
Princípios e Critérios de Concepção de Rede Integrada de Monitoramento de Recursos Hídricos: Caso da República de Angola

Conception of Integrated Water Resources Monitoring Networks – Principles and Criteria. Case Study in the Republic of Angola

Augusto Salvador Malaquias Chico ¹ e Maurício Dzedzic ²

Mestre em Gestão Ambiental, Universidade Positivo (UP) Curitiba, PR., Brasil

Repartição de Estudos e Projetos Hidrelétricos do GAMEK/MINEA - Angola

augustuchico@gmail.com

Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, Universidade Positivo Curitiba, PR., Brasil

dzedzic@up.edu.br

Recebido: 17/12/14 - Revisado: 05/05/15 - Aceito: 13/05/15

RESUMO

O presente trabalho apresenta a concepção de uma rede de monitoramento de recursos hídricos em Angola como instrumento indispensável ao planejamento e à gestão integrada e adaptativa dos recursos hídricos. São propostos princípios e critérios para implementação de uma rede de monitoramento de recursos hídricos com base nas diretrizes definidas pela Lei de Águas de Angola e regulamentos complementares. A rede, caracterizada por estações de monitoramento de variáveis de qualidade da água, fluviométricas, sedimentométricas, pluviométricas e meteorológicas, é definida a partir da descrição detalhada dos recursos hídricos, do uso e ocupação do solo, do relevo, do clima e da precipitação. A aplicação desses princípios resultou na definição de uma metodologia de concepção de rede de monitoramento de recursos hídricos adequada às características físico-climáticas e consonante com o nível de desenvolvimento socioeconômico do país, capaz de monitorar temporal e espacialmente variáveis hidrológicas, climatológicas, físicas, químicas e biológicas de modo a disponibilizar dados de quantidade e qualidade dos recursos hídricos.

Palavras Chave: Rede hidrometeorológica. Recursos naturais. África

ABSTRACT

The work described herein aimed to design a monitoring network of water resources in Angola as an indispensable tool for planning and managing integrated and adaptive water resources. The project sought to develop principles and criteria for the implementation of a monitoring network of water resources based on the guidelines set by the Angola Water Law and complementary regulations. The network, composed of monitoring stations for water quality, flow rate, level, sediments, rainfall and weather, was determined from the detailed description of water resources, land use, topography, climate and rainfall. The application of these principles resulted in the definition of a methodology for the design of a monitoring network adequate to climate and physical characteristics, commensurate with the level of socioeconomic development of the country, able to monitor the temporal and spatial hydrological, climatological, physical, chemical and biological parameters in order to provide data on the quantity and quality of water resources.

Keywords: Hydrometeorological monitoring. Water resources. Angola

INTRODUÇÃO

A Lei de Águas n.º6/02 de Angola, reconhece a água como um dos mais importantes recursos naturais necessários à vida, ao desenvolvimento econômico e social e ao equilíbrio ambiental. Considera que tais necessidades requerem uma gestão adequada da água, de modo a assegurar o equilíbrio permanente entre os recursos hídricos disponíveis ou potenciais e a demanda atual e futura. Estabelece o Modelo de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos como um dos princípios de gestão e o inventário geral dos recursos hídricos, por meio de uma rede de monitoramento, nos seus aspectos de quantidade e qualidade, como instrumento de apoio ao planejamento e à gestão integrada (ANGOLA, 2002).

A gestão integrada de recursos hídricos, segundo WMO (2009), combina e integra de modo sistemático as dimensões superficial e subterrânea, quantidade e qualidade da água. Considera a água um sistema ecológico em constante interação com os demais sistemas ambientais terrestres e o contexto das relações sociais, econômicas e ambientais em que a água é um componente, com a finalidade de embasar a tomada de decisão sobre o desenvolvimento e os usos múltiplos dos recursos hídricos.

