

Kmap Solver: um aplicativo móvel gratuito para o ensino de simplificações pelo mapa de Karnaugh

RESUMO

Adriano Martins Moutinho
adriano.moutinho@cefet-rj.br
0000-0002-5241-8711

Centro Federal de Educação Tecnológica
Celso Suckow da Fonseca, Rio de
Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

José Carlos Corrêa de Andrades
jose.andrades@cefet-rj.br
0000-0001-7193-3084

Centro Federal de Educação Tecnológica
Celso Suckow da Fonseca, Rio de
Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

José Fernandes Pereira
jose.f.pereira@cefet-rj.br
0000-0003-0556-6452

Centro Federal de Educação Tecnológica
Celso Suckow da Fonseca, Rio de
Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

**José Antonio Fontes de Carvalho
Ribeiro Rodrigues**
jose.rodrigues@cefet-rj.br
0000-0002-1207-140X

Centro Federal de Educação Tecnológica
Celso Suckow da Fonseca, Rio de
Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Luciano Mendes Camillo
luciano.camillo@cefet-rj.br
0000-0002-2129-0583

Centro Federal de Educação Tecnológica
Celso Suckow da Fonseca, Rio de
Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

O objetivo deste trabalho é documentar o desenvolvimento de um aplicativo didático para o Google Android – sistema operacional para dispositivos móveis –, capaz de resolver expressões lógicas de até cinco variáveis, mostrando soluções obtidas por meio de mapas de Karnaugh. O mapa de Karnaugh é um método tradicional de simplificação de expressões booleanas que permite, a partir de uma visualização gráfica, encontrar variáveis comuns entre termos, minimizando-os. Apesar de simples, aprender competentemente a técnica operatória do mapa requer treino e exemplos com diversas combinações das variáveis de entrada, o que é propiciado nesse aplicativo. A pesquisa realizada a partir das avaliações obtidas no Google Play revelou que existe interesse de alunos e professores na utilização do aplicativo como suporte didático em aulas de ciência da computação, eletrônica e outras áreas afins, tanto em nível médio técnico como em nível superior. A partir das sugestões coletadas na pesquisa, almejam-se, num trabalho próximo, adaptações do algoritmo utilizado, tornando-o mais versátil, de forma que ele possa ser aplicado a disciplinas mais instrumentais, como Álgebra I. Além disso, o próprio desenvolvimento do algoritmo aqui apresentado representa um ótimo exercício para o ensino de lógica de programação, além da própria lógica booleana.

PALAVRAS-CHAVE: Aplicativo para Android. Expressões lógicas. Mapa de Karnaugh. Ensino de lógica.

INTRODUÇÃO

Este trabalho inscreve-se no âmbito dos estudos que se interessam pelas aplicabilidades dos *softwares* educacionais ao ensino, uma das especificidades hodiernas pertencentes a um campo tão amplo quanto antigo: a utilização das novas tecnologias em educação. O fator tecnológico conduz a profundas alterações na vida social, econômica, política, ambiental e conseqüentemente no sistema educacional (ANDRADES, 2014). Como em todo processo, o uso da tecnologia traz vantagens e desvantagens – como alerta o enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) –, e ponderar sobre os seus benefícios e malefícios é uma das preocupações do educador. A complexidade da sociedade e as mudanças cada vez mais aceleradas estimulam uma abordagem de ensino mais integradora, holística e reflexiva, com vistas a dotar os indivíduos de competências não somente de caráter técnico, mas crítico, a fim de que sejam capazes de se adaptar a tais mudanças (SÁ; PAIXÃO, 2015).

Há uma inadequação, cada vez mais ampla, entre um saber fragmentado e compartimentado em disciplinas, por um lado, e as realidades multidimensionais e globais de outro (MORIN, 2005), o que conduz à impertinência do modo tradicional de conhecimento e ensino, pois este ainda se baseia, primordialmente, em disciplinas estanques, mera transmissão de informações, e aulas com prioridade de utilização do quadro de giz. Mesmo quando se modernizam as tecnologias educacionais, isso não implica uma adaptação metodológica, pois geralmente os velhos procedimentos são mantidos. Segundo Masetto (2006), a tecnologia possui um valor relativo. Visto que as técnicas não se justificam por si mesmas, é importante ter claro o objetivo que se deseja alcançar, de forma a medir sua adequação e eficiência. De nada valem os recursos se não existem métodos apropriadamente desenvolvidos para o seu emprego, os quais devem ser difundidos entre os docentes da instituição. Uma das tarefas fundamentais do educador, conforme Freire (1996), é trabalhar a rigurosidade metódica com os educandos, mostrando-lhes a forma de aproximação com os objetos cognoscíveis.

Surge daí a necessidade de um estudo sobre as estratégias docentes de integração disciplinar, particularmente aplicado às educações técnica e tecnológica, a fim de minimizar as falhas detectadas e atender às novas demandas da sociedade e do mundo do trabalho (ANDRADES, 2007). Com a interdisciplinaridade do conhecimento e uma abordagem sistêmica, o enfoque nos novos recursos tecnológicos disponíveis, tende a contribuir significativamente para a minimização dessas inadequações.

Partindo dessa necessidade, e com o suporte das novas tecnologias, desenvolvemos um aplicativo com a finalidade de ajudar didaticamente professores e alunos – tanto de nível superior como de ensino médio técnico – no processo ensino-aprendizagem da álgebra de Boole (também chamada de álgebra lógica), cujo conteúdo básico e integrador aplica-se a variados campos do conhecimento. Ela permite que as regras usadas na álgebra numérica convencional sejam aplicadas à lógica, formalizando as regras desta. A álgebra booleana é usada para simplificar expressões lógicas que representam circuitos digitais. O procedimento reduz a expressão original para uma expressão equivalente que possui menos termos, o que significa que menos portas lógicas – os circuitos elementares na construção dos dispositivos digitais – são necessárias para realizar a função desejada.

Além do conteúdo básico, a álgebra booleana apresenta caráter integrador porque faz parte dos temas tratados em variados cursos, como de eletrônica digital e ciência da computação, ou em disciplinas mais básicas e instrumentais, como álgebra.

A IDEIA DO DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DO APLICATIVO

Variados tipos de software são encontrados para simplificação de expressões lógicas. Entretanto, tais softwares são geralmente apresentados em sua forma pronta e acabada, de modo que os alunos simplesmente os utilizam como uma “calculadora”, sem acesso ao seu processo de criação e, conseqüentemente, com prejuízos ao desenvolvimento de seu raciocínio lógico-matemático. A preocupação com tais prejuízos é notória nos documentos normativos do Ministério da Educação nas últimas décadas, onde é proposto o uso das TDIC (Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação), dos softwares educacionais, e tudo mais que conduza a uma alfabetização digital. A BNCC (Base Nacional Comum Curricular), no item 5 de suas Competências Gerais da Educação Básica, prevê esse tipo de utilização:

Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva (BRASIL, 2018, p. 9).

