

A PLANILHA ELETRÔNICA AGILIZANDO E MOTIVANDO O APRENDIZADO COM APOIO DA MONITORIA – APLICAÇÃO À DISCIPLINA INTRODUÇÃO À ENGENHARIA AMBIENTAL

André Luiz de Lima Reda ¹; Paula Falarara ²; Carlos Alberto de Moya Figueira Neto ³

Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, Escola de Engenharia

Praça Mauá 1

09580-900, São Caetano do Sul, SP

¹ andrereda@maua.br; ² paulafalarara@hotmail.com; ³ carlos.moya@cneec.com.br

Resumo: *Matérias básicas são infra-estrutura para construir conhecimento técnico e profissional na graduação em Engenharia. Porém, estudantes que preferem a tecnologia aplicada às ciências puras têm dificuldade em “cruzar” cerca de dois anos introdutórios (ciclo básico) rumo às disciplinas técnicas (no Brasil, tradicionalmente após o meio do curso). Para atraí-los ao curso (portanto, evitando evasão e garantindo formandos para a indústria em crescimento), uma solução é o reforço de exercícios de aplicação nas ementas do ciclo básico. Estes, porém, consomem tempo em aula e, considerando a atual política de reduzir a duração do curso (seguindo tendência predominante nas escolas européias – graduação em três ou quatro anos), fica difícil acomodá-los na carga horária disponível. Como fazer, então, para incentivar o estudante a praticar as técnicas aprendidas após a aula? Como tornar o estudo tão interessante e produtivo que o discípulo dedique a ele seu tempo extra-aula? A prática no ensino de Engenharia tem permitido aos autores criar e testar planilhas eletrônicas para a prática de exercícios extra-aula com fórmulas (embutidas em células) com partes da teoria necessária para a solução e texto apresentando dados, complementos teóricos e explicando a solução. O artigo discute essa prática e as vantagens em aplicá-la como ferramenta didática, exemplificando seu uso no ensino específico do cálculo da autodepuração de um rio poluído. O sucesso de sua aplicação deriva da praticidade e rapidez para resolver rapidamente exemplos diferentes de problemas propostos, incluindo a participação ativa do aluno-monitor – ademais, criando e solucionando variantes com apoio da planilha.*

Palavras-chave: *Planilhas eletrônicas didáticas, Exercícios de fixação, Autodepuração fluvial, Poluição fluvial, Combate à evasão de alunos.*

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, as matérias básicas nos dois primeiros anos dos cursos de Engenharia são responsáveis pela preparação de uma infra-estrutura sobre a qual está fundamentado o ensino que segue nos outros três anos de curso. Seu aprendizado eficiente, portanto, é condição fundamental para o sucesso do estudante no decorrer da formação profissional – inicialmente, no curso de graduação; depois deste, no estudo continuado ao longo da carreira. Não obstante, não é raro que o estudante com forte vocação para a aplicação da tecnologia para fins práticos (a propósito, o material humano ideal para a formação de bons engenheiros) – ao contrário dos que buscam mais a Ciência pura – ache dificuldade em “cruzar o deserto” de cerca de dois anos de necessário ensino de ciências (Matemática, Física, Biologia, Química, etc.) até poder

começar a sentir, mais intensamente, a aplicação prática destas na Engenharia – o que tende a começar, tradicionalmente, do meio do curso em diante.

Aliado à dificuldade de manutenção financeira enfrentada por estudantes universitários nos países em desenvolvimento, tal problema vem afastando muitos acadêmicos do curso. Com a crescente necessidade da indústria em expansão, demandando crescente contingente de novos engenheiros de boa formação, o problema vem causando lacunas de pessoal extremamente graves. De fato, existe consciência geral nos meios profissionais e de ensino de Engenharia no Brasil de que, neste momento histórico, mais grave do que a falta de energia, de matéria prima ou de recursos financeiros para o desenvolvimento está sendo a carência de pessoal capacitado para profissões técnicas – o “apagão tecnológico” – desde o nível secundário até o universitário.

Para fixar a atenção e o interesse desse tipo de aluno ao curso, de certa forma “quebrando o gelo” do ensino da ciência pura, é tentativa natural distribuir ao longo dele, desde os primeiros anos do currículo, exercícios de aplicação prática dos tópicos científicos recém aprendidos – nos quais são propostos desafios de empregar o conhecimento da ciência na resolução de problemas práticos realistas, de imediata aplicação no exercício da Engenharia.