O monitoramento produz informação que permite a gestão adaptativa, que, segundo Limeira et al. (2010) e Loucks e van Beek (2005), é a ação desenvolvida em resposta às informações do monitoramento com o objetivo de aprimorar o desempenho do sistema aquático. O monitoramento de recursos hídricos permite avaliar a disponibilidade hídrica em termos de quantidade e qualidade, dados a partir dos quais se assenta a gestão de recursos hídricos, com ênfase na compatibilização dos usos às disponibilidades.

A adoção de um modelo de Gestão Integrada de Recursos Hídricos requer articulação dos planos de gestão de recursos hídricos com os demais planos de desenvolvimento local, regional e nacional. Esta condição demanda uma rede de monitoramento integrada e com objetivos múltiplos, que considere no processo da sua concepção as necessidades atuais e futuras e dos vários setores econômicos e agentes sociais.

De modo geral, os principais métodos de concepção de rede de monitoramento de recursos hídricos, segundo Mishra e Coulibaly (2009), são os métodos estatísticos (Redução da Variância, Redução da Dimensão, Análise de Rede para Informação Regional, Análise de Rede Utilizando Mínimos Quadrados Generalizados); as técnicas de interpolação espacial (métodos de Kriging, Comparação de Técnicas de Interpolação); os métodos baseados no Princípio de Entropia (Entropia para Concepção de Rede); os métodos de otimização; os métodos baseados nas características fisiográficas da bacia hidrográfica; os métodos baseados na estratégia de amostragem; e o método baseado nas necessidades dos usuários da informação. Esses mesmos autores afirmam que o desempenho dos métodos depende das características hidrológicas e físico-climáticas da bacia hidrográfica. Todavia, recomendam os Métodos Híbridos, que combinam diferentes técnicas de concepção de redes integradas ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) como ferramenta de análise espacial que permite otimizar o número e a distribuição de estações da rede por meio da análise de diversos cenários.

O monitoramento hidrológico procura responder, segundo Bales et al. (2004), a necessidades muito diversas e dinâmicas de gestão dos recursos hídricos. Para fazer face à diversidade, a concepção dos sistemas de monitoramento de recursos hídricos deverá se embasar na definição de objetivos que reflitam, ao longo do tempo, as demandas dos gestores e usuários, e estabelecer com especificidade as variáveis a monitorar, a localização das estações, a frequência das observações, o tipo e a densidade da rede que permitirá atender os objetivos.

O projeto ora relatado visou responder à escassez de dados de recursos hídricos na República de Angola, situada na região austral da África, por meio da definição de metodologia de concepção de rede de monitoramento de recursos hídricos. Esse monitoramento inclui aspectos quantitativos e qualitativos como parte dos instrumentos de implementação do Modelo de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos, meta estabelecida pela Lei de Águas n.º6/02 (ANGOLA, 2002).

Neste contexto, definiu-se, apoiado em Buishand e Hooghart (1986) e Loucks e van Beek (2005), os objetivos do monitoramento, a metodologia de concepção da rede de monitoramento, bem como as estratégias para otimização da sua configuração.

MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos para consecução dos objetivos propostos consistiram em:

1. Elaborar a proposta de implantação do sistema de monitoramento de recursos hídricos em consonância com a Lei das Águas vigente que estabelece a bacia hidrográfica como unidade de gestão dos recursos hídricos, sem perder o escopo de integração do ciclo hidrológico, comportando todas as partes que o constituem;
2. Definir critérios para implementação do sistema em etapas, atendendo a questões de ordem econômica, social, política e ambiental. Definir que regiões, províncias, municípios ou bacias hidrográficas serão priorizados, que variáveis serão inicialmente amostradas e analisadas;
3. Definir o número de estações e a densidade da rede, a distribuição espacial, as variáveis a medir, os pontos e a frequência de amostragem com base nas recomendações da literatura, tomando como fator de ponderação os aspectos geográficos, hidrológicos, climáticos, socioeconômicos, políticos e ambientais específicos de Angola, de modo a assegurar a representatividade da população alvo e a adequação à realidade estudada.