Não se deve entender a tecnologia apenas por sua base material ou por suas meras formas de consecução de finalidades. Muito menos limitá-la à assimilação de modos predeterminados e estanques do saber fazer. Ao contrário, deve consistir em “um processo criativo através do qual o ser humano utiliza-se de recursos materiais e imateriais [...] a fim de encontrar respostas para os problemas de seu contexto, superando-os” (LIMA JUNIOR, 2005, p. 15).

Foi no sentido de procurar minimizar essas persistentes lacunas que neste trabalho apresentamos e documentamos o desenvolvimento e uso do aplicativo Kmap Solver (MOUTINHO, 2019), que permite simplificações através do método do mapa de Karnaugh (KARNAUGH, 1953; VEITCH, 1952), até cinco variáveis. Esse método – criado pelo matemático e cientista da computação Edward W. Veitch, em 1952, e aperfeiçoado pelo engenheiro de telecomunicações Maurice Karnaugh, em 1953 – permite organizar visualmente os termos que possuem variáveis em comum, eliminando-as, permitindo assim a máxima simplificação que ainda representa uma tabela verdade da expressão. O método foi idealizado, a princípio, para ser utilizado manualmente, ou seja, sem uso de computadores ou quaisquer ferramentas específicas (KARNAUGH, 1953), porém o aplicativo desenvolvido utiliza o algoritmo de Quine-McCluskey, – que é funcionalmente idêntico ao mapa de Karnaugh mas apresenta uma forma tabular –, permitindo a utilização eficiente do procedimento por computadores (MCCLUSKEY, 1956; QUINE, 1952). Esse método foi concebido por Willard V. Quine, em 1952, e simplificado e estendido por Edward J. McCluskey, em 1956.

Entendemos que além do uso do K-MAP Solver em si, é importante perceber sua lógica de construção, o que permitirá maior imersão nos fundamentos lógicos

do processo. Visto que o aprendizado para utilizar esses mapas exige que o professor apresente exercícios e mostre, em sala de aula, as variações de solução do mapa, suas simetrias e características, a ideia deste trabalho é desenvolver atividades que permitam interpretar os processos de simplificação de expressões lógicas, não só pelo uso do aplicativo pronto, mas também pelo entendimento do algoritmo aplicado ao seu desenvolvimento. Como existem muitas diferentes combinações de entrada, demanda tempo cobrir a maioria das variações significativas. Dessa forma, será propiciado o entendimento discente acerca da linguagem e dos processos lógico-matemáticos que são encontrados em diversas disciplinas, inclusive lógica de programação. As técnicas de ensino de programação têm evoluído nos últimos anos e vêm se apresentando como um bom recurso para o letramento digital (FERREIRA; DUARTE, 2019).

ALGUMAS PONDERAÇÕES

Sempre existe o receio de que as novas tecnologias possam conduzir a um empobrecimento cultural e cognitivo, além da redução do convívio social (ANDRADES, 2014). O rádio foi chamado por John Dos Passos de “o triunfo do analfabetismo” (*Radio: the triumph of illiteracy*); a TV foi considerada como a “caixa dos tolos” e, nas últimas décadas, a preocupação vem se concentrando nas tecnologias digitais. Como destaca Belloni (2005), o fascínio que essas máquinas exercem sobre os jovens pode conduzir a situações de dependência, na medida em que as pessoas facilmente se desconectam da realidade física e socioafetiva em detrimento das realidades virtuais. Por conseguinte, a dependência em tecnologias como videogames e computadores acabou desembocando em um tipo de vício digital que ocorre na atualidade: a nomofobia – medo irracional de estar sem o telefone celular. Todas essas preocupações são pertinentes, mas também é fundamental conhecer as novas formas que os jovens encontraram para lidar com a tecnologia, pois gerações distintas apresentam diferentes experiências e visões de mundo (ANDRADES, 2014; ANDRADES; GRINSPUN, 2010).

Estamos vivendo nos tempos da chamada geração Alfa (nascidos entre 2010 e 2025), que são os filhos da geração Y (também chamada de milênios ou “geração da internet”). A geração Alfa é a primeira geração 100% digital, e para ela, a tecnologia é uma extensão de sua forma de conhecer o mundo. Os Alfa têm problemas em lidar com situações analógicas, um mundo que, para muitos deles, é totalmente desconhecido. Em nossa experiência em sala de aula, detectamos alunos que não sabem ler relógios de ponteiro ou mesmo têm dificuldade de distinguir os instrumentos analógicos dos instrumentos digitais. Como explica Roberto Balaguer – psicólogo, docente e escritor especialista em usos e abusos das redes sociais – à BBC Mundo: “Antes, as gerações eram definidas a partir de importantes eventos históricos ou sociais. Hoje elas são delimitadas pelo uso de certas tecnologias” (BORRULL, 2019). São entendimentos e aptidões que necessitam ser interpretados e explorados pelo docente.

Uma incursão na cibercultura ajudará a compreensão das novas formas de complexidade, das naturezas e dos limites dos esquemas intelectuais, bem como do papel destas novas tecnologias na escola pois, segundo Morin (2005, p. 446), “os adolescentes e professores são duas realidades imbricadas, que não se conhecem verdadeiramente”. Muitos mal-entendidos, conflitos e erros pedagógicos são cometidos pela falta desta compreensão. Daí a necessidade de se

contemplar as variadas culturas e instrumentos utilizados pelas novas gerações, ademais de incentivar debates e propostas relativas à utilização destas novas tecnologias na educação, bem como o novo papel assumido pelo professor e de sua mediação pedagógica no processo de ensino-aprendizagem.

Assim nasceu este trabalho, do intento de utilização do poder de comunicação e dos recursos à educação que o telefone celular – uma das mídias mais utilizadas na atualidade e muitas vezes mal vista pelo professor – pode trazer. Sua face destrutiva ou desagregadora deve ser considerada para que se possa evitá-la, mas seu potencial de contribuição cultural e social deve ser estimulado e aproveitado em contexto adequado. O filósofo Karl Popper já fazia essa ponderação quanto à utilização da TV ao dizer que “a televisão, cuja influência pode ser terrivelmente nociva, poderia ser, pelo contrário, uma notável ferramenta educacional” (POPPER, 1994, p. 22, tradução nossa). O mesmo pode ser dito em relação aos modernos aparatos tecnológicos, onde a convergência digital transforma um único aparelho, como o smartphone, em um dispositivo multimídia. Os celulares tornam-se cada vez mais populares que os computadores, podendo fazer quase tudo que estes fazem. Há uma convergência tecnológica nos smartphones, com a integração de vários meios de comunicação, tais como: rádio, TV, hipertexto e fotografias. Tal flexibilidade, associada à sua maior mobilidade, pelo fato de serem portáteis, torna-os um dos principais aparatos tecnológicos do mundo contemporâneo. Destarte, como em qualquer época, é difícil incrementar qualquer atividade que não esteja inserida, total ou parcialmente, nos novos aparatos tecnológicos de informação (FUSER, 2007).