Esses exercícios, porém, podem consumir tempo relevante de aula. Dada a tendência internacional de redução na duração dos cursos de Engenharia (seguindo a corrente atualmente liderada pela Europa, na tentativa de padronizar cursos de graduação em Engenharia em durações entre três e quatro anos), fica cada vez mais difícil alocar tempo em aula para a aplicação de exemplos práticos de aplicação da teoria e das técnicas aprendidas. Em tal conjuntura, como continuar a garantir ao estudante prática suficiente das teorias e métodos aprendidos? Como fixar o aprendizado recém adquirido e demonstrar sua utilidade antes que se apague da memória recuperável e do interesse do aluno, apesar do reduzido tempo disponível em classe? Em qual momento desenvolver os tão importantes exercícios práticos, incentivando exatamente os alunos com maior aptidão e vocação para a Engenharia à aplicação da teoria e resolução de problemas – fixando-os ao curso e reduzindo a evasão?

Uma resposta possível, aqui exemplificada, é prover o estudante com um mecanismo para enfrentar a inércia inicial que tende a ocorrer no momento em que retoma um assunto, fora da aula; um mecanismo prático que pré-estruturou o enunciado do problema e deixe bem à mão as ferramentas de solução necessárias (tais como fórmulas, ábacos, rotinas e tabelas de cálculo), economizando tempo, a ser empregado na própria idealização da solução; que o faça partindo de um início preestabelecido pelo docente em aula, num exemplo básico de aplicação, resgatando rapidamente o conhecimento já sedimentado e instrumentalizando, daí, o enfrentamento de problema mais complexo sobre um mesmo assunto (como desafio e motivação do aluno); enfim, que atraia a atenção do educando para incentivá-lo a dedicar suas horas extra-aula à prática das técnicas aprendidas – fixando, assim, a teoria.

O dia-a-dia no ensino de Engenharia por quase três décadas tem permitido aos autores docentes, mais recentemente, com o advento de software comercial específico, preparar e utilizar, em aula, planilhas de cálculo eletrônicas que também servem ao estudo extra-aula (ver, por exemplo, REDA, 2004; REDA, 2005; REDA, 2006), aplicáveis a cursos de graduação, pós-graduação e especialização.

Neste trabalho, descreve-se e se exemplifica o uso de uma planilha eletrônica que se demonstrou eficiente no apoio ao ensino introdutório do cálculo da autodepuração de um curso d'água sujeito ao lançamento de poluentes orgânicos, permitindo estimar vários aspectos da qualidade do corpo hídrico ao longo do trecho a jusante desse lançamento.

Esclarece-se então, na sessão ‘Aspectos Didáticos’ (a seguir), a utilidade da planilha, pontos didáticos de seu uso e cuidados necessários no seu emprego. A sessão subsequente, ‘Teoria Básica e Método de Cálculo’, resume então os conceitos e variáveis básicos envolvidos, bem como a formulação matemática empregada nos cálculos. Na sessão

‘Exemplo de Aplicação’, mais a seguir, uma planilha utilizada na prática há cerca de três anos é apresentada como exemplo de aplicação e suas diversas formas de emprego são discutidas. Enfim, apresenta-se sucintamente, em ‘Resultado Pedagógico’, o emprego prático da planilha em situações diversas de ensino, para alunos de vários níveis de formação e de diferentes áreas de origem, em situações diversas de aplicação – incluindo a preparação de exercícios de avaliação, a resolver presencialmente, então sem o uso de planilha de cálculo.

Além de demonstrar a utilidade de planilhas de cálculo no ensino da Engenharia e de exemplificar esta prática com a presente planilha, este artigo tem também o objetivo de fornecer um texto introdutório, conciso mas suficiente, para o estudante de graduação que pretende iniciar-se no assunto da autodepuração de cursos de água – uma alternativa prática à literatura disponível no assunto, que tende a ser ou incompleta ou extremamente complexa para o uso no curso de graduação.

2. ASPECTOS DIDÁTICOS

A planilha de cálculo como ferramenta de ensino, aqui exemplificada por um software simples (resumido numa página com texto e cálculos, imprimível no formato A4 com boa legibilidade) sobre a plataforma Excel®, tem objetivos múltiplos que, na prática, vêm sendo enriquecidos e ampliados ao longo da experiência de uso pelos autores. Planilha deste tipo pode ser ainda mais elaborada, contendo gráficos e tabelas com dados ou resultados, que podem ser desenvolvidos por iniciativa do aluno – que neste ponto do curso já domina a planilha como ferramenta de análise – ao ser solicitado a resolver variante do problema apresentado (no caso da planilha aqui proposta, por exemplo: analisar a qualidade do rio à medida que os poluentes sofrem advecção, dispersão e reações ao longo do seu percurso).