Para a concepção da rede se identificou e avaliou, por meio da análise bibliográfica, as bases e os princípios que caracterizam o sistema de monitoramento de recursos hídricos enquanto ferramenta para obtenção (aquisição) de dados quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos, configurando-se como etapa prévia indispensável ao Sistema de Informação de Recursos Hídricos, como instrumento de apoio à tomada de decisão.

Foram analisados e considerados referências de contribuição metodológica, científica e tecnológica os sistemas

de monitoramento de recursos hídricos dos Estados Unidos da América (Bales et al., 2004; Hooper et al., 2001; National Research Council, 2004; Ficke e Hawkinson, 1975; Hirsch et al., 1988), da França (Ministère de L'écologie et du Développement Durable, 2006; Henocque e Andral, 2003; CE, 2000; Nion, 2009; Machado, 2003), do Brasil (ANA, 2005, 2007 e 2012; Magalhães Jr., 2000), de Portugal (DSRH, 2001; Pimenta et al., 1998; Reis et al., 2010), da África do Sul (Van Niekerk, 2004) e de Moçambique (CHILUNDO et al., 2008). A partir da análise da experiência destes países, se definiu o tipo de monitoramento, os objetivos do monitoramento, os critérios de distribuição espacial da rede, a densidade da rede, as variáveis a amostrar e analisar, os pontos e a frequência de amostragem adequados às características hidrometeorológicas de Angola. Definiu-se, ainda, a frequência de amostragem tendo em conta a multiplicidade de objetivos estabelecidos pela Lei de Águas que deverão ser atendidos simultaneamente.

Neste contexto, os passos metodológicos para concepção da rede de monitoramento de recursos hídricos incluíram a definição dos seguintes aspectos constituintes do sistema:

- Tipos de monitoramento e classificação das estações;
- Número de estações;
- Localização das estações;
- Variáveis a serem monitoradas;
- Frequência de amostragem;
- Armazenamento e transferência das informações.

O tipo de monitoramento foi definido dentre as seguintes possibilidades: intensivo, por tempo determinado e permanente. As estações foram classificadas em hidrométricas e meteorológicas, buscando-se compor uma rede integrada de monitoramento de recursos hídricos.

O número de estações foi estabelecido separadamente para cada classe de estação e, nesta etapa, se determinou o tamanho e as características do universo que será amostrado, com base na literatura disponível sobre redes de monitoramento de recursos hídricos de vários países, como critério para auxiliar na determinação da densidade da rede e a definição do número de estações. Neste sentido, a recomendação de densidade mínima da WMO (2008), explicitada nas Tabelas 1 e 2, serviu de base para determinar o número de estações. A classificação das zonas fisiográficas (Tabela 2), segundo a WMO (2008), se baseou na distribuição espacial e sazonal da precipitação, dada a simplicidade, a precisão e a facilidade dos países mapearem esta variável. As áreas urbanas, como apresentam alta densidade populacional, exigem uma concepção diferente da diretriz proposta, que dependerá das condições locais.

O Brasil, cujo estágio de desenvolvimento da rede de monitoramento dos recursos hídricos, caracterizado por uma rede com densidade mínima e variáveis básicas, parece mais compatível com o que se propõe inicialmente para Angola. Por este razão, a experiência brasileira serviu de comparativo no aspecto de densidade das várias classes de estações fluviométricas, sedimentométricas, pluviométricas e de qualidade da água.

A localização das estações foi definida com base nos critérios recomendados por Bales et al. (2004), Loucks e Van

Beek (2005), Mirsha e Coulibaly (2008), e WMO (2008 e 2009), nos casos práticos estudados e nas características hidrológicas, físico-climáticas, e socioeconômicas de Angola. A distribuição espacial das estações buscou a representatividade espacial da amostragem. Foram observadas zonas com características físico-climáticas homogêneas ou similares, a ordem do rio e sua área de drenagem, as confluências dos principais afluentes, áreas com rochas e/ou solos suscetíveis à erosão, combinando com os aspectos de uso e ocupação do solo, densidade demográfica e grau de atividade econômica, dispersão e comprimento de mistura.

