

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Estratégia pedagógica: resolução de problemas de recursos hídricos sob abordagem holística.

Érick Rúbens Oliveira Cobalchini¹; Thalita Raquel Pereira de Oliveira²; Yuri Batista Ishizawa³; Tassiana Halmenschlager Oliveira⁴; Jullian Souza Sone⁵; Gabriela Chiquito Gesualdo⁶; Hailton César Pimentel Fialho⁷; Edna Lizeth Higuera Castro⁸; Bruno José de Oliveira Sousa⁹; Alex Naoki Asato Kobayashi¹⁰ & Eduardo Mario Mendiondo¹¹

RESUMO – O ensino e aprendizado nos cursos de Engenharia, costumeiramente, compreendem muitas simplificações. Apesar de utilizada para a compreensão do fenômeno estudado, contemplar aspectos interdisciplinares está intimamente ligado à resolução de problemas de fenômenos naturais, dentre eles, recursos hídricos. No entanto, pouco se observa da utilização de problemas que englobem diversas facetas e contemplem a real extensão e intensidade do objeto de estudo. O objetivo deste trabalho é apresentar uma atividade pedagógica que aplica e valoriza a interdisciplinaridade no ensino de recursos hídricos a fim de desenvolver o senso crítico de futuros tomadores de decisão. A atividade proposta contempla a estimativa de precipitação, evapotranspiração, resolução de balanço hídrico e a avaliação de diferentes cenários com aumento de temperatura, populacional e alteração do uso do solo, avaliando, também as penalidades para déficit ou excesso de água. A análise dos diversos cenários por meio de uma matriz de contingência permite a visualização evolutiva de cada variável e indica a influência que ela exerce sobre a variável em estudo. O presente trabalho nos permitiu refletir, como futuros gestores e tomadores de decisão, sobre qual a melhor intervenção do ponto de vista social, ambiental e econômico.

ABSTRACT– Teaching and learning in engineering courses usually comprise many simplifications. Although used to understand the studied phenomenon, contemplating interdisciplinary aspects is closely linked to the resolution of problems of natural phenomena, among

1 Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Av. Trabalhador São Carlense, 400 – Centro. CEP 13566-590 - Caixa Postal 359. São Carlos- SP, Brasil. cobalchini@usp.br.

2 Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Av. Trabalhador São Carlense, 400 – Centro. CEP 13566-590 - Caixa Postal 359. São Carlos- SP, Brasil; thalitaoliveira@usp.br.

3 Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Av. Trabalhador São Carlense, 400 – Centro. CEP 13566-590 - Caixa Postal 359. São Carlos- SP, Brasil; yishizawa@usp.br.

4 Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Av. Trabalhador São Carlense, 400 – Centro. CEP 13566-590 - Caixa Postal 359. São Carlos- SP, Brasil; tassiana.halmenschlager@usp.br.

5 Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Av. Trabalhador São Carlense, 400 – Centro. CEP 13566-590 - Caixa Postal 359. São Carlos- SP, Brasil; julliansone@gmail.com.

6 Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Av. Trabalhador São Carlense, 400 – Centro. CEP 13566-590 - Caixa Postal 359. São Carlos- SP, Brasil; chiquito.gabriela@gmail.com.

7 Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Av. Trabalhador São Carlense, 400 – Centro. CEP 13566-590 - Caixa Postal 359. São Carlos- SP, Brasil; hailtoncesar.pa@usp.br.

8 Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Av. Trabalhador São Carlense, 400 – Centro. CEP 13566-590 - Caixa Postal 359. São Carlos- SP, Brasil; elhiguerac@unal.edu.co.

9 Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Av. Trabalhador São Carlense, 400 – Centro. CEP 13566-590 - Caixa Postal 359. São Carlos- SP, Brasil; bruno.eng.sousa@gmail.com.

10 Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Av. Trabalhador São Carlense, 400 – Centro. CEP 13566-590 - Caixa Postal 359. São Carlos- SP, Brasil; alexkobayashi10@gmail.com.

11 Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Av. Trabalhador São Carlense, 400 – Centro. CEP 13566-590 - Caixa Postal 359. São Carlos- SP, Brasil; emm@sc.usp.br.

them, water resources. However, the use of problems that encompass several facets and contemplate the real extent and intensity of the object of study is few times seen. The objective of this work is to present a pedagogical assignment that applies and values interdisciplinarity in the teaching of water resources in order to develop a critical sense in future decision makers. The proposed activity includes the estimation of precipitation, evapotranspiration, resolution of water balance and the evaluation of different scenarios with increasing temperature, population, and alteration of land use/land cover, also evaluating the penalties for water deficit or excess. The analysis of the various scenarios through a contingency matrix allows the evolutionary visualization of each variable and indicates the influence it exerts on the variable under study. The present coursework allowed us to reflect, as future managers and decision makers, on the best intervention from social, environmental and economic point of view.