Pode-se resumir os diversos objetivos de tais planilhas assim:

- a) Preparar exemplo de aplicação da metodologia de cálculo da autodepuração de um corpo hídrico no trecho a jusante do lançamento de carga orgânica de poluente, para permitir ao aluno reforçar e testar seu aprendizado, tendo um padrão de resposta para tanto.
- b) Preparação, por aluno, docente ou assistente-aluno, de variantes do exercício prático original com mudanças da sua estrutura, bem como dos dados e especificações de entidades ou atores participantes do problema. Tais variantes são úteis para desenvolver a criatividade do educando, enquanto fixam a teoria e exercitam a metodologia; bem como para o preparo de coleção de exercícios para anos e turmas posteriores no curso, cada um com o respectivo padrão de resposta para verificar o acerto da solução desenvolvida. Neste caso, a disponibilidade de algumas das fórmulas que serão úteis na solução do problema variante pode servir para agilizar o trabalho (evita a digitação de códigos de cálculo nas células), mas é requerido conhecimento conceitual para escolher as fórmulas corretas, adaptá-las conforme necessário e preparar a partir delas gráficos ou tabelas de resultados.
- c) Produção de variantes do exercício prático original em que se mudam apenas dados e especificações de entidades ou atores participantes do problema – porém, mantendo a estrutura do enunciado e do raciocínio. Tais variantes são úteis para fixar a teoria e a metodologia, auxiliando no preparo de exercícios de avaliação para anos e turmas posteriores, cada um com seu padrão de resposta, servindo, também, para a auto-avaliação do educando.
- d) Preparação de exercícios para avaliação presencial (exames e trabalhos em aula, individuais ou em grupo) sem o emprego do computador. Nestes, o aluno recebe um enunciado com informações sobre a situação proposta e perguntas a responder e, eventualmente, informação total ou parcial sobre fórmulas necessárias ao cálculo. Resolve

então o problema com algum outro instrumento de cálculo (calculadora científica ou outro), sem o apoio desta planilha de cálculo específica.

- e) Emprego de apenas algumas partes da planilha (fórmulas, tabelas, gráficos) na solução de problemas que necessitem de tais partes como ferramentas de cálculo. Eventualmente se pode, a partir de tal parte, gerar uma planilha diferente da original que vá ser usada repetitivamente na prática, se isto for vantajoso para a economia de tempo de criação. Por outro lado, pode-se fazer uso apenas de parte da planilha original na solução do novo problema, resolvendo-o com economia de tempo e deixando-a como estava.

Para que o emprego de tais planilhas seja didaticamente defensável, sem inibir o processo de aprendizado teórico-conceitual e desenvolvendo a criatividade na resolução de problemas, é necessário que:

- I) se faça necessário o conhecimento dos fenômenos e variáveis envolvidos no problema para que o aluno consiga empregá-la com sucesso – ou seja, que ele tenha antes uma preparação teórico-conceitual;
- II) as formulações matemáticas estejam explícitas na área visível da planilha, de forma a servirem constantemente como ferramentas de fixação de si próprias na memória e no aprendizado conceitual do educando;
- III) o uso da planilha para a resolução de problemas alternativos ao original só seja possível se o aluno estiver capacitado a entender o significado de cada operação da planilha (fórmula, listagem de dados, representação gráfica, comparação lógica, etc.); portanto, os conceitos envolvidos em tais operações estarão sendo reforçados enquanto o aluno altera a planilha para novo tipo de uso – em outras palavras, a estrutura da planilha deve dificultar seu uso “cego”, por indivíduo que desconheça o significado das partes e conceitos envolvidos – ou seja, que a planilha não “pense” pelo aluno totalmente.
- IV) o emprego da planilha não se possa tornar incentivo à produção de resultados ‘em série’ sem envolvimento do educando na solução do problema ou sem a visualização completa do processo simulado.

Para satisfazer aos cuidados acima estipulados, é necessário que a planilha não seja totalmente automatizada, exigindo pleno engajamento do usuário – sem o que ele não estará seguro de obter respostas corretas para o problema e será incentivado a estudar mais a teoria e os conceitos, retornando então ao uso da planilha.

3. TEORIA BÁSICA E MÉTODO DE CÁLCULO

A descarga das águas servidas em corpos hídricos é o sistema mais antigo da Terra para sua purificação e reúso. A teoria básica para o cálculo da autodepuração num trecho fluvial bem a jusante de ponto de lançamento poluentes orgânicos cuja estabilização bioquímica é efetuada por microorganismos aeróbios (isto é, que consomem oxigênio durante esse processo de estabilização) se desenvolve a partir da formulação enunciada por STREETER e PHELPS (1925) para um rio em regime de escoamento uniforme – isto é, supondo um canal simplificado, de forma prismática, com velocidade constante ao longo do percurso e características hidráulicas permanentes (isto é, imutáveis no tempo e variáveis apenas ao longo do canal; pode também ser aproveitada para desenvolvimento mais complexo para o uso em condições não permanentes – vide Reda (1996) – que não é o caso do estudo abordado neste artigo). Introdução completa a tal conceituação é encontrada em Peavy *et al.* (1986) e Braga *et al.* (2005). Resume-se a seguir a parte principal dessa teoria, para permitir a compreensão do problema cuja solução é proposta na planilha apresentada.

