

Análise de erro em avaliação de sistemas digitais: uma questão com lógica *AND* e *flip-flop*

Error analysis in evaluation of digital systems: a question with logic *AND* and *flip-flop*

Maria Luisa Perdigão Diz Ramos

mlperdigao@yahoo.com.br

Edda Curi

edda.curi@cruzeirodosul.edu.br

Resumo

Este artigo tem como objetivo classificar, analisar e discutir erros cometidos em uma questão sobre lógica *AND* e *flip-flop*. A metodologia de pesquisa usada foi análise de conteúdo da produção escrita dessa questão, através de categorização dos erros. Essa questão faz parte de uma avaliação composta de cinco questões abertas, aplicada a 41 alunos do 1º ano do curso técnico de uma escola pública de MG. Com o resultado, foi possível constatar que a maioria dos alunos compreende que o *flip-flop* J-K possui entradas que operam de forma sincronizada, alterando a saída somente na transição do clock. Mas, ao analisarem as saídas das portas *AND*, que se encontram conectadas ao *flip-flop*, levaram em consideração, incorretamente, que elas são disparadas na transição do clock e não na mudança de nível das entradas.

Palavras-chave: Lógica *AND*. *Flip-flop*. Erros.

Abstract

This article aims to classify, analyze and discuss errors made in a question of logic *AND* and *flip-flop*. The research methodology used was content analysis of the written production of this question, through categorization of errors. This question is part of an evaluation consisting of five open questions, applied to 41 students in their 1st year of a technical course in a public school of Minas Gerais-Brazil. With the result, it was found that most students understand that the J-K *flip-flop* has inputs that operate synchronized manner, changing the output only on the clock edge. However, when analyzing the outputs from *AND* gates, which are connected to the *flip-flop*, it was taken into consideration, incorrectly, that they are triggered on the clock edge and not on the level change of the entries.

Keywords: Logic *AND*. *Flip-flop*. Errors.

Introdução

A análise de erros em produções escritas no ensino de matemática tem se tornado uma fonte para construção do conhecimento, tanto por parte do aluno quanto por parte do professor. Através da análise de conteúdo dessas produções, é possível que o professor perceba a linha de raciocínio utilizada pelo aluno e quais as dificuldades dele. Segundo Cury (2008), “[...] analisar as produções é uma atividade que traz, para o professor e para os alunos, a possibilidade de entender mais de perto, como se dá a apropriação do saber pelos estudantes” (p. 13).

Nem sempre as questões resolvidas pelo aluno indicam conhecimento, pois é possível acertar sem a devida compreensão da resposta dada ou até mesmo repetir uma ideia bem-sucedida na resolução de um problema anterior. Starepravo (2010) corrobora com a ideia ao citar: “Acertar sem entender o porquê, num espaço em que a aprendizagem deve ser de orientação racional – como é o caso da escola – não nos parece ser muito mais prudente do que errar” (p. 230). Além disso, a autora cita ainda a importância dos alunos compreenderem as causas dos fracassos e dos sucessos.

A partir dos erros cometidos pelo aluno ou de um questionamento a respeito do conteúdo ensinado, o professor pode perceber que o entendimento sobre o assunto abordado não ficou claro. Bisognin, Fioreze e Cury (2005) afirmam que “Conhecer as concepções dos alunos sobre algum conceito, analisar como ele pensa ao resolver um problema são elementos que podem fazer da análise de erros uma forma de analisar a própria prática pedagógica” (p. 32). Assim, cabe ao professor investigar, questionar e procurar entender o que levou o aluno a cometer o erro e então interferir em sua prática pedagógica.

Muitos são os trabalhos de pesquisa no ensino de matemática, em diversos níveis, que têm como objetivo classificar e analisar os erros cometidos pelos alunos. Em seu artigo, Cury e Bisognin (2009) apresentam o resultado parcial de um projeto de pesquisa desenvolvido com calouros em universidades privadas no sul do Brasil, nas disciplinas de matemática, abordando o conteúdo de sistema de equações lineares. Também é apresentada em artigo por Leivas e Cury (2010) a análise de erros cometidos por professores de matemática em formação continuada de cinco Instituições de Ensino Superior do Rio Grande do Sul ao resolverem um problema em geometria. O foco do trabalho de Silva e Buriasco (2005) é a análise da produção escrita de 25 alunos da 4ª série do Ensino Fundamental, em uma questão aberta de matemática sobre resolução de problemas. Em seu trabalho, Cury (2008) descreve a

utilização da análise de conteúdo em produção escrita para apresentar um levantamento de erros cometidos por 17 alunos do curso de Engenharia Química, na disciplina de Cálculo, em questões que solicitavam esboço do gráfico de funções.

Neste artigo, o objetivo é classificar e analisar os erros cometidos em uma questão que abrange lógica *AND* e *flip-flop* (FF) e discutir suas possíveis causas. A finalidade é usar o erro como reavaliação da prática pedagógica com relação aos conteúdos da questão analisada, visto que “[...] diferentes tipos de erros exigem diferentes ações do professor, a primeira coisa a fazer é o professor aprender a identificá-los, distinguir qual a natureza de cada um deles, bem como que ações realizarem para que sejam superados” (SILVA; BURIASCO, 2005, p. 501).