Palavras-Chave – Interdisciplinaridade; Aquecimento global;

1. INTRODUÇÃO

A complexidade de problemas envolvendo recursos hídricos requer visão colaborativa para lidar sobre as questões interdisciplinares. Diante da natureza do comportamento interdisciplinar, para produzir conhecimento socialmente relevante, o resultado deve trazer uma nova compreensão de um fenômeno particular, não simplesmente uma perspectiva revisada a respeito de uma questão disciplinar. Desta forma, a integração das disciplinas implica na modificação em como os indivíduos compreendem várias questões relevantes atualmente (HOLLEY, 2009).

Desde o início do século XXI as Nações Unidas estão adotando novas estratégias, buscando soluções para a crise relacionada à migração de pessoas que antes residiam em áreas comprometidas pelos efeitos da falta ou má gestão dos recursos hídricos. A disponibilidade dos recursos hídricos tem se tornado um grande problema nos últimos tempos devido à escassez hídrica e ao consumo irracional da água. De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), no Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil, a demanda pelo recurso tende a crescer 24% até 2030, contribuindo para o ápice de uma crise hídrica.

Os objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (*Sustainable Development Goals*) das Nações Unidas abordam desafios globais enfrentados pela população mundial, entre eles acesso a água limpa e saneamento, cidades e comunidades mais sustentáveis e mudanças climáticas. Neste contexto, propõe-se neste trabalho um exemplo aplicado do impacto causado pelo movimento de pessoas e a criação de assentamentos em bacias hidrográficas. Foram avaliados diferentes cenários, levando em consideração o crescimento populacional, mudanças climáticas e mudanças nos usos do solo. Levou-se em consideração a pegada hídrica, ou seja, volume total de água doce que é usado para produzir os bens e serviços consumidos pelo indivíduo ou comunidade ou produzidos por empresas (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2004). Foi possível observar a relação entre esses dados e a disponibilidade de água na bacia.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma atividade pedagógica que aplica e valoriza a interdisciplinaridade no ensino de recursos hídricos a fim de desenvolver o senso crítico de futuros tomadores de decisão. Com isso, pretende-se estimular a mudança e aprimoramento na formação de futuros docentes, fomentando resoluções de problemas sob abordagem holística.

2. METODOLOGIA

A aplicação da atividade interdisciplinar foi realizada junto ao programa de pós-graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento da Universidade de São Paulo (PPG- SHS USP), ao longo da disciplina “Aspectos Qualitativos dos Recursos Hídricos”. Nesse contexto, a temática adotada foi ‘*Virtual Water Problem*’, visando capacitar os alunos à resolução de problemas reais, por meio de

aplicação de conceitos e métodos da hidráulica e hidrologia, considerando causas e efeitos em outras dimensões do conhecimento, estimulando tanto a construção de um senso crítico, quanto o exercício da cidadania no papel de futuros professores, como mediadores neste processo. Um *Virtual Water Problem* (Problema Virtual de Água, VWP) é um exemplo de narrativa factível usando ferramentas hidráulicas e hidrológicas, com exclusiva finalidade de aprendizado (*e-learning*). O VWP permite que alunos, cientistas e partes interessadas a imergir em cenários envolvendo recursos hídricos por meio de enredos criados no contexto de bacias hidrográficas.

2.1. Virtual Water Problem (VWP): Um *aqua-memo* para imigrantes sob um século em mudança

A narrativa desta proposta abrange políticas globais de água com intuito de discutir como gerenciar a crise de migração humanitária. O enredo apresenta que a Organização das Nações Unidas (ONU) entende a factibilidade de cenários globais que incorporam três sistemas globais: o *Sustainable Development Goals* (SDGs), o *Disaster Risk Reduction Post-Sendai 2015-2030 Framework* (DRR-GAR) e o *Summit for Climate Change* das Nações Unidas (Paris – COP21). Assim, os alunos são encorajados a trabalhar em projetos, onde precisam lidar com cenários globais de escassez hídrica entre os anos de 1950 e 2050. Os projetos precisam ser pensados de maneira descentralizada em polos agrícolas, onde se provocará uma migração reversa das megalópoles para as áreas rurais.