A Figura 1 mostra o esquema de um trecho de rio onde é continuamente lançada uma descarga poluente com valores constantes da vazão e das concentrações de oxigênio

dissolvido (OD) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). O curso de água, por sua vez, já possui concentrações próprias destas duas variáveis de qualidade a montante da descarga, sendo que OD pode, no máximo, apresentar seu valor de saturação, C_s (vide gráfico na Figura 1), função da temperatura da água.

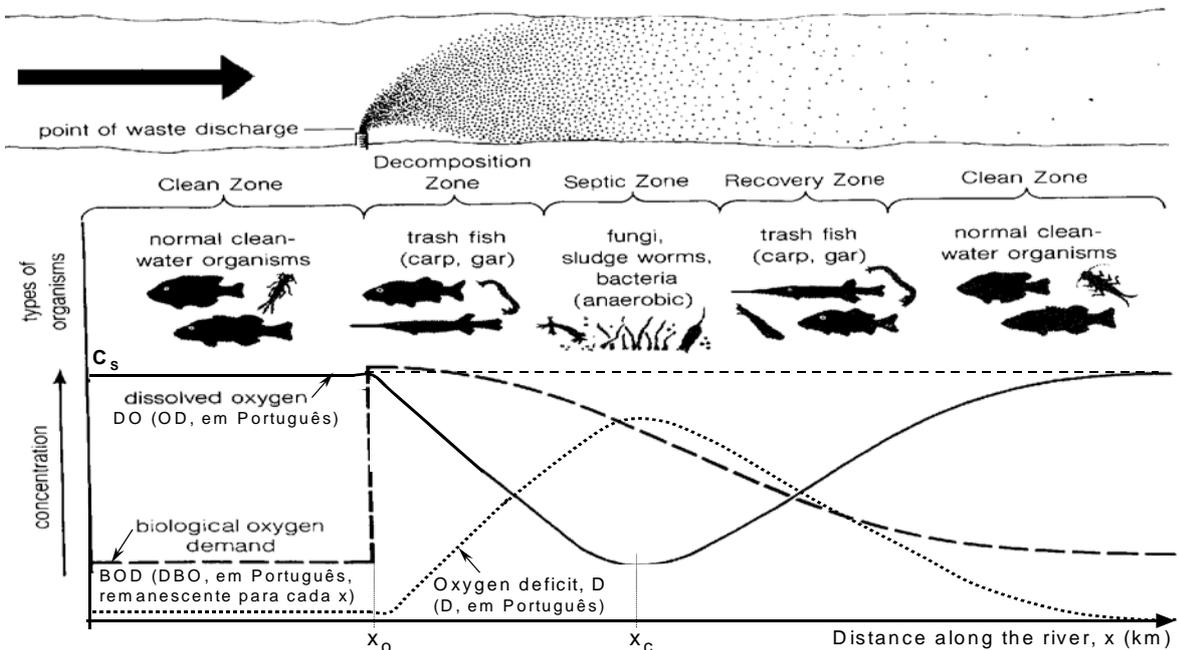


Figura 1 – Modificações na qualidade da água ao longo de um rio em regime permanente a jusante de uma fonte pontual contínua de poluição orgânica (adaptado de Miller, 1990).

Imediatamente a jusante do lançamento, vem o primeiro passo de cálculo: estimar as concentrações de OD (indicador direto de qualidade da água: quanto mais OD, melhor para esta) e DBO (representa, de forma simplificada, o gasto de O_2 para consumir matéria orgânica até o instante em que a água atinge dado ponto do rio). Para tanto se empregam as equações (1) e (2), que estimam diluição para cada um desses determinantes de qualidade (calculam concentração média ponderada – em que as vazões de cada uma das correntes que se misturam servem como pesos, numa média ponderada de concentração).

$$OD = \frac{Q_e C_e + Q_m C_m}{Q_e + Q_m} \quad (1)$$

$$DBO_5 = \frac{Q_e (DBO_5)_e + Q_m (DBO_5)_m}{Q_e + Q_m} \quad (2)$$

Nas amostras de água, seja fluvial ou servida, a concentração de DBO_n – demanda bioquímica de oxigênio exercida pelas bactérias contidas nessa amostra até o período de n dias – é geralmente avaliada pela diferença no OD antes e depois de um período de incubação (n dias em condições padronizadas) dessa amostra. A equação (3) pode fornecer este valor a partir do valor da DOB_L , também identificável como L_0 – significando, respectivamente, “DBO exercida limite” (a que pode ser exercida se a amostra permanecer em incubação por tempo muito longo) e “DBO remanescente inicial” (toda a DBO ainda a ser potencialmente realizável que persiste no ponto inicial do percurso fluvial, à distância x_0 deste) – sendo que as duas quais equivalem numericamente. Neste caso, como a amostra é geralmente avaliada no quinto dia de incubação, a DOB_L calculada é a DOB_5 .