1. Fundamentação teórica sobre lógica *AND* e *flip-flop*

A lógica *AND* faz parte das operações booleanas básicas. O símbolo que representa essa operação é o mesmo que representa a operação de multiplicação convencional (\cdot), apesar dessa operação não ser uma multiplicação. Entretanto, operações *AND* sobre variáveis booleanas terão resultados equivalentes à operação de multiplicação, isto é, qualquer variável de entrada em nível lógico 0 leva o resultado de saída para nível lógico 0. Taub (1984) cita que “[...] uma estrutura que gera uma função lógica *Z* é chamada de *porta lógica*” (p. 8, grifo no original). Uma operação *AND* sobre as entradas de um circuito é, portanto, realizada por uma porta lógica *AND*.

Uma porta *AND* de duas entradas (*A* e *B*) terá como expressão de saída $Z = A \cdot B$ ou $Z = AB$, sendo que, no caso da porta *AND*, o símbolo pode ser omitido. Segundo Tocci, Widmer e Moss (2011), nesse tipo de operação, “A saída de uma porta *AND* será 1 *somente* quando *todas* as entradas forem 1; para todos os outros casos, a saída será 0” (p. 55, grifo no original). Assim, para que o valor de *Z* seja igual a 1, então $A = B = 1$. Se *A* ou *B* ou ambos forem 0, o valor de *Z* será 0. Dessa forma, podemos dizer que a porta *AND* pode ser usada como um circuito inibidor, isto é, basta que uma das entradas tenha nível lógico 0 para que a saída fique em nível lógico 0. Nesse tipo de dispositivo, quando houver mudança de nível lógico nas entradas, a saída é alterada imediatamente.

Um dos elementos de memória mais importante é chamado de *flip-flop*. O *flip-flop* é um dispositivo eletrônico constituído de portas lógicas, conectadas de tal maneira que as tornam

capazes de armazenar informações. Esse dispositivo apresenta duas saídas opostas identificadas como Q e Q'¹. Além das saídas opostas, cada *flip-flop* possui uma ou mais entradas. Um dos tipos de *flip-flop*, denominado J-K, pode possuir cinco entradas, sendo uma delas identificada como entrada de *clock* (aqui denominada por CLK ou C). A entrada de *clock* é responsável pela modificação sincronizada dos valores na saída. Tais valores são definidos pelas entradas síncronas (ou entradas de controle) denominadas J e K, as quais alteram os valores de saída no momento de transição do *clock*. Segundo Tocci, Widmer e Moss (2011), “[...] entradas de controle não terão efeito sobre a saída Q, até que uma transição ativa do clock ocorra [...] o efeito dessas entradas está sincronizado com o sinal aplicado na entrada CLK. Por isso, são denominadas **entradas de controle síncronas**” (p. 186, grifo no original). Resumidamente, podemos dizer que, no caso do *flip-flop*, as entradas de controle são responsáveis por definir para qual estado a saída deve ir, enquanto que a entrada de *clock* determina o momento que isso deve acontecer em função das entradas de controle.

O sinal de *clock* pode possuir transição positiva ou negativa. A transição é chamada positiva quando o sinal de *clock* vai de 0 para 1 (borda de subida) e negativa quando o sinal de *clock* vai de 1 para 0 (borda de descida). Os valores binários que poderão ser colocados nas entradas J e K são responsáveis pelos valores que serão atribuídos nas saídas Q e Q' quando ocorrer transição do *clock*. Nessa transição, quando J = K = 0, as saídas Q e Q' terão seus valores mantidos, isto é, não mudam. Para J = 0 e K = 1, a saída Q irá para 0 (e Q' = 1); já para J = 1 e K = 0, as saídas serão Q = 1 e Q' = 0. E finalmente, J = K = 1 os valores de Q e Q' irão comutar, isto é, se Q era 0 ficará com 1, se Q era 1 ficará com 0 e Q' terá valor oposto ao de Q (TAUB, 1984).

Além disso, os valores de saídas do *flip-flop* J-K poderão ser alterados também, através de duas entradas assíncronas, identificadas como *PRESET* e *CLEAR*, que operam independentemente das entradas síncronas (J e K) e da entrada de *clock*. Essas entradas quando ativadas, independentemente do que estiver acontecendo com as outras entradas síncronas, alteram os valores de Q e Q' imediatamente, sendo que a entrada *PRESET* mantém o *flip-flop* no estado Q = 1 e a entrada *CLEAR*, por sua vez, mantém o *flip-flop* no estado Q = 0. Em algumas aplicações, as entradas assíncronas não são usadas, por esse motivo são mantidas desativadas (TOCCI; WIDMER; MOSS, 2011). Neste artigo, consideraremos as

¹ O apóstrofo é o indicador de inversão que iremos usar neste artigo, mas em seu lugar pode ser usada a barra sobre a variável Q, conforme apresentado no circuito lógico da questão aqui analisada.