2.1.1. Estudo de caso

O *International Decade 2003-2012 of Prediction in Ungauged Basins* (IAHS, S/A) irá patrocinar os polos agrícolas, juntamente com a ONU e o Banco Mundial, completamente estabelecidos até 2050, que influenciará a sustentabilidade de uma bacia de até 20 km² sem prévia urbanização. A bacia hidrográfica representativa para o estudo de caso está inserida em um bioma subtropical do Brasil. No passado, essa bacia foi afetada por uma alteração do uso do solo para agricultura entre 1950 e 2005, caracterizado pela utilização de técnicas não conservacionistas. Deste modo, altas taxas de erosão ocorreram na bacia. Assim, apesar da alta incerteza relacionada à total capacidade de armazenamento de água no solo ($S_{máx}$) na bacia, acredita-se que o valor tenha decrescido no período. Com a migração populacional e a consequente urbanização, o $S_{máx}$ também deverá mudar até 2050. Cenários de aumento de temperatura foram propostos e avaliados para diferentes estimativas de imigrantes, demanda e capacidade hídrica (Tabela 1). Além da demanda, com crescimento populacional, são acrescidos os usos consuntivos até 2050: uso doméstico, comercial e turismo, irrigação, indústria, agropecuária, diluição de resíduos, recreação e geração de energia. Os alunos são levados a entender as forças motrizes que condicionam as mudanças socioeconômicas e socioambientais na bacia.

Tabela 1. Exemplo de cenários (grupos de trabalho) considerado mudança de temperatura de +1 °C entre 1950 e 2000.

Cenários (Cada grupo adota um cenário global)	Capacidade de armazenamento de água ($S_{m\acute{a}x}$) em 1950 (m^3)	Imigrantes em 2050	Demanda Mensal em 2050 (l/habitantes dia)	Distribuição da demanda (%) usando a demanda mensal em 2050									
				Consuntivos					Não consuntivos				
				D	I	A	Ir	CeT	E	Dil	Re		
A	2000000	40000	x										
B	1500000	40000	y										
...

Observação: D é uso domestico, I é uso para indústria, A é uso para agropecuária, Ir é irrigação, CeT é uso para comércio e turismo, E é uso para geração de energia, Dil é uso para diluição de água residárias e Re é uso para recreação.

2.2. Avaliação

Os alunos foram avaliados pelo balanço hídrico segundo cada cenário global de mudança (Tabela 2) de acordo com os seguintes critérios: balanço hídrico anual detalhado para os anos de 1950, 2000 e 2050 para os cenários de mudança climática (+1°C e +2,5°C), avaliação dos custos totais sob eventos de excesso e escassez hídrica (penalidade hídrica) (U\$) para os anos de 1950, 2000 e 2050, considerando os cenários de mudanças climáticas (+1°C e +2,5°C) e construção de uma matriz de contingência considerando a mudança de temperatura (ΔT), $S_{m\acute{a}x}$, demanda e penalidade hídrica para 1950, 2000 e 2050.

Tabela 2. Sumário de cálculo de cenários futuros

Cenários de escassez hídrica	1950	2000	2050
Cenários de mudanças climáticas (T mensal, °C)	-1°	-	+1 +2,5°
Mudança de uso e ocupação (mudança na capacidade de infiltração do solo)	120% $S_{m\acute{a}x(2000)}$	$S_{m\acute{a}x(2000)}$	85% $S_{m\acute{a}x(2000)}$
Pressão do vapor d'água (ea , Pa)	ea constante		
Pressão de saturação do vapor d'água (eas , Pa)	As mudanças serão de acordo com as mudanças na temperatura $eas=611.e[(17,27 T)/(237,3+T)]$		
Umidade relativa (HR , %)	Depende da temperatura e pressão de vapor d'água $HR = (ea / eas)$		
Precipitação (P , mm)	Depende da umidade relativa Entre $0 \% \leq RH < 20 \%$: $P = 0$ Entre $20 \% \leq RH \leq 100 \%$: $P = 0,004.RH^3 - 0,4965.RH^2 + 21,398.RH - 249,41$		

$$ETp = 16.(10. T / I)^a$$

Evapotranspiração potencial

(ETp , mm)

$$a = 67,5 \cdot 10^{-8} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 0,01791 I + 0,492; e \quad I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514}$$

3. PERCEPÇÃO DISCENTE E VANTAGENS NO ENSINO

A análise de diferentes cenários possíveis implica no melhor conhecimento do problema e, como as diversas variáveis envolvidas afetam a variável de interesse. O aumento da temperatura ocasionou o aumento da evapotranspiração e a diminuição da precipitação (consequência da diminuição da umidade relativa do ar). Pôde-se observar, com o aumento da temperatura, a tendência das estimativas de evapotranspiração superarem as estimativas da precipitação. Isto implica na diminuição da disponibilidade hídrica na bacia.