$$DBO_L = \frac{DBO_5}{1 - e^{-(K_1 t)}} \quad (3)$$

Na Figura 1, pode-se observar que em determinado ponto do rio a concentração de OD atinge um valor mínimo: é o ‘ponto crítico’ do rio sob o aspecto da oxigenação da água. A distância do ponto do lançamento do esgoto até este ponto, x_c , pode ser estimada por Cinemática na equação (4),

$$x_c = Ut_c \quad (4)$$

onde U é a velocidade de advecção de sólidos na água do rio em regime de escoamento uniforme – admitida, por simplicidade, igual à de translação da água – e t_c , o ‘tempo crítico’, necessário para a translação do poluente desde o ponto de lançamento até o ponto crítico.

$$t_c = \frac{1}{K_2 - K_1} \ln \left[\frac{K_2}{K_1} \left(1 - \frac{D_0(K_2 - K_1)}{K_1 L_0} \right) \right] \quad (5)$$

O valor de t_c pode ser estimado pela equação (5), onde

D_0 representa o déficit de oxigênio (diferença entre C_s e OD) no ponto inicial (no lançamento da carga poluente);

K_1 é a constante de consumo de OD pela biodegradação, cujo ‘valor de referência’ é função de cada tipo de bactéria, e

K_2 é a constante de reaeração atmosférica, função no nível de turbulência da corrente – como mostra o ‘valor de referência’ dado, por exemplo, pela equação (6), devida a O’Connor e Dobbins (dentre várias disponíveis – ver Reda, 1996):

$$K_2 = 3,93 \frac{U^{1/2}}{H^{3/2}} \quad (6)$$

Os valores das constantes de reação podem variar em função da temperatura da água, T (°C), segundo a relação de Vant’Hoff-Arrhenius, como mostram as respectivas equações (7) e (8). Caso a temperatura seja o valor de referência, 20°C, tais constantes então mantêm seus valores de referência.

$$K_1' = K_1 (\theta_1)^{T - 20} \quad (7)$$

$$K_2' = K_2 (\theta_2)^{T - 20} \quad (8)$$

O valor do déficit de oxigênio, D_x , em cada distância x do percurso fluvial – ou seja, D_t , após determinado tempo de percurso t fornecido pela equação (4) – pode ser estimado pela equação (9), na qual todos os termos já foram definidos acima.

$$D_t = \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + D_0 e^{-K_2 t} \quad (9)$$

A partir da equação (9), pode-se atingir diversos objetivos, a saber:

- estimar D_x para várias distância x ao longo do rio, levantando-se o perfil de D exemplificado na Figura 1;
- estimar $OD_x = C_s - D_x$ para várias distância x , levantando-se assim o perfil de OD exemplificado na Figura 1;
- calcular D_c , no ponto crítico (ponto mínimo na curva);
- calcular OD_c , no ponto de menor concentração de O_2 (ponto crítico) ao longo do trecho estudado;
- analisar as situações de pontos diversos ao longo do rio com respeito à sua oxigenação, permitindo conclusões sobre classificação do corpo hídrico em termos de qualidade e adequação ou não ao uso como manancial, para captação.

A equação (10) estima o valor da DBO remanescente em cada ponto do rio após o lançamento da carga orgânica. A linha tracejada na Figura 1 representa esta variável espacial, a qual passa bruscamente de um valor irrisório (até a montante do lançamento) para outro, mais relevante – iniciando, então, uma queda gradual à medida que ocorre a biodegradação.

$$L_t = L_0 e^{-K_1 t} \quad (10)$$

A seguir, descreve-se o exemplo de aplicação escolhido para este artigo e a respectiva planilha de cálculo preparada para resolvê-lo. Nele, são empregadas as variáveis e equações aqui apresentadas, sendo o problema resolvido com operações similares às conduzidas acima. Mantém-se, também, a notação aqui introduzida.

4. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

O exemplo de problema aqui resolvido é apresentado pela própria planilha eletrônica mostrada na Figura 2. Nela, o esquema em planta do trecho de interesse no rio e os dados listados à direita, no alto, são auto-explicativos. Parte dos dados é introduzida de forma a poder ser referenciada por operações que vêm na seqüência da solução, incluindo palavras e valores numéricos, como visto adiante.