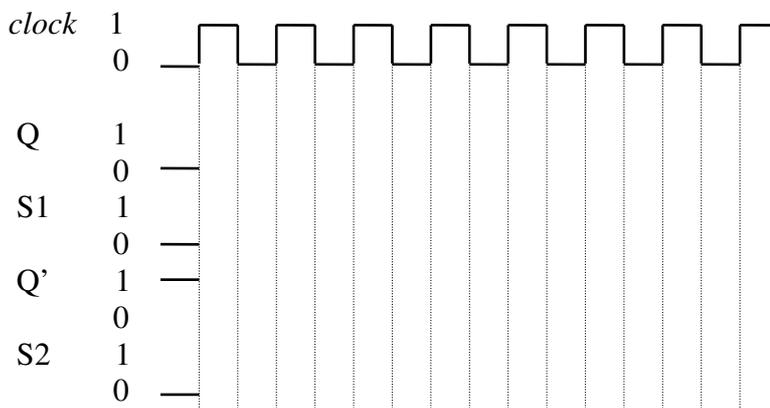
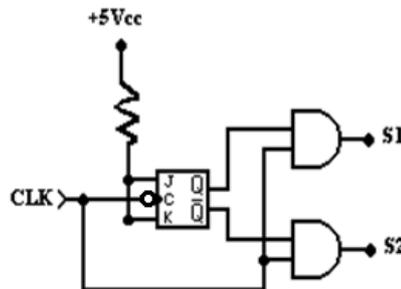
entradas assíncronas desativadas devido ao objetivo da questão, por esse motivo elas não estão presentes no desenho do circuito.

2. Metodologia da pesquisa

A questão aqui analisada faz parte de uma avaliação da disciplina de Sistemas Digitais que continha cinco questões abertas e foi aplicada pela professora (primeira autora). Essa disciplina está presente na grade curricular do 1º ano do curso técnico de nível médio modalidade integrada de uma escola pública de Minas Gerais, fazendo também parte de diversas outras grades curriculares em diferentes modalidades, níveis de ensino e cursos em várias escolas do Brasil.

A questão, que sofreu alteração, foi retirada do livro didático de Tocci, Widmer e Moss (2011, p. 246), que é uma das referências bibliográficas da disciplina. A questão é a seguinte:

O circuito da figura abaixo pode ser usado para gerar dois sinais de *clock*, não sobrepostos e na mesma frequência. Obtenha a forma de onda dos sinais Q e S1; Q' e S2, em resposta a uma entrada de *clock* de 1 kHz de frequência.



A função booleana *AND*, que é realizada pelas portas lógicas conectadas nas saídas Q e Q' do *flip-flop* J-K, é um dos primeiros conteúdos trabalhados na disciplina de Sistemas Digitais. Os alunos não apresentam maiores dificuldades no entendimento dessa operação, já que ela é similar à operação de multiplicação convencional, em que qualquer número multiplicado por zero é igual a zero (PADRÃO, 2008). Dessa forma, os alunos compreendem de maneira clara que qualquer variável em nível lógico 0 colocada em uma das entradas da porta lógica *AND* leva, imediatamente, o nível lógico da saída para 0.

No decorrer da disciplina, em vários exercícios realizados sobre o conteúdo, aplicam-se níveis lógicos variados nas entradas de portas lógicas básicas, entre elas a porta lógica *AND*. Nos exercícios, os níveis lógicos fornecidos na entrada da porta lógica, através de curvas digitais, ora apresentam nível lógico 0 ora nível lógico 1. Ao analisar os sinais de entrada da porta, o aluno desenha a curva de saída em função desses sinais. Também são realizados exercícios com circuitos que apresentam diversas portas lógicas conectadas, e é solicitado ao aluno esboçar a curva de saída em resposta às curvas de entrada.

Num outro momento, em sala de aula, é apresentado o dispositivo *flip-flop* J-K, com o qual são realizados exercícios, utilizando-o também na construção de outros dispositivos digitais, como por exemplo, o contador assíncrono. Solicita-se, em todos os exercícios, o desenho das curvas nas saídas dos *flip-flops* e também as curvas das portas lógicas utilizadas no projeto desses contadores.

A partir da exposição desse conteúdo, constata-se uma dificuldade dos alunos de entenderem que o *flip-flop* é um dispositivo síncrono, isto é, diferente dos dispositivos até então apresentados. Os circuitos lógicos estudados anteriormente eram compostos por dispositivos cujas saídas eram alteradas de acordo com mudanças ocorridas nos níveis lógicos de entrada, e tais dispositivos não possuem entradas que controlam o momento que esses valores devem mudar, diferentemente do *flip-flop* J-K cuja saída é alterada somente quando ocorre transição do *clock*, pois possui uma entrada específica que controla o momento de mudança na saída (TOCCI; WIDMER; MOSS, 2011).

