginia, EUA, essa é a primeira de uma série de conferências importantes que colocaram os SIG na agenda de pesquisa.
1976	Acadêmico	GIMMS agora com uso mundial	Escrito por Tom Waugh (pesquisador escocês), esse sistema de mapeamento vetorial e de análise é utilizado em 300 locais ao redor do mundo.
1977	Acadêmico	Estruturas de dados topológicos	O Harvard Lab organiza uma grande conferência e desenvolve o SIG ODYSSEY.
A Era da Comercialização			
1981	Comercial	Lançamento do ArcInfo	ArcInfo é o primeiro grande sistema de software de SIG comercial. Concebido para microcomputadores e baseado num modelo vetorial e de banco de dados relacional, ele definiu um novo padrão para a indústria.

(Continua)

Tabela 1.4 (Continuação)

Data	Tipo	Evento	Observações
1984	Acadêmico	Publicação do livro <i>Basic Readings in Geographic Information Systems</i> (Leituras básicas em SIG)	Essa coleção de artigos publicados na forma de livro por Duane Marble, Hugh Calkins e Donna Peuquet é a primeira fonte acessível de informação sobre SIG.
1985	Tecnológico	GPS operacional	O sistema de posicionamento global (GPS) gradualmente passa a ser uma importante fonte de dados para navegação, levantamento e mapeamento.
1986	Acadêmico	Publicação do livro <i>Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment</i> (Princípios dos SIG para avaliação de recursos da terra)	O livro de Peter Burrough é o primeiro especificamente com princípios de SIG. Ele torna-se rapidamente um texto de referência para estudantes de SIG.
1986	Comercial	Formação da MapInfo Corp.	O software MapInfo transforma-se no primeiro grande produto de SIG desktop, complementando sistemas de software precedentes.
1987	Acadêmico	Lançamento de <i>International Journal of Geographical Information Systems</i>	Terry Coppock e outros publicaram a primeira revista científica sobre SIG. O primeiro número contém artigos dos EUA, Canadá, Alemanha e Reino Unido.
1987	Geral	Relatório Chorley	'Manuseando Informação Geográfica' é um influente relatório do governo do Reino Unido que realça o valor dos SIG.
1988	Geral	Início da revista <i>GISWorld</i>	<i>GISWorld</i> , agora <i>GeoWorld</i> , a primeira revista internacional dedicada aos SIG, é publicada nos EUA.
1988	Tecnológico	Anúncio do TIGER	TIGER (Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing), uma continuação do DIME, é descrito pelo Bureau of Census dos EUA. Dados TIGER de baixo custo estimularam o rápido crescimento dos negócios com SIG nos EUA.
1988	Acadêmico	Anúncio de centros de pesquisa nos EUA e no Reino Unido	Duas iniciativas separadas, o NCGIA (National Center for Geographic Information and Analysis), dos EUA, e o RRL (Regional Research Laboratory), do Reino Unido. A iniciativa mostra o rápido crescimento do interesse em SIG pela academia.
1991	Acadêmico	Publicação do <i>Big Book 1</i> (Grande Livro)	<i>Geographical Information Systems: principles and applications</i> , um compêndio de dois volumes editado por David Maguire, Mike Goodchild e David Rhind, documenta os avanços até a data.
1992	Técnico	Lançamento do DCW	A carta digital do mundo, de 1,7 GB, patrocinada pela Agência de Mapeamento da Defesa dos EUA (agora NGA), é o primeiros banco de dados na escala 1:1.000.000 integrado a oferecer cobertura global.
1994	Geral	Assinatura de Ordem executiva pelo presidente Clinton (EUA)	A Executive Order 12906 levou à criação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (NSDI) dos EUA, das clearinghouses e do Comitê Federal de Dados Geográficos (FGDC).
1994	Geral	Nascimento do OpenGIS Consortium® (agora Open Geospatial Consortium®)	O consórcio OpenGIS® de vendedores de SIG, agências governamentais e usuários é formado para melhorar a interoperabilidade.
1995	Geral	Primeira cobertura completa do mapeamento nacional	O Ordnance Survey da Grã-Bretanha finaliza a criação do seu banco de dados inicial – todos os 230.000 mapas cobrindo o país na maior escala (1:1.250, 1:2.500 e 1:10.000) codificados.
1996	Tecnológico	Introdução de produtos de SIG na Internet	Várias companhias, notadamente Autodesk, ESRI, Intergraph e MapInfo, lançam praticamente ao mesmo tempo uma nova geração de sistemas baseados na Internet.