A solução do problema é desenvolvida em linguagem cursiva e algumas palavras relativas aos dados particulares deste exemplo, tais como ‘curtume’ e ‘esgoto’, variam no restante do texto em função do que se digita nos campos ressaltados na primeira linha do enunciado. Ainda, como outro exemplo, a concentração de DBO_5 na terceira linha do enunciado (5,0 mg/L) é fornecida numericamente na célula lá ressaltada e, dali em diante, encarada como um dado do problema e assim usada numericamente nos cálculos

ENUNCIADO: Um curtume lança esgoto contendo 400 mg/L de DBO₅ num córrego. O esgoto tem vazão de 0,15 m³/s. O córrego, justo a montante do lançamento, tem vazão de 7,00 m³/s na seca, com DBO₅ de 5 mg/L, a uma velocidade de 0,30 m/s. Ao detectar tal problema ambiental, a fiscalização constatou que, após o esgoto ser misturado no rio (tudo a uma temperatura de 20 °C, a concentração de oxigênio dissolvido era de 68 % da concentração de saturação. Considerando que no esgoto não havia nenhum oxigênio dissolvido, solicitou-se a você, engenheiro responsável técnico pela empresa, as seguintes informações:

- A concentração de oxigênio dissolvido no ponto crítico (isto é, à distância x_c abaixo do lançamento).
- O oxigênio dissolvido às distâncias $x_c/2$ a montante e $x_c/2$ a jusante do lançamento.
- Esboço da curva de depleção e recuperação de OD da situação em análise, com pelo menos 6 pontos (vale incluir os pontos acima) -- esclarecendo, pede-se a curva **OD** x **x**.

Informações adicionais

A velocidade do rio é aproximadamente uniforme ao longo de seu curso em questão
 $K_1 = 0,25 \text{ d}^{-1}$ e $K_2 = 0,40 \text{ d}^{-1}$

Solução

Para obter as informações solicitadas, o Engenheiro Ambiental precisou consolidar alguns dados e, para isto, seguiu os passos abaixo:

Cálculos iniciais:

- Concentração de Saturação**
 $9,08 \text{ mg/L}$ (da tabela)
- Oxigênio Dissolvido a Jusante do Lançamento**
 $OD = 9,08 \cdot 0,68$
 $OD = 6,17 \text{ mg/L}$
- Déficit Inicial**
 $D_0 = 9,08 - 6,17$
 $D_0 = 2,91 \text{ mg/L}$
- DBO₅ da Mistura**
 $DBO_5 = \frac{7,00 \cdot 5 + 0,15 \cdot 400}{7,00 + 0,15}$
 $DBO_5 = 13,3 \text{ mg/L}$
- DBO_L da Mistura**
 $DBO_L = \frac{13,3}{1 - e^{(-0,25 \cdot 5)}}$
 $DBO_L = 18,62 \text{ mg/L}$

6. Tempo Crítico

$$t_c = \frac{1}{0,40 - 0,25} \ln \left(\frac{0,40}{0,25} \left(\frac{1 - 2,91 (0,40 - 0,25)}{0,25 (18,62)} \right) \right)$$

$t_c = 2,48 \text{ dias}$, logo $t_c = 214.104,13 \text{ s}$

7. Posição Crítica

$x_c = 0,30 \cdot 214.104,13$

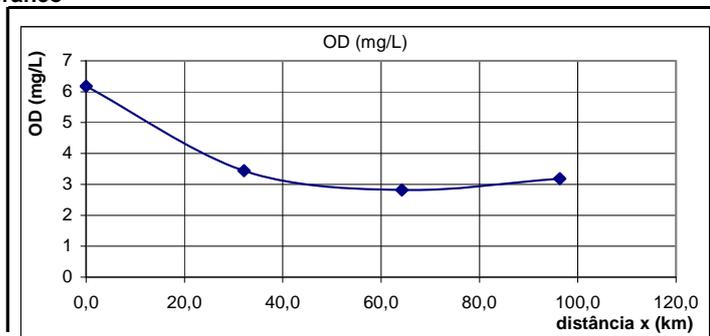
$x_c = 64.231,24 \text{ m}$, logo $x_c = 64,23 \text{ km}$

8. Déficit no Ponto Crítico

$D_c = \frac{0,25}{0,40} \cdot 18,62 \cdot e^{(-0,25 \cdot 2,48)}$
 $D_c = 6,26 \text{ mg/L}$

x (km)	OD (mg/L)
0,0	6,2
32,1	3,4
64,2	2,8
96,3	3,2

c) Gráfico



a) O oxigênio dissolvido no pto.critico x_c .

$OD_c = 9,08 - 6,26$
 $OD_c = 2,82 \text{ mg/L}$

b) Déficit no Ponto $x_c/2$ a Montante

$t_m = 1,24 \text{ dias}$

$D_{x_c/2} = \frac{0,25}{0,40 - 0,25} \cdot 18,62 (e^{(-0,25 \cdot 1,24)} - e^{(-0,40 \cdot 1,24)}) + 2,91 \cdot e^{(-0,40 \cdot 1,24)}$

$D_{x_c/2} = 5,63 \text{ mg/L}$

- Oxigênio dissolvido no ponto $x_c/2$ a montante do lançamento

$OD_{x_c/2} = 9,08 - 5,63$
 $OD_{x_c/2} = 3,45 \text{ mg/L}$

- Déficit no Ponto $x_c/2$ a jusante do lançamento

$t_j = 2,48 + 1,24$
 $t_j = 3,72 \text{ dias}$

$D_{3x_c/2} = \frac{0,25}{0,40 - 0,25} \cdot 18,62 (e^{(-0,25 \cdot 3,72)} - e^{(-0,40 \cdot 3,72)}) + 2,91 \cdot e^{(-0,40 \cdot 3,72)}$

$D_{3x_c/2} = 5,89 \text{ mg/L}$

- Oxigênio dissolvido no ponto $x_c/2$ a jusante.