Para que se obtenha o esboço dos dois sinais de *clock* não sobrepostos e na mesma frequência, conforme solicitado na questão aqui apresentada, é preciso conectar uma porta *AND* em cada saída do *flip-flop* J-K. Assim, é necessário primeiramente desenhar as formas de onda nas saídas Q e Q', levando em consideração que as saídas do *flip-flop* desse exercício comutam (J=K=1) somente na descida do *clock*. Logo em seguida, desenharam-se os sinais na saída das

portas *AND*, levando em consideração que essas saídas são alteradas na mudança de nível e que qualquer entrada em nível 0 leva a saída para 0.

Por esse motivo, foi acrescentada a solicitação do esboço das curvas Q e Q', diferentemente da questão do livro texto. Tal acréscimo tem por finalidade analisar o raciocínio do aluno ao esboçar as curvas nas saídas do *flip-flop*, além de analisar as curvas apresentadas no circuito completo.

Para analisar a questão, foi verificado no primeiro momento, se todos os alunos esboçaram os quatro gráficos, sendo constatado que apenas dois alunos não esboçaram os gráficos S1 e S2. Antes de devolver as avaliações aos alunos, a questão analisada foi fotocopiada e organizada de tal maneira a formar o *corpus* do qual será apresentada a análise (CURY, 2008).

A metodologia de pesquisa utilizada foi a análise de conteúdo da produção escrita dessa questão, através de categorização dos erros. Inicialmente, foi realizada uma “leitura flutuante” sobre as respostas apresentadas por cada aluno, que, segundo Bardin (1977), constitui o primeiro contato com os documentos a serem analisados; esse movimento teve como finalidade a verificação das respostas incorretas apresentadas na questão. A partir dessa leitura, foram estabelecidas quatro categorias de erros, definidas abaixo (CURY, 2008):

- A) esboço incorreto do gráfico Q;
- B) esboço incorreto do gráfico Q'.
- C) esboço incorreto dos gráficos S1 e/ou S2.

Além das três categorias citadas acima, a quarta categoria (D) foi definida como “ausência de esboço em um dos gráficos” (LEIVAS; CURY, 2010, p. 76).

Para analisar o erro do tipo C, a porta *AND* que se encontra na parte superior do circuito será definida como “AND1” e a que se encontra na parte inferior como “AND2”. Nessa categoria, foram analisados conjuntamente os esboços das formas de onda S1 e S2 por se tratarem do resultado de sinais na saída de portas lógicas *AND*. As duas portas recebem em uma das entradas o mesmo sinal de *clock*, e na outra entrada a porta AND1 recebe o sinal de Q e a porta AND2 o sinal de Q'.

3. Apresentação e análise dos dados

O aluno será aqui referenciado apenas pela letra A, seguida de um número, com o intuito de preservar a identidade dele. Antes de apresentar a análise de erros, que é o foco deste trabalho, nas Figuras 1 e 2 estão esboçadas as quatro formas de onda, de maneira correta, referentes às respostas dadas por A7 e A35. É importante que o professor analise a resposta correta dada na produção escrita do aluno, pois, segundo Silva e Buriasco (2005), “[...] na medida em que o professor se propõe a observar e a ouvir o que o aluno faz ao resolver um problema, ele pode realizar ‘inferências’ em sala de aula sobre como o aluno pensou” (p. 503) e assim poder ajudar outros alunos que apresentam dificuldades.

Figura 1 – Resposta apresentada por A7.

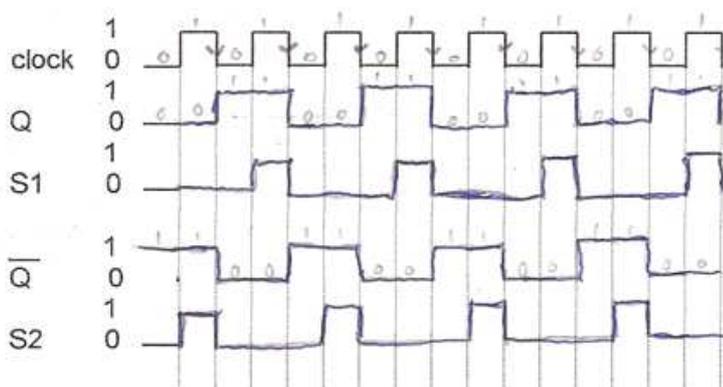
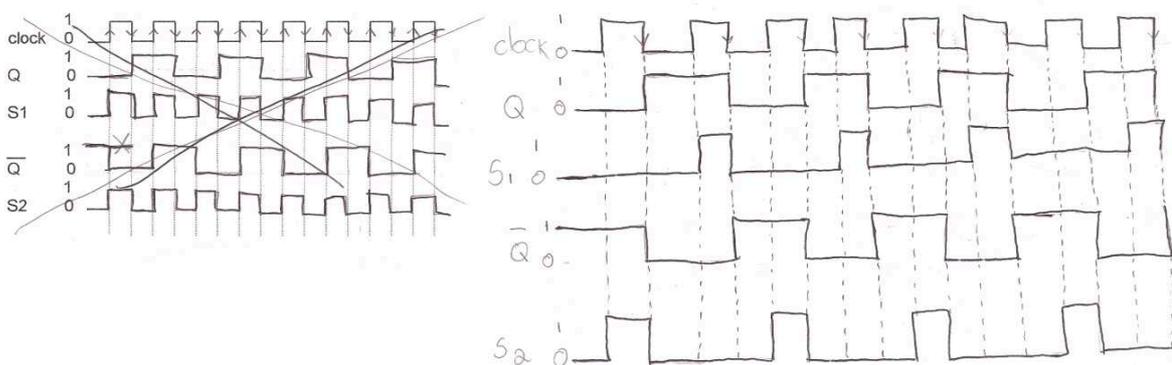


Figura 2 – Resposta apresentada por A35.