Como a ampla maioria dos alunos e professores já possui um telefone celular, muito possivelmente com o sistema operacional móvel Android, consideramos acertada a escolha por desenvolver um aplicativo que possa ser utilizado por este tipo de dispositivo.

Visto que ao desenvolver aplicativos para Android é sempre necessário considerar quais versões do mesmo são compatíveis (GRIFFITHS; GRIFFITHS, 2017), salientamos que o aplicativo Kmap Solver funcionará em qualquer tablet ou telefone celular que utilize o Android a partir da versão 4.04. São versões que atingem um potencial de cerca de 98% dos mais de dois bilhões de usuários do sistema operacional do Google (ANDROID, 2019).

A PESQUISA INICIAL

A pesquisa inicial foi de cunho quantitativo e objetivou a verificação do interesse dos docentes e discentes em relação ao uso do app. Para a coleta de dados, no lugar da elaboração de um *survey* para ser aplicado em locais específicos, optamos por aproveitar as sugestões e comentários obtidos a partir do uso do app no Google Play (GOOGLE, 2019). O Google Play – ao lado da App Store da Apple, que atende usuários de iOS – é uma das duas maiores plataformas globais para a distribuição de aplicativos. Esta plataforma da Google, que é a loja oficial para dispositivos com sistema operacional Android, é uma das grandes contribuintes para a difusão e uso dos aplicativos móveis, contribuindo para o aumento da popularidade do uso da internet móvel entre os jovens. A partir do segundo trimestre de 2019, os usuários do Android puderam escolher entre 2,46

milhões de aplicativos, o que manteve a APP Store da Apple como a segunda maior loja de aplicativos, com 1,96 milhão deles disponíveis (STATISTA, 2019).

O aplicativo continua sendo elaborado em várias etapas e aprimorado pelas sugestões e comentários postados no Google Play. Inicialmente estavam disponíveis apenas soluções de mapas com três e quatro variáveis, depois foram adicionados mapas para duas e cinco variáveis, além de um sistema para alternar entre SoP (Somatório lógico de Produtos lógicos – mintermos) e PoS (Produtório lógico de somas lógicas – maxtermos), um sistema para mostrar o circuito lógico e a inclusão de variações de posicionamento nos mapas de três e quatro variáveis.

A partir dos comentários também foi possível constatar as dificuldades e dúvidas que o público discente tinha dentro do tema. Foram percebidas interessantes falhas conceituais básicas, como a própria percepção do que significa “uma expressão lógica simplificada”. Surgiram alguns questionamentos de que o aplicativo não fornecia, por vezes, a simplificação máxima, ou não mostrava quando estava simplificado. Faltava a percepção, nestes casos, de que o mapa de Karnaugh é um dispositivo que, se corretamente aplicado, fornece a máxima simplificação possível. Pode-se alterar o formato da expressão colocando-se termos em evidência ou aplicando-se as Leis de De Morgan, mas isso não implica maior simplificação da expressão. Há uma confusão entre expressão simplificada e o uso de menor número de portas lógicas que pode ser conseguido com estes ou outros artifícios (uso de portas NAND, uso de portas NOR, uso de portas X-OR, dentre outros). Isso é um conceito que deve ser solidificado com os exercícios aplicados pelo docente.

De um modo geral, a receptividade do aplicativo foi e está sendo muito boa. Até a última consulta em 25 de agosto de 2019, o aplicativo contava com 4,7 estrelas (máximo de 5 estrelas) num total de 837 avaliações:

Figura 1 – Avaliações do aplicativo



Fonte: Google Play (2020).

Como se observa na figura 1, a grande maioria dos usuários classifica o aplicativo como muito bom, atribuindo 5 estrelas. Destacamos alguns comentários nessa categoria que indicam ter sido atingido nosso objetivo didático, com abrangência de várias áreas do conhecimento:

- Ótimo. Ajudou no curso de automação industrial;
- Muito bom. Ajudou nos estudos;
- Simples e objetivo. Poderia aumentar o número de variáveis;
- Era disso que eu precisava;
- Ajuda muito na simplificação de circuitos;
- Faço curso técnico de eletrônica e esse app me ajudou muito a entender o mapa de Karnaugh;
- Algoritmo excelente. Um dos poucos que não retorna redundâncias. Entrou na minha lista de aplicativos úteis para o ensino. Logo comprarei a versão full para indicar para os meus alunos;

- Ótimo para utilizar no aprendizado de eletrônica digital;
- Companhia perfeita para as aulas de eletrônica digital;
- Salvou minha vida. Tirei 10 em eletrônica digital;
- Muito bom. Principalmente com a exibição dos circuitos simplificados.

A interface, modelo de solução e visualização dos resultados, é única para este aplicativo e foi idealizada especialmente para facilitar a compreensão do método original. Há, inclusive, um sistema de animação mostrando os agrupamentos e a extração dos termos finais da solução. Além disso, o aplicativo foi desenvolvido com o cuidado em permitir diferentes tipos e variações de mapa de Karnaugh presentes na ampla e variada literatura de sistemas digitais (BOGART, 1992; DESCHAMPS; VALDERRAMA e TERÉS, 2019; FLOYD, 2007; HOROWITZ; HILL, 2015; KATZ; BORRIELLO, 2004; TOCCI; WIDMER e MOSS, 2011; UYEMURA, 2002), para simplificar a adaptação de professores e alunos. Por simples análise, já foi possível detectar alguns pontos relevantes no tocante ao interesse pelo tema em áreas como eletrônica, mecatrônica e ciência da computação, bem como captar as necessidades e expectativas de aprimoramento.

TEORIA DE MAPAS DE KARNAUGH

Mapa de Karnaugh é um método gráfico de organização de expressões lógicas booleanas que permite facilmente localizar variáveis comuns em seus termos, executando, assim uma simplificação (KARNAUGH, 1953; TOCCI; WIDMER e MOSS, 2011; UYEMURA, 2002; VEITCH, 1952).

O problema geralmente se inicia a partir de uma tabela verdade, onde são gerados termos de uma equação lógica a ser simplificada. Nesse caso, há duas opções: uma soma de produtos lógicos (abreviado “SoP”, em inglês) ou um produto de somas lógicas (abreviado “PoS”, em inglês).