As variáveis selecionadas devem descrever condições hidrológicas e meteorológicas. Nesta etapa, se definiu, com base nas recomendações de Lettenmaier (1979), Ward et al. (1990), WMO (1994), Bartram e Ballance (1996), Angola (2002), Loucks e Van Beek (2005), ANA (2007), e Mirsha e Coulibaly (2008), e dos casos práticos estudados, as variáveis hidrológicas, sedimentológicas, de qualidade da água e meteorológicas que caracterizam a situação dos recursos hídricos, no espaço e no tempo. A seleção das variáveis obedeceu ao critério de atendimento dos objetivos do monitoramento, determinados pelos objetivos da gestão dos recursos hídricos estabelecidos pela Lei das Águas de Angola.

A frequência de amostragem reflete a taxa de variação temporal que se pretende detectar. Foi definida para as diferentes variáveis de maneira a assegurar a representatividade temporal das observações. Para alguns casos se adotou amostragem periódica e, em outra contínua, em função da variabilidade temporal esperada da grandeza a amostrar. A forma de armazenamento e transferência das informações foi definida por Diogo (2013).

A metodologia desenvolvida foi testada em bacias hidrográficas típicas de Angola, cuja seleção se baseou na representatividade de características como relevo, vegetação, densidade populacional, grau de urbanização e potencial energético.

Um sistema de informação geográfica (SIG) foi utilizado como ferramenta para a distribuição espacial das estações, permitindo o georreferenciamento de dados e sua integração a um banco de dados contendo informações hidrográficas, divisão político-administrativa e infraestrutura rodoviária e ferroviária.

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO DE REDE DE MONITORAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

Tendo em vista os objetivos do sistema de monitoramento de recursos hídricos, detalhados na Lei das Águas nº 6/02 de Angola, e considerando os sistemas de monitoramento implantados em vários outros países, citados no item anterior, foram definidos cinco classes de estações de monitoramento: fluviométricas, de qualidade da água, sedimentométricas, pluviométricas e meteorológicas.

Os critérios gerais para definição da densidade mínima da rede considerada para cada classe de estação se basearam nas recomendações da WMO (1981 e 2008), conforme apresentado nas Tabelas 1 e 2, e na experiência dos sistemas de monitoramento dos países citados anteriormente.

Tabela 1 – Densidade mínima das redes climatológicas e hidrométricas recomendada em regiões tropicais (WMO, 1981)

Redes Climatológicas		
Tipo de Região	Área por estação (km ²)	Área por estação (km ²) tolerada em condições excepcionais
Relevo suave	600-900	900-3000
Montanhosa	100-250	250-1000 ¹
Zonas áridas	1.500-10.000	-
Redes Hidrométricas (fluviométrica, qualidade e sedimentométrica)		
Relevo suave	1.000-2.500	3.000-10.000
Montanhosa	300-1.000	1.000-5.000
Zonas áridas	5.000-20.000	-

¹podendo atingir até 2.000 em casos extremos.

Tabela 2 – Densidade mínima recomendada para redes de monitoramento hidrometeorológicos (WMO, 2008)

Unidade Fisiográfica	Densidade das Redes de Monitoramento de Recursos Hídricos (área, em km ² , por estação)					
	Precipitação		Evaporação	Vazão	Sedimentos	Qualidade da água
	Estação Manual	Estação Automática				
Costa	900	9.000	50.000	2.750	18.300	55.000
Montanhas	250	2.500	50.000	1.000	6.700	20.000
Planícies interiores	575	5.750	5.000	1.875	12.500	37.000
Acidentada/ondulada	575	5.750	50.000	1.875	12.500	47.500
Ilhas pequenas	25	250	50.000	300	2.000	6.000
Áreas urbanas	a	10-20	a	a	a	a
Regiões polares/áridas	10.000	100.000	100.000	20.000	200.000	200.000

a – a diretriz não recomenda densidade da rede para observação de variável em zonas urbanas.