As matrizes de contingência dos cenários de aumento de temperatura (+1°C e +2,5°C) (Tabela 3 e 4) foram estabelecidas para avaliar a diferença de penalidade aplicada entre os anos de 2000 e 2050, relacionadas à variação no uso do solo (armazenamento) e aumento populacional (demanda).

Tabela 3 – Matriz de contingência para + 1°C de aumento na temperatura em 2050.

2050 + 1°C		Demanda média mensal (mm)									
		6,38	7,02	7,66	8,29	8,93	9,57	10,21	10,85	11,48	12,12
S _{max} (mm)	93,5	7.361,30	7.784,16	8.602,54	9.420,93	10.239,32	10.662,17	11.480,56	11.903,41	12.721,80	13.540,19
	85	6.664,72	7.087,58	7.905,97	8.724,35	9.542,74	9.965,60	10.783,98	11.206,84	12.025,22	12.843,61
	76,5	5.572,62	5.995,48	6.813,86	7.632,25	8.450,63	8.873,49	9.691,88	10.114,73	10.933,12	11.751,51
	68	4.480,51	4.903,37	5.721,76	6.540,14	7.358,53	7.781,38	8.599,77	9.022,63	9.841,01	10.659,40
	59,5	3.388,41	3.811,26	4.629,65	5.448,04	6.266,42	6.689,28	7.507,67	7.930,52	8.748,91	9.567,29
	51	2.691,83	3.114,69	3.933,07	4.751,46	5.569,85	5.992,70	6.811,09	7.233,95	8.052,33	8.870,72
	42,5	1.599,73	2.022,58	2.840,97	3.659,36	4.477,74	4.900,60	5.718,98	6.141,84	6.960,23	7.778,61
	34	507,62	930,48	1.748,86	2.567,25	3.385,64	3.808,49	4.626,88	5.049,74	5.868,12	6.686,51
	25,5	-584,48	-161,63	656,76	1.475,14	2.293,53	2.716,39	3.534,77	3.957,63	4.776,02	5.594,40
	17	-1.281,06	-858,2	-39,82	778,57	1.596,96	2.019,81	2.838,20	3.261,05	4.079,44	4.897,83

Tabela 4 – Matriz de contingência para + 2,5°C de aumento na temperatura em 2050.

2050 + 2,5°C		Demanda média mensal (mm)									
		6,38	7,02	7,66	8,29	8,93	9,57	10,21	10,85	11,48	12,12
S _{max} (mm)	93,5	40.592,48	41.410,86	42.229,25	43.047,64	43.866,02	44.684,41	45.502,80	46.321,18	47.139,57	47.957,95
	85	39.895,90	40.714,29	41.532,67	42.351,06	43.169,45	43.987,83	44.806,22	45.624,61	46.442,99	47.261,38
	76,5	38.803,80	39.622,18	40.440,57	41.258,96	42.077,34	42.895,73	43.714,11	44.532,50	45.350,89	46.169,27
	68	37.711,69	38.530,08	39.348,46	40.166,85	40.985,24	41.803,62	42.622,01	43.440,39	44.258,78	45.077,17
	59,5	36.619,59	37.437,97	38.256,36	39.074,74	39.893,13	40.711,52	41.529,90	42.348,29	43.166,68	43.985,06
	51	35.923,01	36.741,40	37.559,78	38.378,17	39.196,56	40.014,94	40.833,33	41.651,71	42.470,10	43.288,49
	42,5	34.830,90	35.649,29	36.467,68	37.286,06	38.104,45	38.922,84	39.741,22	40.559,61	41.377,99	42.196,38
	34	33.738,80	34.557,19	35.375,57	36.193,96	37.012,34	37.830,73	38.649,12	39.467,50	40.285,89	41.104,28
	25,5	32.646,69	33.465,08	34.283,47	35.101,85	35.920,24	36.738,62	37.557,01	38.375,40	39.193,78	40.012,17
	17	31.950,12	32.768,50	33.586,89	34.405,28	35.223,66	36.042,05	36.860,44	37.678,82	38.497,21	39.315,59

Há uma relação muito clara do aumento das penalidades frente ao aumento da temperatura e à ocupação desordenada (alta impermeabilização). O aumento da população e das atividades humanas nos cenários avaliados impactam sobretudo no uso e ocupação e, como consequência, na água disponível. O cenário da insegurança hídrica é agravado, ainda, pelo aumento da demanda.