No primeiro caso (SoP), haverá um termo da equação para cada elemento “um” da tabela verdade, formando os chamados mintermos. Caso a tabela verdade possua três variáveis, por exemplo, o elemento de número cinco, ou $(101)_2$ em binário, é representado pelo produto lógico (função E) entre as variáveis A, B invertido e C, expressado como $A\bar{B}C$.

No segundo caso (PoS), cada termo da equação passa a ser representado pelos elementos “zero” da tabela verdade, formando os chamados maxtermos. No mesmo exemplo anterior, o elemento $(101)_2$ da tabela é representado pela soma lógica (função OU) entre as variáveis A invertido, B e C invertido, expressado como $\bar{A} + B + \bar{C}$.

Ambos os casos são equivalentes lógicos. Como o maxtermo representa um elemento “zero” e o mintermo um elemento “um”, pode-se demonstrar pelo teorema de De Morgan (TOCCI; WIDMER e MOSS, 2011) que $A\bar{B}C = \overline{\bar{A} + B + \bar{C}}$.

A tabela verdade, transformada em maxtermos ou mintermos, é então representada colocando-se os termos “zero” e “um”, respectivamente, nas células do mapa de Karnaugh. Os elementos #1, #3, #5, #6 e #7, no exemplo da Tabela 1, são representados em SoP pela equação lógica $\bar{A}\bar{B}C + \bar{A}BC + A\bar{B}C + AB\bar{C} + ABC$.

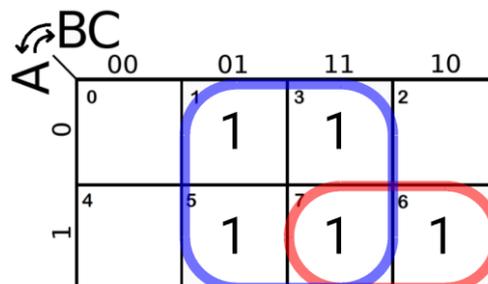
Tabela 1 – Exemplo de tabela verdade com três variáveis

#	ABC	0 / 1
#0	000	0
#1	001	1
#2	010	0
#3	011	1
#4	100	0
#5	101	1
#6	110	1
#7	111	1

Fonte: Autores (2020).

A figura 2 mostra os elementos da Tabela 1 em um mapa de Karnaugh de três variáveis. Os termos potenciais para simplificação aparecem em células adjacentes. Células vizinhas, como por exemplo 1, 3, 5 e 7, podem ser agrupadas para simplificação (em azul), assim como os vizinhos 7 e 6 (em vermelho). Vale salientar, na figura 2, que não estão representados os zeros.

Figura 2 – Mapa de Karnaugh de três variáveis



Fonte: Autores (2020).

O professor deve reforçar, em exercícios com mapa de Karnaugh, que também ocorrem vizinhanças entre as células que ocupam posições opostas no mapa, tanto em 0 e 2 como em 4 e 6.

A partir da disposição dos elementos, o método de minimização por mapas de Karnaugh segue as regras abaixo:

- Formar grupos com 1, 2, 4, ... 2^n vizinhos, onde n é o número de variáveis;
- Agrupar até que todos façam parte de pelo menos um grupo. Elementos podem fazer parte de mais de um grupo.

Os agrupamentos encontrados na figura 2, como resposta do mapa de Karnaugh, também são chamados implicantes principais e dão origem à expressão lógica de saída. Para encontrar esta expressão, devem-se manter os valores que são comuns aos elementos do grupo e eliminar as diferenças. No caso do grupo de

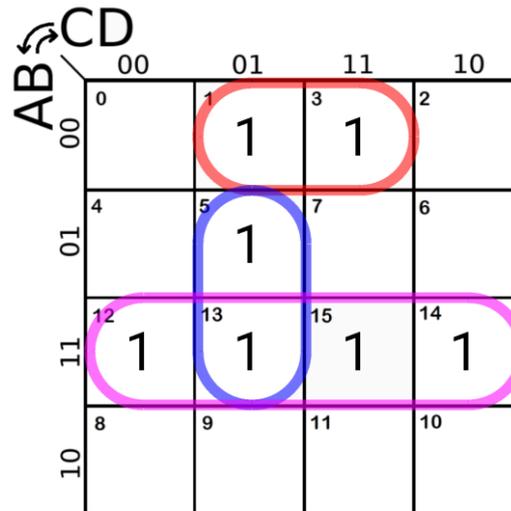
quatro elementos (em azul), a variável C (bit menos significativo) é comum e no caso do grupo de dois elementos (em vermelho), as variáveis A e B são mantidas.

Tabela 2 – Exemplo de tabela verdade com quatro variáveis

#	ABCD	0 / 1	#	ABCD	0 / 1
#0	0000	0	#8	1000	0
#1	0001	1	#9	1001	0
#2	0010	0	#10	1010	0
#3	0011	1	#11	1011	0
#4	0100	0	#12	1100	1
#5	0101	1	#13	1101	1
#6	0110	0	#14	1110	1
#7	0111	0	#15	1111	1

Fonte: Autores (2020).

Figura 3 – Exemplo de mapa de Karnaugh resolvido com quatro variáveis



Fonte: Autores (2020).

Dessa forma, a simplificação para a expressão inicial $\overline{A}\overline{B}C + \overline{A}BC + A\overline{B}C + A\overline{B}\overline{C} + ABC$ será $AB + C$.

Geralmente, o mapa de Karnaugh mais complexo utilizado na prática é de quatro variáveis (TOCCI; WIDMER e MOSS, 2011). Neste caso, há 16 células dispostas em um quadrado. As regras de agrupamento são as mesmas e dessa forma, seguindo o exemplo da Tabela 2, a seleção de grupos seria como indicado na figura 3.

Assim como nos mapas de três variáveis, o professor deve enfatizar que há vizinhança (por oposição) entre as células 0;1;2;3 e 8;9;10;11, além de 0;4;12;8 e 2;6;14;10, respectivamente. Encontrar corretamente os grupos requer algum treinamento e exercícios em sala de aula, o que justifica o desenvolvimento de um *software* de apoio.

O ALGORITMO DO APLICATIVO

Ao se desenvolver um programa de computador que determine a solução de mapas de Karnaugh, a primeira dificuldade encontrada é a falta de adequação do método visual original para implementação em forma de algoritmo. O sistema gráfico em mapa e as regras de agrupamento foram idealizados para serem aprendidos por pessoas, não para serem convertidos em regras e expressões em um computador (KARNAUGH, 1953; VEITCH, 1952).

Mesmo que seja idealizada uma eficiente adaptação computacional do método gráfico, esta não seria completa, ou seja, apenas uma das soluções possíveis seria encontrada em um mapa de Karnaugh. Alguns exemplos de tabela verdade podem ter mais de uma resposta mínima e a proposta do aplicativo é encontrar todas estas.