Na primeira parte da resposta dada por A35 (Figura 2), nota-se que as curvas S1, Q' e S2 foram traçadas de maneira incorreta, mas dentro do tempo combinado para a realização da atividade; ele percebe o seu erro e esboça novamente todas as curvas, de maneira correta.

Cury (2008) cita que “[...] é necessário elaborar intervenções didáticas que desestabilizem as certezas, levando o estudante a um questionamento sobre as suas respostas” (p. 80).

No Quadro 1 a seguir, mostra-se a distribuição do número de ocorrências de erros em cada gráfico, conforme categorização definida. A partir dessa categorização, serão descritos os erros cometidos por categoria. Pelo fato de apresentar um maior número de ocorrências, optamos por exibir exemplos de algumas respostas somente de erros do tipo C.

Os erros do tipo A foram cometidos pelos alunos A6, A25, A27 e A40. Para traçar de forma correta a curva Q, o aluno deveria ter levado em consideração que a cada transição negativa de *clock* a saída Q comuta. A6 considerou que a transição do *clock* era positiva e não negativa, para isso, não levou em consideração a bolha inversora na entrada de *clock*, conforme citado por Tocci, Widmer e Moss (2011), “o símbolo de um FF com um pequeno círculo e um pequeno triângulo na entrada CLK [...] significa que a entrada CLK é ativada apenas quando ocorre uma borda de descida” (p. 186).

Quadro 1 – Número de ocorrências de erros por categoria/alunos

Categoria	N. de ocorrências	Alunos
A	4	A6, A25, A27, A40
B	7	A2, A6, A24, A25, A27, A32, A40
C	21	A1, A2, A4, A8, A9, A11, A12, A13, A14, A15, A19, A20, A24, A25, A26, A27, A32, A33, A37, A38, A41
D	2	A6, A40

A40 considerou a transição negativa, mas começou o esboço da curva no nível lógico 1 e não 0 (conforme solicitado), não se preocupando com o enunciado da questão. A27 também considerou a transição negativa, mas comutou o valor de saída somente na primeira transição, não levando em consideração as demais transições de *clock*. Dessa forma, permaneceu com o valor de Q no nível lógico 1 até o final do gráfico. A25 considerou que o *flip-flop* comutava tanto na transição positiva quanto na negativa, a partir da primeira transição negativa de *clock*, mostrando que desconhece que o *flip-flop* da questão tem uma entrada de *clock* que “[...] é ativada *apenas* quando ocorre uma borda de descida; nenhuma outra parte do pulso de entrada terá efeito na entrada CLK” (TOCCI; WIDMER; MOSS, 2011, p. 186, grifo no original).

Os erros do tipo B foram cometidos pelos alunos A2, A6, A24, A25, A27, A32 e A40. A25 e A27 esboçaram a curva Q' inversa à curva Q, deixando claro que compreenderam que Q' é uma saída oposta a Q, conforme apontam Tocci, Widmer e Moss (2011), “A saída Q é

denominada saída normal do FF; Q' é a saída invertida do FF" (p. 175), mas erraram o esboço de Q', por terem errado o esboço de Q. Já A6 esboçou a curva Q' comutando na transição negativa de *clock*, mas traçou a curva Q na transição positiva de *clock*. Percebe-se que A6 não entendeu que Q' é a saída invertida de Q, portanto, comuta na mesma transição de *clock*, porém de forma inversa; para ele, a saída Q comuta na transição positiva de *clock*, enquanto Q' comuta na transição negativa de *clock*. Pensamento semelhante foi apresentado por A32, sendo que ele esboçou a curva de Q de forma correta (transição negativa), mas esboçou Q' comutando na transição positiva de *clock* e não como uma saída invertida de Q. Tanto A6 quanto A32 não compreenderam que a entrada de *clock* é ativada somente em uma transição do *clock* e que nenhuma outra parte do pulso terá efeito nessa entrada, conforme já mencionado.

A2 esboçou a curva Q' idêntica à curva de Q, demonstrando em seu entendimento que o *flip-flop* apresenta duas saídas iguais e não duas saídas invertidas conforme já citado. A40 traçou a curva de Q' toda em nível lógico 1, sem apresentar nenhuma comutação, mostrando que não levou em consideração que as entradas J e K estavam alimentadas com nível lógico 1 (5Vcc), isto é, "[...] se ambas as entradas J e K forem nível ALTO, o FF mudará de estado lógico [comutará]" (TOCCI; WIDMER; MOSS, 2011, p. 190) a cada transição do *clock*.