Os resultados indicam, com base nos indicadores Demanda e $S_{m\acute{a}x}$, quais as situações favoráveis (diminuição das penalidades) e os cenários indesejáveis (aumento das penalidades). Foram observadas poucas situações com a diminuição dos valores das penalidades comparados à grande maioria de cenários indesejáveis (Tabela 3 e 4). A diferença significativa dos resultados evidencia a necessidade da adoção de medidas preventivas de gestão, evitando o aparecimento de situações críticas no futuro. Frente aos cenários observados, deve-se procurar medidas para conter o aumento da temperatura e adequar condutas de uso e ocupação do solo para mitigar os efeitos nocivos da ocupação desordenada por meio do Nexus (segurança hídrica, alimentar e energética). Futuras práticas conservacionistas deverão ser tomadas visando mitigar as altas taxas de erosão em sulcos e voçorocas, bem como identificar e avaliar os impactos nos ciclos ec hidrológicos na bacia. Além disso, existem soluções para a questão da ocupação de imigrantes em territórios já urbanizados: a aplicação de técnicas de ge engenharia climática, medidas mitigadoras, otimização da gestão de locação de imigrantes nos territórios em cenários mais favoráveis e soluções em pequenas escalas. Ainda, novas propostas podem ser relacionadas à drenagem urbana sustentável, surgindo como meio de atenuação dos riscos causados pela impermeabilização do solo. Algumas das soluções mais

comuns no meio urbano são as bacias de detenção, retenção, pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração e biorretenção. Entretanto, em escala de bacia, essas medidas podem se tornar bastante onerosas, com alto custo de implantação e pouca atenção às ocorrências de manutenção. Por outro lado, as técnicas compensatórias descentralizadas, em escala de lote, são alternativas praticáveis com um custo menor e dividido entre a população da área. A redução da escala do problema é imprescindível na discussão das formas de redução dos impactos causados devido a impermeabilização do solo, tendo em vista a possibilidade de aumento da ocupação urbana.

4. CONSIDERAÇÕES

O trabalho permitiu desenvolver uma metodologia eficaz frente ao seu objetivo pedagógico, analisando diferentes cenários de aumento de temperatura (+1°C e +2,5°C) para o ano 2050 frente a cenários de presente (2000) e passado (1950), permitindo obter diferentes penalidades de déficit ou excesso de água para cada um dos cenários mediante uma matriz de contingência que permitisse facilitar a tomada de decisão para determinar as medidas mitigadoras adequadas.

O trabalho nos permitiu observar o impacto das do aumento populacional e da variação do uso do solo e ocupação desordenada em uma bacia hipotética e como a combinação dos fatores acarretam diferentes penalidades. Diante disso, permite a adoção de locais adequados para realocação de população migratória, e quais medidas mitigadoras devem ser adotadas para reduzir os impactos de uso de ocupação do solo e aumento de temperatura.

O presente trabalho nos fez refletir, como futuros gestores e tomadores de decisão, sobre qual a melhor intervenção do ponto de vista social, ambiental e econômico, podendo ser desde intervenções em grande escala, como ações de geoengenharia como construção de barragens, reservatórios e açudes, ou intervenções em escala de lote, realizando medidas mitigadoras como, controle de desmatamento, programas de educação ambiental, recuperação de áreas degradadas, implementação do monitoramento hidrológico e meteorológico em áreas estratégicas para avaliar futuras alterações. Deste modo, o trabalho proposto mostrou-se uma ferramenta relevante para o fomento de discussões em grupo, além de permitir o desenvolvimento e o aprimoramento do senso crítico dos estudantes mediante a tomadas de decisão.

Destaca-se a importância de realizar a análise e monitoramento de problemas futuros relacionados com a disponibilidade hídrica para facilitar a tomada de decisão para adotar estratégias apropriadas para garantir a segurança hídrica na população e diminuir as fontes de riscos geradas por secas e inundações em cenários futuros.

REFERÊNCIAS

International Association of Hydrological Sciences. “Predictions in Ungauged Basins (PUB)”. Acesso em: 1 de maio de 2019. Disponível em: <https://iahs.info/pub/index.php>

Chapagain e Hoekstra (2004) Water footprints of nations, Volume 1, 2 and Glossary: Main Report, Research Report Series No. 16, UNESCO-IHE

Special Issue: Understanding Interdisciplinary Challenges and Opportunities in Higher Education
Holley, Karri A., Ed. ASHE Higher Education Report, v35 n2 p1-131 2009