A opção por tornar o método completo, de forma a encontrar todas as soluções possíveis para um dado problema, foi escolhida para que nenhum exemplo na ampla literatura da área (BOGART, 1992; DESCHAMPS; VALDERRAMA e TERÉS, 2019; FLOYD, 2007; HOROWITZ; HILL, 2015; KATZ; BORRIELLO, 2004; TOCCI; WIDMER e MOSS, 2011; UYEMURA, 2002), ou resoluções em sala de aula deixem de ser registrados pelo aplicativo como possível resposta.

Para garantir o funcionamento completo e eficiente do aplicativo, escolheu-se encontrar a resposta simplificada da expressão utilizando uma variação do algoritmo tabular de Quine-McCluskey (KATZ; BORRIELLO, 2004; McCLUSKEY, 1956; QUINE, 1952) e assim implementar um sistema que visualize os grupos encontrados na simplificação. Em outras palavras, o aplicativo faz a simplificação, exibe a resposta final como mapa e seus respectivos agrupamentos, mas não executa diretamente o método de mapa de Karnaugh propriamente dito.

O algoritmo utilizado pelo aplicativo inicia gerando uma sequência de caracteres para cada mintermo (ou maxtermo) de acordo com sua representação binária. Baseando-se no caso da Tabela 2, a sequência de caracteres inicial seria como a exibida na tabela Tabela 3.

A partir da Tabela 3, cada sequência de caracteres é comparada com todas as outras. Sempre que a diferença entre duas sequências for de apenas um bit, ou seja, um caractere, um novo agrupamento é gerado e será copiado para a segunda etapa do algoritmo.

Tabela 3 – Sequência de caracteres inicial do algoritmo

#	Sequência de caracteres
#1	"0001"
#3	"0011"
#5	"0101"
#12	"1100"
#13	"1101"
#14	"1110"
#15	"1111"

Fonte: Autores (2020).

Por exemplo: o termo “0001” é comparado com “0011”. Como a diferença entre ambos é apenas no terceiro bit do código, é gerado um novo agrupamento, onde o bit diferente tem seu caractere substituído por “_” e passa a ser “00_1”.

As combinações se seguem até que todas as diferenças de apenas um bit tenham sido encontradas. A Tabela 4 mostra as sequências de caracteres que farão então parte da segunda etapa do algoritmo.

Tabela 4 – Combinações encontradas seguem a segunda etapa do algoritmo

Combinações	Sequência de caracteres
#1 e #3	“00_1”
#1 e #5	“0_01”
#5 e #13	“_101”
#12 e #13	“110_”
#12 e #14	“11_0”
#13 e #15	“11_1”
#14 e #15	“111_”

Fonte: Autores (2020).

Na segunda etapa, continua-se a procurar diferenças de apenas um bit entre as sequências, onde o caractere “_” passa a ser considerado. Os termos “11_0” e “11_1”, por exemplo, possuem apenas um bit diferente e podem ser combinados em “11_”. A Tabela 5 mostra as combinações encontradas que farão parte da terceira etapa do algoritmo.

Tabela 5 – Combinações encontradas (* são implicantes principais)

Combinações	Sequência de caracteres	Implicante principal
#1 e #3	“00_1”	*1
#1 e #5	“0_01”	*2
#5 e #13	“_101”	*3
#12, #13, #14 e #15	“11_”	*4

Fonte: Autores (2020).

A qualquer momento do algoritmo, sempre que uma sequência não puder ser combinada com nenhuma outra, ela é marcada como importante, também conhecida como implicante principal. A Tabela 5 faz esta marcação com “*” em todas as sequências, pois nenhuma poderá ser combinada.

A partir do momento que todos os implicantes principais são encontrados, a resposta final mais simplificada pode ser obtida combinando estes implicantes de forma que todos os mintermos originais sejam escolhidos ao menos uma vez. Isso poderá ocorrer em duas situações: escolher os implicantes principais *1, *3 e *4 ou então *1, *2 e *4. Como ambas as combinações são igualmente simples, estas são as duas possíveis respostas para a simplificação, como mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Resposta final (SoP) como combinação dos implicantes principais

Combinações	Resposta final
*1, *3 e *4	$AB + \bar{A}\bar{B}D + B\bar{C}D$
*1, *2 e *4	$AB + \bar{A}\bar{B}D + \bar{A}\bar{C}D$

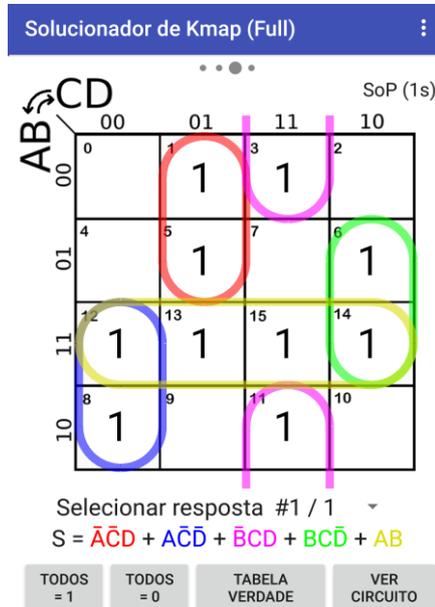
Fonte: Autores (2020).

Seguindo o algoritmo descrito, todas as soluções para qualquer mapa de Karnaugh até cinco variáveis, incluindo termos “não-importa” (TOCCI; WIDMER e MOSS, 2011), podem ser encontradas em menos de 10ms, o que permite revolver o mapa à medida que novos termos são adicionados pelo usuário em tempo inferior à atualização do sistema gráfico, mesmo em um modesto dispositivo Android.

INTERFACE GRÁFICA

A interface gráfica foi idealizada para reproduzir, o mais semelhante possível, um desenho em sala de aula de um mapa de Karnaugh. Os valores não selecionados, indicados como zero, não são mostrados para facilitar o entendimento. Além disso, diferentes cores são utilizadas para identificar os termos da equação final, bem como os grupos que estes representam. A figura 4 mostra um exemplo resolvido na interface do programa.

Figura 4 – Interface do aplicativo Kmap Solver



Fonte: Autores (2020).

Estão disponíveis, no aplicativo, mapas de Karnaugh de duas até cinco variáveis (KATZ; BORRIELLO, 2004). A interface também possui botões para mostrar a tabela verdade, para ver o circuito lógico final simplificado e para colocar todas as células como “um” ou “zero”, facilitando a entrada de dados.

Como a maioria dos dispositivos móveis (celulares e tablets) possuem uma disposição que favorece o uso em modo retrato (com a largura menor que a altura), escolhemos desenvolver a interface ocupando o máximo possível o espaço vertical do aparelho.