Por último, A24 traçou a curva Q' em função da transição negativa da curva Q, e não em função da transição negativa de *clock*, demonstrando confusão com os conceitos apresentados em sala de aula. Esse tipo de transição acontece quando *flip-flops* são usados em projetos de contadores assíncronos, conforme apontam Pinto e Ramos (2002): "A principal característica dos contadores assíncronos é que a saída de cada FF aciona a entrada de CLK do FF seguinte, sendo que a entrada do CLK externo só acontece no FF menos significativo" (p. 6).

Um dos erros categorizado no tipo C foi cometido por A1 ao esboçar a curva S1 idêntica a Q e S2 idêntica a Q', sem se preocupar com a operação *AND* realizada pelas portas ligadas às saídas do *flip-flop* juntamente com o *clock*. A8 esboçou as curvas S1 e S2 como se estivessem sendo realizadas por uma operação *OR*² e não *AND*.

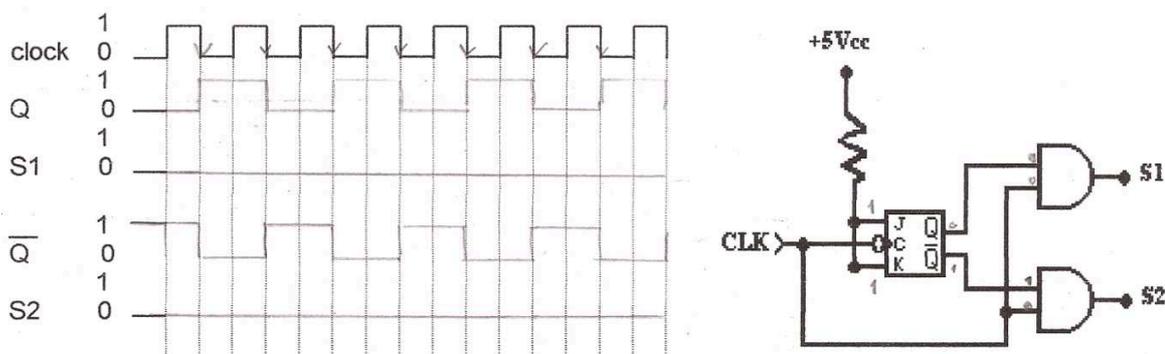
A9, A20, A33 e A37, de maneira similar, esboçaram S1 e S2 levando em consideração que a porta *AND* muda a saída na transição negativa do *clock* de acordo com os valores de Q e Q'

² Essa operação é realizada pela porta *OR*. Nessa porta, qualquer nível lógico 1 na entrada leva a saída para nível lógico 1.

(respectivamente) antes da transição. Assim, mostrando, dessa forma, que desconhece que a porta *AND* altera sua saída na mudança de nível e não por transição do *clock*, e que, além disso, qualquer nível lógico 0 em sua entrada leva a saída para nível lógico 0 imediatamente.

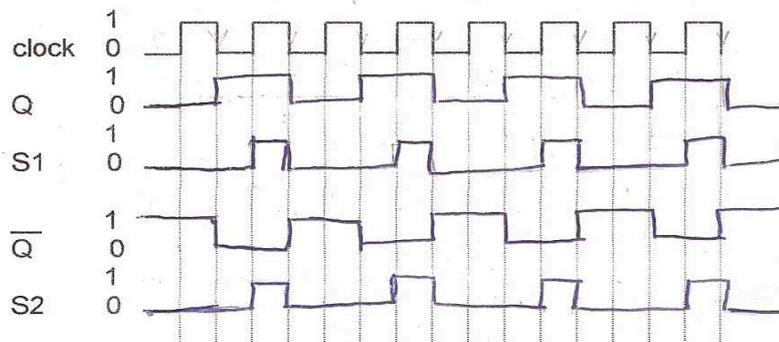
A15 e A32 interpretaram que o sinal de *clock* era um sinal constante de nível lógico 0, conforme indicado por eles no próprio circuito (Figura 3), portanto, esboçaram as curvas S1 e S2 todas em nível lógico 0. Eles interpretaram de forma correta a função lógica *AND* (qualquer 0 na entrada leva 0 na saída), mas esse não era o sinal considerado na entrada da porta *AND* no enunciado do exercício.

Figura 3 – Resposta apresentada por A15.