Tabela 3 – Classificação geomorfológica do território angolano e correspondência às unidades fisiográficas recomendadas pela WMO (Baseado em: Atlas Geográfico, 1982; WMO, 2008)

Unidade Fisiográfica		Altitude (m)	Área	
Angola	WMO		(%)	(km ²)
Planícies litorais	Costa	0 a 200	4	49.868
Zona de transição	Acidentada/ondulada	200 a 500	8	99.736
Zona planáltica	Planícies interiores	500 a 1500	80	997.360
Zona montanhosa	Montanhas	> 1500	6	74.802

A implementação do sistema de monitoramento de recursos hídricos foi sugerida em etapas segundo os prazos curto, médio e longo, como os intervalos temporais correspondentes a dois, cinco e dez anos, respectivamente. A adoção da estratégia de implementação em fases se deve a questões de ordem econômica, procurando-se distribuir ao longo de dez anos os custos associados à implementação e à operacionalização do sistema, e de ordem prática, relacionadas a uma sequência lógica na implantação das atividades em função das suas relações de dependência e complementaridade. A primeira etapa prevê a implantação de 20% das estações previstas, a segunda 30% e a terceira 50%. O crescimento da porcentagem a ser implantada em cada etapa leva em conta o aprendizado durante o processo e o prazo para planejamento e obtenção de recursos.

A superfície de Angola é de 1.246.700 km² distribuídos segundo unidades geomorfológicas diferenciadas conforme a Tabela 3 que apresenta a classificação fisiográfica do território

angolano e as unidades fisiográficas equivalentes na classificação da Organização Mundial de Meteorologia (WMO). As áreas apresentadas são estimativas com base nos mapas geomorfológicos e hipsométricos de Angola.

Considerando esses critérios, foi proposto o sistema de monitoramento de recursos hídricos para Angola sintetizado na Tabela 4. Essa tabela apresenta as principais características do sistema, descrevendo os tipos de estação, o número de estações a implementar em cada etapa do processo, o tipo de medição adotado (contínua ou periódica) para cada rede, as variáveis a monitorar, a periodicidade das medições e as principais justificativas para a implantação da rede nos termos curto, médio e longo. As densidades mínimas para os cinco tipos de estações foram determinadas com base na variabilidade espacial das características físico-climáticas com ênfase na variável precipitação, como recomenda a WMO (2008), por ser uma grandeza de fácil aferição do ponto de vista operacional e de custos.

Tabela 4 – Principais características das estações que compõem a rede de monitoramento de recursos hídricos proposta para a República de Angola

Tipo de Estação	Número total de Estações			Medição Manual ou Automática	Variáveis a Medir	Frequência das Medições	Justificativas para os Prazos		
	Curto Prazo 2 anos	Médio Prazo 5 anos	Longo Prazo 10 anos				Curto	Médio	Longo
Fluviométrica	136	339	678	Manual e automática	Nível da água e vazão	Periódica e eventualmente contínua	Constitui requisito prévio à implementação e à operacionalização das redes de qualidade e sedimentométrica	Período econômico e logístico, visando distribuir os custos e a implantação ao longo dos dez anos.	Período econômico e logístico, visando distribuir os custos e a implantação ao longo dos dez anos.
Pluviométrica	453	1.131	2.263	Manual e eventualmente automática	Precipitação	Periódica e eventualmente contínua	Critério econômico, visando distribuir os custos ao longo dos dez anos	A sua distribuição espacial e temporal afeta os processos da qualidade da água e hidrossedimentológico	Critério econômico e logístico, visando distribuir os custos e a implantação ao longo dos dez anos
Meteorológica	41	103	205	Automática	Umidade relativa do ar; Temperatura de bulbo seco; Temperatura de bulbo úmido; Direção e velocidade do vento; Radiação solar; Evaporação; Precipitação; Temperatura da precipitação; Pressão atmosférica; Nebulosidade	Contínua		Variáveis necessários para modelagem da qualidade, por isso constituem dados prévios para avaliação das tendências da qualidade da água	
Qualidade da Água	41	102	204	Manual	Temperatura, pH, Condutividade, Oxigênio dissolvido, Sólidos Suspensos Totais. 2Ortofosfato, amônia, Nitrito, DBO, DQO. Poluentes orgânicos solúveis; Carbono Orgânico Dissolvido; Carbono Orgânico Particulado; Clorofila e Traços de alguns elementos.	Periódica (Uma vez a cada dois meses).		Sua determinação precisa de dados de vazão. Servem de indicadores para necessidade de incorporar variáveis das fases intermediárias e avançadas.	Sua necessidade dependerá dos resultados do monitoramento das variáveis básicas obrigatórias.
Sedimentométrica	20	51	102	Manual	Concentração de sólidos; vazão sólida.	Periódica: (mensal= seca) e (semanal=chuvo sa).			A sua determinação e interpretação depende das variáveis medidas nas etapas anteriores.