Para modificar os valores de entrada, o usuário pode tocar em cada um dos compartimentos do mapa e assim trocar o valor de “zero” para “um”, de “um” para “não-importa” e deste para “zero” novamente. À medida que os dados são modificados, o algoritmo é executado e o mapa é atualizado, mostrando ao aluno imediatamente qual a consequência de ter alterado os valores iniciais.

Vale lembrar que quando um agrupamento é feito em vermelho, por exemplo, o termo que este representa na equação final, na parte inferior da interface, também possui a mesma cor, facilitando o entendimento do aluno, que pode perceber qual grupo é responsável por cada termo na resposta final.

Também é possível incluir valores utilizando uma tabela verdade, procedimento usado, em geral, no início da maioria dos exercícios encontrados em livros (BOGART, 1992; DESCHAMPS; VALDERRAMA e TERÉS, 2019; FLOYD, 2007; TOCCI; WIDMER e MOSS, 2011; UYEMURA, 2002). Para mostrar o resultado da simplificação na tabela verdade, foi também idealizado um sistema de indicadores coloridos simbolizando cada agrupamento encontrado, utilizando as mesmas cores do mapa.

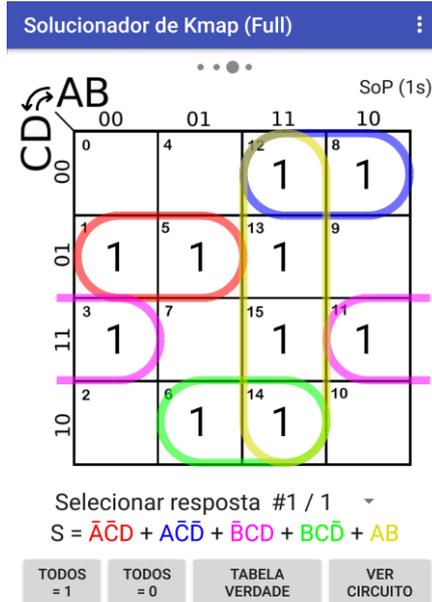
VARIAÇÕES DE POSICIONAMENTO

A grande maioria dos mapas de Karnaugh possui a variável mais significativa, geralmente denominada **A**, na posição vertical, enquanto a variável menos significativa está na horizontal. Apesar de menos comum, frequentemente são encontrados mapas com posições invertidas.

Nos mapas com três variáveis, a vertical é geralmente ocupada por **A** e a horizontal por **BC** (BOGART, 1992; DESCHAMPS; VALDERRAMA e TERÉS, 2019; UYEMURA, 2002). Já nos mapas com quatro variáveis, a vertical é ocupada por **AB** e a horizontal por **CD** (BOGART, 1992; DESCHAMPS; VALDERRAMA e TERÉS, 2019; TOCCI; WIDMER e MOSS, 2011; UYEMURA, 2002). Para se adaptar às variações invertidas encontradas em diversas literaturas (KATZ; BORRIELLO, 2004; HOROWITZ; HILL, 2015), é possível tocar na parte superior esquerda do mapa, nas setas entre as variáveis, e inverter suas posições.

Quando o usuário troca o estilo de mapa, os valores iniciais são movidos para novas posições. Nada é perdido, pois o resultado é sempre, obviamente, o mesmo. A figura 6 mostra o mesmo mapa da figura 5 com as variáveis AB e CD invertidas.

Figura 6 – Variáveis AB e CD invertidas

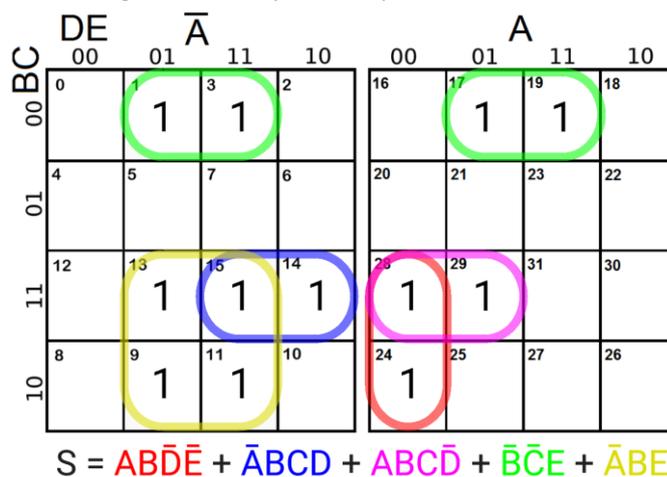


Fonte: Autores (2020).

MAPA DE CINCO VARIÁVEIS

No caso do mapa de cinco variáveis, optou-se por utilizar a interface em modo paisagem (com a largura maior que a altura). Mapas com mais de 4 variáveis são incomuns, mas ainda encontrados na literatura de sistemas digitais (KATZ; BORRIELLO, 2004; FLOYD, 2007). A figura 7 mostra um exemplo de mapa de cinco variáveis.

Figura 7 – Exemplo de mapa de cinco variáveis



Fonte: Autores (2020).

SELEÇÃO POR SoP e PoS

A ampla maioria dos exercícios e exemplos em mapas de Karnaugh limita-se a agrupar os valores “um” da tabela verdade, ignorando os “zeros”. Este método

gera uma saída no formato de soma de produtos lógicos (SoP). Para se obter um resultado equivalente usando produto de somas lógicas (PoS), podem ser agrupados os “zeros” no mapa (KATZ; BORRIELLO, 2004). Embora menos comum, esta variação foi bastante sugerida pelos usuários do programa e exigida em diversos cursos de sistemas digitais ao redor do mundo.

No aplicativo, a troca de SoP por PoS pode ser feita tocando no texto do canto superior direito do mapa. A resposta é logicamente equivalente.

GERAÇÃO DO CIRCUITO

O aplicativo também exibe o circuito lógico que representa a simplificação encontrada pelo mapa de Karnaugh. Para isso, foi escolhida a simbologia tradicional (BOGART, 1992; TOCCI; WIDMER e MOSS, 2011) em detrimento da IEC (International Electrotechnical Commission) para portas lógicas E (AND), OU (OR) e suas versões negadas (NAND e NOR).

O algoritmo funciona escolhendo uma entre oito imagens de base que contém, respectivamente, uma, duas, três e até oito portas de entrada. As oito imagens também possuem uma trama de distribuição dos sinais que representam as variáveis ABCD e uma porta de saída que combina as portas de entrada, caso seja necessário.

A figura 8 mostra quatro das oito imagens disponíveis no gerador de circuitos. A imagem #1 possui apenas uma porta de entrada e não há porta adicional de saída. As imagens #2, #3 e #4 possuem duas, três e quatro portas de entrada, respectivamente, e a porta de saída que combina os termos.