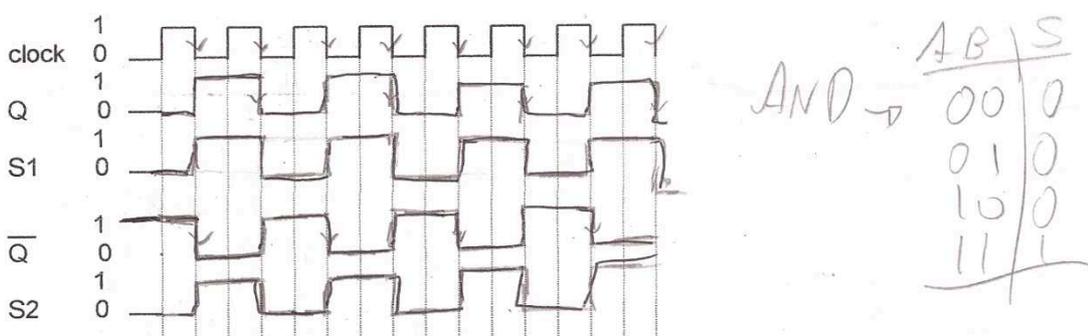
O erro cometido por A38 foi esboçar a curva de S2 idêntica à curva de S1 (Figura 4), não levando em consideração que uma das entradas da porta AND2 era Q' e não Q. Também A38 não se preocupou com o enunciado da questão, no qual se afirma que o circuito da figura é usado para gerar dois sinais de *clock* não sobrepostos (S1 e S2), que, segundo Houaiss (2001, n.p.), “não sobreposto” significa a negação de “posto em cima; superposto”.

Figura 4 – Resposta apresentada por A38



Também sem se importar com o enunciado da questão, A12, A19 e A26 esboçaram S1 e S2 superpostas; isso pelo fato de terem considerado que as saídas das portas *AND* deveriam comutar com a transição negativa de *clock*, esboçando, dessa forma, as curvas S1 e S2 idênticas à curva Q. Mesmo fazendo a anotação da função lógica *AND* na questão (Figura 5), A12 não se preocupou com a operação *AND*, a qual define que qualquer entrada em nível lógico 0, leva 0 na saída e mais ainda, que a função *AND* altera a saída de acordo com os níveis lógicos colocadas na entrada (conforme tabela mostrada na Figura 5) e não por transição do *clock*, conforme já citado anteriormente.

Figura 5 – Resposta apresentada por A12.



Com o mesmo entendimento, em relação às saídas das portas *AND* não alterar a saída na mudança de nível, A4, A13 e A41 esboçaram a curva de S1 e S2 (erroneamente) na transição de Q e Q', respectivamente, demonstrando confusão com os conceitos aprendidos sobre contadores assíncronos, citado anteriormente. Além disso, eles cometeram um segundo erro, pois também não se importaram com a função lógica *AND* que é realizada pelas portas.

A2 errou a curva de S2 por ter errado a curva de Q', mas acertou a curva de Q e errou a curva de S1. Ao fazer a análise do erro cometido por A2 no esboço da curva S1, não foi possível perceber o que o levou a cometer o erro. Ao ser questionado pela professora, A2 conseguiu expor o raciocínio da resposta de forma correta e alegou que errou por simples distração ao fazer a análise da curva durante a avaliação, não sabendo explicar o que o levou ao engano. O mesmo questionamento foi feito a A11, A14, A24, A25 e A27 sobre os esboços das curvas S1 e S2 e todos eles apresentaram dificuldades ao expor o raciocínio com relação à questão, alegando ainda que não sabiam resolvê-la; portanto, durante a avaliação resolveram “chutar” as formas de onda solicitadas.

Considerações finais

É de grande importância analisar detalhadamente as respostas dadas pelos alunos de forma qualitativa para melhor compreender suas respostas e ajudá-los sempre que necessário, conforme corroborado por Cury (2008):

[...] a análise qualitativa das respostas dos alunos, com uma discussão aprofundada sobre as dificuldades por eles apresentadas, apoiada em investigações já realizadas é, talvez, a melhor maneira de aproveitar os erros para questionar os estudantes e auxiliá-los a (re)construir seu conhecimento. (CURY, 2008, p. 27)

Podemos considerar pequeno o número de ocorrências de erros no esboço da forma de onda Q, pois, dos 41 alunos que responderam a questão, 37 obtiveram êxito. Lembrando que o foco deste trabalho é a análise dos erros, não podemos deixar de considerar, conforme Silva e Buriasco (2005), que “[...] tão ou mais importante que diagnosticar o que o aluno ainda não sabe é investigar o que ele já sabe e quais são suas hipóteses sobre o conteúdo em questão” (p. 502). Dessa forma, é tão importante fazer uma análise dos erros quanto dos acertos, investigando até que ponto o que foi respondido está realmente claro para o aluno. Sendo assim, ao analisar a resposta correta do aluno A7 (Figura 1), percebemos que ele destacou na curva de *clock* a transição negativa (descida de borda) conforme solicitado, para ajudá-lo no esboço do gráfico da saída Q. Além disso, destacou também nas curvas de *clock* Q e Q' os valores de cada nível lógico (0 e 1) para auxiliar na realização da operação AND ao esboçar as curvas de S1 e S2.

Na análise dos erros do tipo A, os alunos demonstraram não compreender que “A sincronização dos eventos com o sinal de *clock* é obtida com o uso de *flip-flops* com *clock*, que são projetados para mudar de estado em uma das transições do sinal de *clock*” (TOCCI; WIDMER; MOSS, 2011, p. 186, grifo nosso). Dois alunos que cometeram erros do tipo B mostraram compreender que a forma de onda de Q' é oposta a Q (erraram a curva de Q', pelo fato de ter errado a curva de Q), enquanto que, para outro aluno, Q é igual a Q', demonstrando entender de maneira errônea que o *flip-flop* apresenta duas saídas iguais e não opostas. Os dois últimos alunos que cometeram esse tipo de erro compreenderam que as saídas opostas do *flip-flop* (Q e Q') devem comutar em transições diferentes no mesmo ciclo de *clock*, entendimento esse incorreto, pois, como já citado, as saídas comutam na mesma transição a cada ciclo de *clock*.