1 Frequência depende do tipo de variável, variabilidade temporal observada.

2 Grupo de variáveis a monitorar em função do resultado das variáveis básicas ou em campanhas periódicas de curta duração.

O mecanismo de medição está condicionado, por um lado, por especificidades intrínsecas a cada variável, à variabilidade sazonal, à resolução espacial e temporal e à amplitude de variação que se pretende detectar, e, também, à existência de operadores e responsáveis pela manutenção de estações

manuais, facilidade de acesso às estações, e questões ligadas às tecnologias disponíveis. Com base nisso, foram definidas preliminarmente estações como manuais ou automáticas, com uma análise conclusiva requerendo uma adequação dos aspectos acima descritos à disponibilidade orçamentária.

Tabela 5 – Critérios de distribuição geográfica de estações fluviométricas, de qualidade, sedimentométrica, pluviométrica e meteorológica da rede de monitoramento de recursos hídricos

Critérios de Distribuição Geográfica de Estações de Monitoramento de Recursos Hídricos			
Critério	Descrição	Como se aplicou	Tipo de Estação
Representatividade	É a extensão geográfica de validade de uma observação/medição, em razão de um intervalo de confiança definido.	As estações foram localizadas tendo em conta as características físico-climáticas da bacia, que influenciam a distribuição das estações, a densidade da rede e, por consequência, a representatividade espacial das medições/observações.	Fluviométrica Qualidade da Água Sedimentométrica Pluviométrica Meteorológica
Hierarquia do rio	Reflete o grau de ramificação da rede hidrográfica da bacia, sendo a ordem crescente de montante dos afluentes em direção ao rio principal.	Foram monitorados, prioritariamente, afluentes de até terceira ordem, tendo em conta também o comprimento do afluente considerado. Permite uma avaliação integrada da contribuição dos cursos de água de ordem menor. As bacias do Kwanza e Cunene, tomadas como exemplos, são de ordem 5 e 4 respectivamente, isso corresponde a monitorar o rio principal, os afluentes que drenam diretamente no rio e os que por sua vez desembocam neles.	Fluviométrica Qualidade da Água Sedimentométrica
Área de drenagem	Representa a área de contribuição para um curso de água. No sistema hidrográfico de Angola foram definidas duas categorias: grandes bacias (área de drenagem igual ou maior que 50.000 km ²) e bacias pequenas (área de drenagem menor que 50.000 km ²).	Monitorar de forma extensiva as grandes bacias e seletivamente as bacias pequenas pois, não justificam um monitoramento contínuo por meio de estações fixas, salvo casos de necessidade premente de informações hidrológicas ou meteorológicas, como é caso de bacias do Bengo e Dande que atendem os usos de abastecimento público e recebem parte das águas residuais de Luanda e pelo microclima induzido pela ocupação urbana.	Fluviométrica Qualidade da Água Sedimentométrica
À saída das unidades hidrográficas (exutória)	Considerando a bacia hidrográfica como um todo ou repartida em sub-bacias, as exutórias representam pontos estratégicos para avaliação da média na bacia das variáveis monitoradas por integração da contribuição a montante.	Foram monitoradas as exutórias, com a finalidade de obter um valor médio de referência da área de contribuição a montante e determinar eventualmente a necessidade de estações intermediárias ou campanhas de reconhecimento para detalhamento no futuro.	Fluviométrica Qualidade da Água Sedimentométrica Pluviométrica Meteorológica
Comprimento dos afluentes	Os cursos de água permanentes de ordem um ou dois com comprimento a partir de 50 km assumem particular importância devido à área de drenagem e à recarga subterrânea.	Foram seletivamente monitorados os cursos de água permanentes de ordem um ou dois tendo em conta o comprimento e fatores como área de drenagem e recarga subterrânea.	Fluviométrica Qualidade da Água
A jusante de confluências	Relativamente à vazão, permite determinar a contribuição de um rio desde que um deles tenha sido medido a montante da confluência, o que economiza eventualmente uma estação. Para que atendessem simultaneamente as condições de amostragem para análise da qualidade da água, a estação foi posicionada a uma distância da confluência (ponto de mistura) de modo a observar o comprimento de mistura.	Foram monitoradas extensivamente as confluências dos afluentes principais, ou seja, até terceira ordem.	Fluviométrica Qualidade da Água Sedimentométrica