De acordo com o número de termo da equação a ser convertida, o algoritmo gerador de circuitos decidirá qual das oito imagens irá exibir. No caso de três termos, como nas respostas finais do exemplo da Tabela 6, a imagem #3 será exibida.

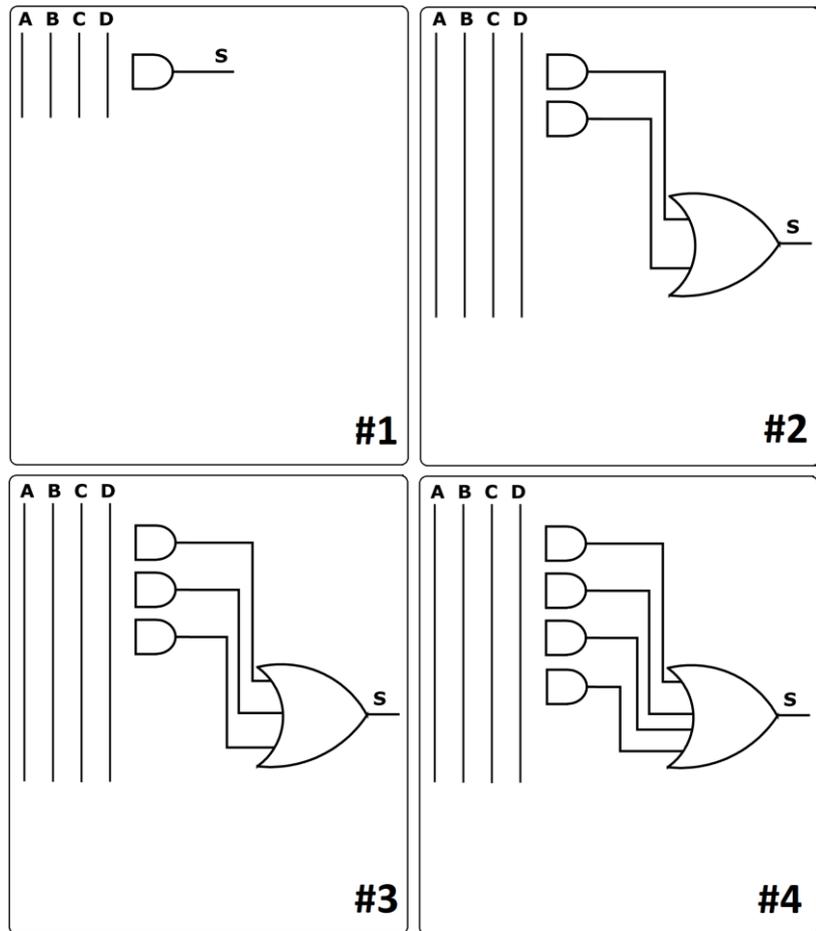
A partir desse ponto, o algoritmo conecta graficamente as portas de entrada à trama vertical de distribuição de sinais e adiciona um círculo para as entradas invertidas.

Caso um dos termos possua apenas uma variável, a porta de entrada é apagada ou substituída por uma imagem de um inversor.

A figura 9 mostra o circuito lógico que representa a simplificação do mapa da figura 4. Neste caso há cinco termos, portanto, uma imagem com cinco portas lógicas de entrada foi utilizada como base.

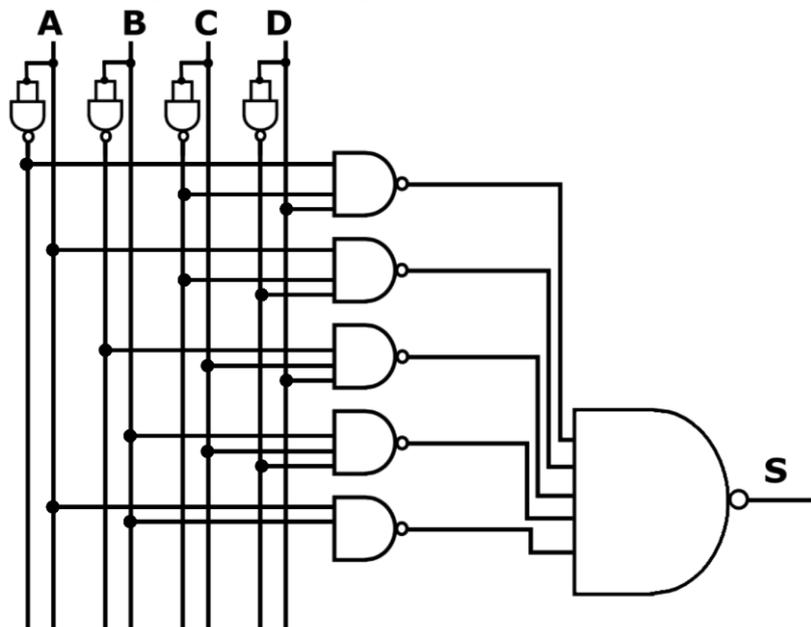
Seguindo semelhante algoritmo, o aplicativo também gera versões do circuito usando inversores lógicos comuns na trama de distribuição de sinais, além das versões contendo apenas portas lógicas NAND e portas lógicas NOR.

Figura 8 – Quatro das oito imagens do gerador de circuitos



Fonte: Autores (2020).

Figura 9 – Circuito lógico apenas com portas NAND



Fonte: Autores (2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com cerca de 140 mil instalações desde o lançamento em agosto de 2016, o Kmap Solver (MOUTINHO, 2019) possui o maior número de downloads entre os aplicativos que fazem a mesma tarefa, mesmo considerando que ampla maioria está disponível no Google Play há bem mais do que cinco anos.

O aplicativo possui uma pontuação de cerca de 4,7 estrelas em mais de 800 avaliações voluntárias feitas por usuários. A máxima avaliação de 5 estrelas foi recebida em 85% dos casos.

O número de instalações mostra que a simplificação por mapas de Karnaugh ainda faz parte de muitos programas e ementas de sistemas digitais em faculdades e escolas técnicas por todo o mundo, sendo o aplicativo uma eficiente ferramenta no suporte ao aprendizado para alunos e professores.

Como trabalho futuro, espera-se melhorar a interface gráfica do aplicativo, incluir ainda mais diferentes opções de formato de mapa de Karnaugh e a possibilidade de renomear as variáveis de entrada – o que flexibilizaria seu uso em exercícios de simplificação em disciplinas da área de matemática e lógica, como Álgebra I. Além disso, pretende-se incluir um vídeo explicativo que elucide o método para alunos iniciantes.