(Continua)

Tabela 1.4 (Continuação)

Data	Tipo	Evento	Observações
1996	Comercial	MapQuest	Lançado o serviço de mapeamento pela Internet, produzindo mais de 130 milhões de mapas em 1999. Posteriormente, foi adquirido pela AOL por US\$ 1,1 bilhão.
1999	Geral	GIS Day	O primeiro GIS Day atraiu mais de 1,2 milhão de participantes globais que compartilham interesse pelos SIG.
A Era da Exploração			
1999	Comercial	IKONOS	Uma nova geração de sensores de satélite de muito alta resolução: IKONOS anuncia resolução espacial de 90 cm; Quickbird (lançado em 2001) anuncia 62 cm de resolução.
2000	Comercial	Os SIG ultrapassam a barreira dos US\$7 bilhões	A Daratech analista industrial relata que hardware, software e a indústria de serviços de SIG têm um faturamento de US\$ 6,9 bilhões, crescendo a mais de 10% ao ano.
2000	Geral	SIG tem um milhão de usuários	Os SIG têm mais de 1 milhão de usuários frequentes e talvez outros cerca de 5 milhões de usuários eventuais de IG.
2002	Geral	Lançamento do Atlas Nacional dos Estados Unidos virtual	Base virtual de informação geográfica nacional dos EUA com possibilidade de elaboração de mapas (www.nationalatlas.gov)
2003	Geral	Lançamento das estatísticas nacionais do Reino Unido virtuais	Exemplo de novos sites governamentais do Reino Unido descrevendo economia, demografia e sociedade nas escalas regional e local (www.statistics.gov.uk)
2003	Geral	Lançamento do Geospatial One-Stop	Uma iniciativa de governo federal virtual (e-governo) dos EUA provendo acesso a dados e informações geoespaciais (www.geodata.gov/gos)
2004	Geral	Formação da Agência Nacional de Inteligência Geoespacial (NGA)	Maior usuário de SIG do mundo, a NIMA (<i>National Imagery and Mapping Agency</i> – Agência Nacional de Imageamento e Mapeamento) dos EUA, renomeada para NGA (<i>National Geospatial-Intelligence Agency</i>) para reforçar a ênfase na geo-inteligência
2006	Tecnológico	Lançamento do Google Earth	Primeiro grande Globo Virtual – uma aplicação de SIG 3D disponível na Web. 150 milhões de downloads nos primeiros 12 meses.
2007	Comercial	Pitney Bowes, Inc. adquire a MapInfo	Fabricante de máquinas de triagem de correspondência adquire a empresa MapInfo Corp. por US\$ 408 milhões.
2007	Comercial	Navtec adquirida pela Nokia	Companhias de telefonia móvel adquirem provedores de dados baseados em endereço de rua por US\$ 8,1 bilhões.
2008	Comercial	TeleAtlas adquirida pela TomTom	Companhia relativamente nova no uso de SIG adquire provedor de dados de arruamento por US\$ 2,9 bilhões.

1.5 Visões de SIG

Como a discussão anterior mostra, os SIG são um monstro complexo, com várias aparências. Para alguns, eles são um meio de automatizar a produção de mapas; para outros, essa aplicação parece muito comum comparada às complexidades associadas à resolução de problemas geográficos e ao apoio à decisão espacial e ao potencial de um SIG como um mecanismo para analisar dados e revelar novas perspectivas. Outros veem um SIG como uma ferramenta para manter inventários complexos que adiciona perspectivas geográficas a sistemas de informa-

ção existentes e permite controlar e gerenciar os recursos geograficamente distribuídos de uma companhia florestal ou de serviços públicos. A soma de todas essas perspectivas é claramente demasiada para que um único software consiga lidar. Como resultado, os SIG têm crescido, a partir do seu início comercial, de simples pacotes sob encomenda para um complexo de software, hardware, instituições, redes e atividades, o que pode ser muito confuso para os novatos. Assim, por exemplo, a ESRI, Inc. (Redlands, Califórnia, EUA), maior vendedor de software nos dias atuais, vende uma família de produtos sob a marca ArcGIS de modo a atender a necessidades