continua...

Tabela 5 – Critérios de distribuição geográfica de estações fluviométricas, de qualidade, sedimentométrica, pluviométrica e meteorológica da rede de monitoramento de recursos hídricos (continuação..)

Critérios de Distribuição Geográfica de Estações de Monitoramento de Recursos Hídricos			
Critério	Descrição	Como se aplicou	Tipo de Estação
Morfologia e topografia (relevo)	Têm influência nas características hidrológicas, sedimentológicas e meteorológicas da bacia. Por exemplo, a declividade afeta diretamente a velocidade do escoamento superficial e as variáveis precipitação, temperatura e evaporação dependem da altitude da bacia hidrográfica.	As estações foram distribuídas de modo a assegurar que a densidade mínima da rede fosse consonante com a variabilidade que o relevo imprime nos variáveis medidos/observados.	Fluviométrica Sedimentométrica Pluviométrica Meteorológica
Influência das águas subterrâneas na recarga das águas superficiais	Independentemente dos outros fatores que regem a localização das estações, em termos globais a distribuição permitiu a avaliação da conectividade hidráulica entre as águas superficiais e subterrâneas.	A distribuição das estações na bacia foi espacialmente regular de modo a refletir a avaliação da média da contribuição da água subterrânea no incremento ou manutenção da vazão de base dos cursos de água principalmente devido à sazonalidade do regime pluvial.	Fluviométrica Qualidade da Água
Comprimentos de mistura	Para assegurar que a amostra coletada represente as condições da água após a mistura completa a jusante de lançamentos e confluências de acordo com a largura e profundidade média do curso de água.	Foram definidas estações a uma distância no sentido longitudinal a partir da qual se espera observar mistura completa a jusante das principais confluências dos rios e de eventuais fontes pontuais de lançamento de contaminantes.	Qualidade da Água
Uso e ocupação do solo	A influência das atividades socioeconômicas (agricultura, pecuária, urbanização e indústria) passíveis de causar modificações significativas na quantidade e qualidade das águas.	Foram definidas estações a montante e jusante de áreas agro-industriais, centros urbanos de referência.	Fluviométrica Qualidade da Água Sedimentométrica Pluviométrica Meteorológica
Densidade populacional e grau de atividade socioeconômica	Os aglomerados populacionais combinados com intensa atividade socioeconômica e infra-estrutura e serviços de saneamento básico são precários ou inexistentes traduzem um risco eminente de impacto principalmente na qualidade das águas.	Foram definidos pontos de monitoramento a montante e a jusante das áreas de aglomerados com densidade populacional considerável (ver sistema francês, para definir número).	Fluviométrica Qualidade da Água Sedimentométrica
Susceptibilidade e à erosão (Geologia e solo friáveis)	O tipo e a estabilidade química e mecânica da rocha existentes na bacia hidrográfica condicionam a disponibilidade de sedimentos arrastados para os corpos hídricos. Os solos friáveis (arenosos) devido à baixa coesão são facilmente erodidos e transportados até os corpos hídricos.	Foram definidas estações sedimentométricas nos trechos dos cursos de água próximos às áreas com rochas e solos erodíveis principalmente quando associado a um relevo de alta declividade.	Qualidade da Água Sedimentométrica
Tipo de clima	A diversidade microclimática do território tem implicações no processo de erosão, quer por ação mecânica ou química. Tem ainda implicações na dinâmica dos ventos, na intensidade, duração, distribuição das chuvas ao longo do tempo configurando cursos de água de caráter temporário (alguns de regime torrencial) ou perene.	As estações foram distribuídas de modo a assegurar que a densidade mínima da rede fosse consonante com a variabilidade que cada tipo de clima imprime nos variáveis medidos/observados.	Fluviométrica Sedimentométrica Pluviométrica Meteorológica
Aproveitamento do potencial hidráulico	Necessidade de dados hidrológicos e meteorológicos para projetos, construção e operação de estruturas hidráulicas e outros usos.	Foram definidos pontos de monitoramento nos trechos da bacia com empreendimento ou potencial hidrelétrico e hidroagrícola.	Fluviométrica Qualidade da Água Sedimentométrica Pluviométrica Meteorológica