KMAP SOLVER: A FREE MOBILE APPLICATION TO TEACH KARNAUGH MAP MINIMIZATION

ABSTRACT

The objective of this work is to document the development of a didactic application for Google Android – operating system for mobile devices –, capable of solving logical expressions of up to five variables, showing solutions obtained through Karnaugh maps. The Karnaugh map is a traditional method of simplifying Boolean expressions that enables, from a graphical visualization, to find variables in common between terms to be minimized. Although simple to use, competently learning to operate the map requires training and examples with various combinations of variables - practices facilitated by the application. The research carried out from the assessments obtained in Google Play revealed that there is interest of students and teachers in the use of the application as didactic support in computer science, electronics, and other related teaching areas, both in the technical and undergraduate courses. From the suggestions collected in our research, we aim in a future work to implement some adaptations in the algorithm, making it more versatile, so that it can be applied to disciplines for specific purpose, such as logic algebra. The very development of the algorithm introduced here also represents an excellent exercise in the logic programming teaching, in addition to the Boolean logic.

KEYWORDS: Android application. Logical expressions. Karnaugh map. Logic teaching.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a prof.^a Suzana Jorge de Carvalho pela revisão final do texto.

REFERÊNCIAS

ANDRADES, J. C. C. **Estratégias de integração disciplinar para a educação tecnológica**: abordagens utilizadas no ensino de eletrônica no CEFET/RJ. 2007. 193 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro, 2007.

ANDRADES, J. C. C. Interpretando as características geracionais: um recurso para a formação de professores em educação científica. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA, 14., 2014, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2014.

ANDRADES, J. C. C.; GRINSPUN, M. P. S. Z. Reflexões sobre os efeitos de coorte na educação tecnológica. **Revista Tecnologia e Cultura**, Rio de Janeiro-RJ, ano 12, n. 16, p. 48-56, jan./jun. 2010.

ANDROID. **A história do Android**. Disponível em:<
https://www.android.com/intl/pt-BR_br/history/#/marshmallow>. Acesso em: 18 jul. 2019.

BELLONI, M. L. **O que é mídia-educação?** 2. ed. Campinas: A. Associados, 2005. (Coleção Polêmicas do nosso tempo).

BOGART, T. F. **Introduction to digital circuits**. Glencoe: McGraw Hill, 1992.

BORRULL, A.S. Qué es la generación Alfa, la primera que será 100% digital. In: **BBC News Mundo**, 28 maio 2019. Disponível em:
<<https://www.bbc.com/mundo/noticias-48284329>>. Acesso em: 26 jul. 2019.

BRASIL. Ministério de Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC; Consed; Undime, 2018. 596 p.

DESCHAMPS, J. P.; VALDERRAMA, E.; TERÉS, L. **Digital systems: from logic gates to processors**. New York: Springer, 2019.

FERREIRA, R.C.; DUARTE, S. Ensino de programação: trajetória histórico-social e os avanços na cultura digital do Brasil. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 12, n. 1, p. 386-408, jan./abr. 2019.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia**: saberes necessários à prática educativa. 35. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FLOYD, T. L. **Sistemas digitais**: fundamentos e aplicações. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

FUSER, B. As novas tecnologias da comunicação e da informação no panorama da inclusão social e digital. In: Coutinho, I.; Silveira Jr, P.M. (Org.), **Comunicação: tecnologia e identidade**. Rio de Janeiro: Mauad X, 2007. p. 73-91.

GOOGLE. **Google Play**. Disponível em: <<https://play.google.com/store>>. Acesso em: 18 jul. 2019.

GRIFFITHS, D.; GRIFFITHS, D. **Headfirst android development**: a brain friendly guide. 2. ed. Cambridge: O'reilly, 2017.

HOROWITZ, P.; HILL, W. **The art of electronics**. 3. ed. Cambridge: Cambridge University, 2015.

KARNAUGH, M. The Map Method for Synthesis of Combinational Logic Circuits. **Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Part I: Communication and Electronics**, v. 72, n. 5, p. 593–599, nov. 1953.

KATZ, R. H; BORRIELLO, G. **CONTEMPORARY LOGIC DESIGN**. 2. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2004.

LIMA Jr., A. S. **Tecnologias inteligentes e educação**: currículo hipertextual. Rio de Janeiro, RJ: Quartet Editora & Comunicação; Juazeiro, BA: FUNDESF, 2005. (Série Ciberultura e educação).

MASETTO, M. T. Mediação pedagógica e o uso da tecnologia. In: BEHRENS, Marilda Aparecida, **Novas tecnologias e Mediação Pedagógica**. 10. ed. Campinas: Papirus, 2006. p. 133-173.

McCLUSKEY Jr.; E. J. Minimization of Boolean functions. **Bell System Technical Journal**, New York, v. 35, n. 6, p. 1417-1444, nov. 1956.

MORIN, E. **A religião dos saberes: o desafio do século XXI**. 5 ed. Rio Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

MOUTINHO, A. M. **Solução para mapas de Karnaugh**: site do Google Play. Disponível em: <<https://goo.gl/GTrRpo>>. Acesso em: 18 jul. 2019.

POPPER, K.; CONDRY, J. **La Télévision: un danger pour la démocratie**. Paris: Anatolia, 1994.

QUINE, W. V. O. The Problem of Simplifying Truth Functions. **The American Mathematical Monthly**, Washington D.C., v.59, n. 8, p. 521–531, out. 1952.

SÁ, P.; PAIXÃO, F. **Competências-chave para todos no séc. XXI: orientações emergentes do contexto europeu**. **Interações**, n. 39, p. 243-254, 2015.

STATISTA. **Number of apps available in leading app stores as of 2nd quarter 2019**. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/276623/number-of-apps-available-in-leading-app-stores>>. Acesso em 25 ago. 2019.

TOCCI, R. J.; WIDMER, N. S.; MOSS, G. L. **Sistemas digitais: princípios e aplicações**. 11. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

UYEMURA, J. P. **Sistemas Digitais: uma abordagem integrada**. São Paulo: Thompson, 2002.

VEITCH, E. W. **A Chart Method for Simplifying Truth Functions**. In: *Proceedings ACM Conference*. 1952, Pittsburgh. Pittsburgh, NY: ACM, 1952. pp. 127-133.

Recebido: 02 fev. 2020.

Aprovado: 25 jan. 2021.

DOI: 10.3895/rbect.v14n1.11585

Como citar: MOUTINHO, A. M.; ANDRADES, J. C. C.; PEREIRA, J. F.; RODRIGUES, J. A. F. C. R.; CAMILLO, L. M. Kmap Solver: um aplicativo móvel gratuito para o ensino de simplificações pelo mapa de Karnaugh. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v.14, n. 1, p. 58-78, jan./abr. 2021. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/11585>>. Acesso em: XXX.

Correspondência: Adriano Martins Moutinho - adriano.moutinho@cefet-rj.br

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