Como os erros do tipo A e B foram cometidos por poucos alunos, de acordo com Cury (2008), as dificuldades apresentadas poderão ser trabalhadas pelo professor de forma individual.

O erro do tipo C foi cometido por 21 dos 41 alunos. Dessa forma, podemos observar que mais da metade dos alunos apresentou dificuldades ao analisar um circuito em que são interligadas portas lógicas básicas com *flip-flop*. Devido a isso, percebemos que o número maior de enganos foi registrado quando o aluno leva em consideração que a saída da porta *AND* é disparada na transição do *clock* e não na mudança de qualquer nível das entradas. Também foram registrados erros em que os alunos trocaram a função lógica *AND*, pela função lógica *OR*, mostrando que apresentam dificuldades em diferenciar os desenhos das funções lógicas básicas. Registramos aqui também que alguns alunos não se preocuparam com o enunciado da questão, pois apresentaram curvas superpostas de S1 e S2, ao passo que o enunciado deixava claro que tais sinais gerados pelo circuito seriam não sobrepostos.

Compete ao professor criar situações que estimule e facilite o entendimento do conteúdo lecionado. Segundo Tardif (2010), os saberes oriundos dos cursos de formação de professores e das ciências de educação não podem fornecer respostas precisas sobre o “como fazer” aos docentes, isto é, “[...] a maioria das vezes, os professores precisam tomar decisões e desenvolver estratégias de ação em plena atividade, sem poderem se apoiar num ‘saber-fazer’ técnico-científico que lhes permita controlar a situação com toda a certeza” (p. 137). Assim, para sanar as dificuldades encontradas após a análise de erros apresentada, a professora realizou intervenções durante as aulas e também intervenções de forma individual para melhorar a compreensão do conteúdo pelos alunos.

Destacamos também que é de grande importância a participação de colegas nas correções das atividades. Há de se considerar que, no dia a dia, o aluno interage com colegas ao realizar resoluções de problemas por se encontrar em um contexto social que pode ser favorável ao seu aprendizado. Dessa forma, o surgimento de dificuldades e erros pode ser minimizado. Essas intervenções, aluno-aluno ou professor-aluno, também poderão ser auxiliadas com uso de softwares específicos para desenvolvimento de projetos de Sistemas Digitais. Ficam aqui, então, registradas tais sugestões para serem colocadas em prática e analisadas posteriormente em outro artigo.

Referências

BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 1977.

BISOGNIN, E.; FIOREZE, L. A.; CURY, H. N. Análise de erros e proporcionalidade: uma experiência com alunos de graduação e pós-graduação. *Revista Vidya*, n. 2, v. 25, p. 31-40, jul./dez. 2005. Disponível em: <http://sites.unifra.br/Portals/35/Artigos/2005/sem_2/analise.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2013.

CURY, H. N. *Análise de erros: o que podemos aprender com as respostas dos alunos*. Belo Horizonte: Autêntica, 2008.

CURY, H. N.; BISOGNIN, E. Análise de soluções de um problema representado por um sistema de equações. *Revista Bolema*, Ano 22, n. 33, p. 1-22, 2009. Disponível em: <<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/bolema/article/view/2951/2433>>. Acesso em: 25 fev. 2013.

HOUAISS, A. *Dicionário eletrônico da língua portuguesa*. 3. ed. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001. CD-ROM.

LEIVAS, J. C. P.; CURY, H. N. Análise de erros em soluções de um problema de geometria: uma investigação com professores em formação continuada. *Revista Eletrônica em Educação Matemática*, n. 1, v. 5, p. 71-83, 2010. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/revemat/article/view/1981-1322.2010v5n1p71/21143>>. Acesso em: 27 fev. 2013.

PADRÃO, D. L. *A origem do zero*. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Matemática). Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.pucsp.br/pos/edmat/mp/dissertacao/darice_lascal_a_padrao.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2013.

PINTO, M. A. S.; RAMOS, M. L. P. D. Contador decrescente módulo diferente de potência de dois: problema e solução. *Revista Educação & Tecnologia*, n. 1, v. 7, p. 6-9, jan./jun. 2002.

STAREPRAVO, A. R. *A multiplicação na Escola Fundamental I: análise de uma proposta de ensino*. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática). Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-13092010-125231/pt-br.php>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

SILVA, M. C. N.; BURIASCO, R. L. C. Análise da produção escrita em matemática: algumas considerações. *Revista Ciência & Educação*, n. 3, v. 11, p. 499-512, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v11n3/11.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2013.

TARDIF, M. *Saberes docentes e formação profissional*. 10. ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2010.

TAUB, H. *Circuitos digitais e microprocessadores*. São Paulo: McGraw-Hill, 1984.

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