$OD_{3x_c/2} = 9,08 - 5,89$
 $OD_{3x_c/2} = 3,19 \text{ mg/L}$

Figura 2 – Imagem extraída da planilha Excel – enunciado e solução completos.

Os valores numéricos fornecidos na tabela de dados são utilizados, inicialmente, nos respectivos locais, dali em diante, dos cálculos efetuados pela planilha. Esses cálculos são apresentados na sequência lógica da solução, acompanhados das respectivas explicações do raciocínio, na forma de um gabarito com a solução. Na parte 'a', calcula-se a concentração de OD crítico no curso do rio, a jusante do lançamento. Na parte 'b', estima-se o déficit e OD num ponto intermediário entre o lançamento e o ponto crítico (a meia distância entre eles) e o déficit e OD a igual distância para jusante do ponto crítico. Na parte 'c', utiliza-se os valores do déficit de oxigênio para as várias distâncias consideradas a jusante do ponto de lançamento (vide tabela-resumo) para, então, desenhar o gráfico da curva de depleção de OD ao longo do trecho considerado.

Note-se que a planilha automatiza a parte mecânica da solução, mas deixa ao estudante certas escolhas críticas finais – requerendo, portanto, sua atuação presente e consciente, de forma a fixar os aspectos conceituais do aprendizado. Por exemplo, a concentração de OD pode cair a zero em certo ponto do rio, requerendo do usuário uma análise crítica para fornecer resposta coerente. Ele também precisa escolher a escala do gráfico mais adequada a cada situação. Ainda, no caso de transformar a planilha para gerar um novo caso de cálculo, precisa compor coerentemente as componentes desse novo caso.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Algumas considerações cabem a seguir sobre os resultados pedagógicos obtidos a partir do uso desta planilha e de outras, congêneres.

O emprego de tais planilhas tem sido bem sucedido, há anos, em:

- Ciências do Ambiente e Introdução à Engenharia Ambiental, disciplinas básicas de graduação para várias habilitações em Engenharia;
- Técnicas de Avaliação de Impactos Ambientais, disciplina técnica de graduação em Engenharia Ambiental;
- Impactos Ambientais do Lançamento de Efluentes em Rios, disciplina de pós-graduação em Engenharia Sanitária ou Química Sanitária, para profissionais de formações distintas;
- Orientação de iniciação científica, em caráter introdutório, para estudantes interessados em complementar seus conceitos sobre a simulação matemática de qualidade da água fluvial, antes de abordagem mais completa dos fenômenos ligado à autodepuração, com modelo matemático para regime não uniforme.

No ensino de graduação, planilha congêneres a esta têm auxiliado na preparação de exercícios similares com dados diferentes, de forma a fornecer diversos casos para a prática da teoria e treinamento preparatório para avaliação de alunos (utilizando, então, somente calculadora, sem computador com uma planilha).

Durante o estudo de aplicação por parte do educando, a planilha fornece um padrão de resposta para que verifique os cálculos, aumentando assim sua segurança durante o estudo extra-aula. Da mesma forma, problemas podem ser preparados para argüição em prova e solução com calculadora, ficando seus gabaritos já prontos em linguagem cursiva com a planilha. Além disto, é possível propor exercícios alternativos em que as fórmulas contidas nas células da planilha são usadas como ferramenta para cálculos repetitivos, evitando sua digitação em cada operação. Por exemplo, as equações (9) e (10) foram, neste caso, usadas pela própria planilha para estimar D_t e L_t para três valores de tempo, t (correspondentes aos respectivos valores de distância ao longo do rio, x), o que permitiu traçar o perfil da concentração de oxigênio dissolvido (OD). Exercícios semelhantes poderiam ser feitos para os perfis de déficit de oxigênio (D) ou da DBO remanescente ao longo do rio (L), também usando repetidamente as respectivas fórmulas. Ainda, o aluno pode ser solicitado, por

exemplo, a modificar a planilha considerando mais pontos ao longo do rio (ou seja, outros tempos de percurso) para a geração de gráficos mais detalhados no espaço (ou tempo).

Portanto, a partir de uma planilha inicial se pode originar outras, numa seqüência que tende a incitar a criatividade no educando e o levará a praticar e fixar os conceitos adquiridos.

Agradecimentos

Os autores (dois docentes e uma monitora da disciplina ‘Introdução à Engenharia Ambiental’) agradecem o apoio da Escola de Engenharia do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, bem como aos colegas e acadêmicos com quem foram trocadas experiências e discutidas idéias relativas à aplicação desta planilha em programas de graduação e pós-graduação em Engenharia.

O primeiro autor agradece o apoio dos estudantes de graduação e pós-graduação das escolas de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie e da UNILINS que contribuíram com suas experiências e impressões ao aplicarem planilhas como esta em seus estudos acadêmicos.

Em particular, a segunda autora agradece à Escola de Engenharia Mauá pelo apoio financeiro e pela oportunidade de intercâmbio de experiências com colegas dos anos inferiores do curso de Engenharia, mediante atividade de monitoria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, Jr., B. P. F.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. de L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N. L. R.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução À Engenharia Ambiental. O desafio do desenvolvimento sustentável.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318p.

MILLER, G. T. **Living in the environment: an introduction to environmental science.** Belmont, CA: Wadsworth Publishing Co., 1990. 698p.

O’CONNOR, D. J.; DOBBINS, W. E. Mechanism of reaeration in natural streams. **Trans. ASCE.** Reston, VA, 123, 1958. pp.641-84.

PEAVY, H. S.; ROWE, D. R.; TCHOBANOGLOUS, G. **Environmental Engineering.** Nova Iorque: McGraw-Hill Book Co., ISBN 0-07-100231-6, 1986. 732p.

REDA, A. L. L. **Simulation and control of stormwater impacts on river water quality.** 1996. Tese (Doutorado em Engenharia - PhD) - Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London, 512p.

REDA, A. L. L. Agilização no ensino de Engenharia costeira: análise de maregrama como série temporal aplicando média móvel e planilha de cálculo. In: COBENGE2004, Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 32, ABENGE (Associação Brasileira de Ensino de Engenharia), Brasília, 14-17 de setembro, 2004. **Anais.** Brasília: UNB, 2004. pp.1-7.
<http://www.cobenge2004.nmi.unb.br.2004>.

REDA, A. L. L. Software didático de hidráulica para docentes e alunos: o problema dos três reservatórios. In: COBENGE2005, Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 33, ABENGE (Associação Brasileira de Ensino de Engenharia), Campina Grande, PB, 12-15 de setembro, 2005. **Anais.** Campina Grande: UFCG, 2005. pp.1-10.
<http://www.cobenge2005.cct.ufcg.edu.br>.

REDA, A. L. L. Uso criterioso de planilha eletrônica no ensino de Hidráulica: dimensionamento de redes de abastecimento de água pelo método de Hardy-Cross. In: COBENGE2006, Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 34, ABENGE (Associação Brasileira de Ensino de Engenharia), Passo Fundo, RS, 12-15 de setembro, 2006. **Anais:** Passo Fundo: UPF, 2006, pp.1-10. <http://www.upf.br/cobenge2006>.

STREETER, H. W.; PHELPS, E. B. A study of the pollution and natural purification of the Ohio River. **U. S. Public Health Bulletin**. Washington: U.S. Department of Health, Education, & Welfare, v.3, n.146, 1925.

COMPUTER SPREADSHEET MOTIVATING AND ACCELERATING THE LEARNING PROCESS WITH SUPPORT OF THE ASSISTENT STUDENT – APPLICATION TO THE TEACHING OF INTRODUCTION TO ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Abstract: *Basic sciences are the infrastructure supporting the technical-professional part of undergraduate Engineering courses. Nonetheless, it is common that students with a preference for technology application (rather than pure sciences) do not support “crossing” circa two introductory years of basic subjects towards more technical ones (in Brazil, traditionally from about mid-course). An obvious attempt to attract students to classes (so, “fixing” them onto courses and avoiding evasion) – aiming at the difficult task of graduating the masses of engineers required by industry (particularly in developing countries) – is the inclusion of application exercises into syllabuses. However, these consume classroom time and, given the current trend to reduce course duration (following the current European approach of three- to four-year courses), are difficult to accommodate in the programme. So, how could students continue to practice just-learned techniques outside the classroom? How could studies be rendered so interesting and productive that disciples would dedicate extra-classroom time to them? Practice in Engineering education has provided the authors with opportunities to build and test electronic spreadsheets useful for such a practice, combining in-cell formulae (containing theory necessary to solve the problem) and text (presenting data, completing theory and explaining solution). The paper discusses the advantages of applying such a didactical tool and demonstrates its use, specifically, to teach water self-purification simulation along a river. Its success comes from its practical and ready applicability, with support of the assistant student – also, helping to quickly create and solve variants of proposed problems.*

Key-words: *Didactical electronic spreadsheets, Exercises to fix learning, River self-purification, River pollution, Curbing student evasion.*