continua...

Tabela 5 – Critérios de distribuição geográfica de estações fluviométricas, de qualidade, sedimentométrica, pluviométrica e meteorológica da rede de monitoramento de recursos hídricos (continuação)

Critérios de Distribuição Geográfica de Estações de Monitoramento de Recursos Hídricos			
Critério	Descrição	Como se aplicou	Tipo de Estação
Atender aos tratados e acordos internacionais	Das 47 bacias hidrográficas principais cinco são compartilhadas: Cunene (partilhada com a Namíbia), Cuvelai (partilhada com a Namíbia), Cubango/Okavango (partilhada com o Botsuana e a Namíbia), Zambeze (partilhada com Burundi, Ruanda, Tanzânia, República Centro-africana, República Democrática do Congo e República do Congo) e Congo/ Zaire (partilhada com Tanzânia, Malawi, Moçambique, Zimbábue, Botsuana, Namíbia, República Democrática do Congo e Zâmbia). Esta situação demanda acordos de partilha de dados hidrológicos e meteorológicos, tendo em conta que a bacia hidrográfica enquanto unidade territorial básica de gestão dos recursos hídricos é indivisível.	As estações foram definidas de acordo com os objetivos do monitoramento no contexto físico-climático, hidromorfológico, socioeconômico, ambiental e político de Angola. Todavia, ficam sujeitas a alterações resultantes da análise e discussão com os outros países integrantes das bacias hidrográficas de modo que traduzam o interesse comum das partes envolvidas.	Fluviométrica Qualidade da Água Sedimentométrica Pluviométrica Meteorológica
Geração de dados para análise da qualidade da água e sedimentológica	As medições/amostragens para qualidade da água e de sedimentos devem ser acompanhadas de medição de vazão.	Foram definidas estações fluviométricas nos pontos de medição/amostragem de qualidade da água e de sedimentos que não representavam no contexto de um monitoramento nacional a regional pontos relevantes para a medição de vazão.	Fluviométrica

Por exemplo, a frequência de medições das estações fluviométricas é majoritariamente periódica e eventualmente contínua para rios que sazonalmente apresentam risco de enchen-tes ou ainda face ao nível de variação que se pretende detectar.

O mesmo critério se estabeleceu para as estações pluviométricas, salvo nas áreas montanhosas e na região planáltica, onde se justifica observações contínuas face à ocorrência de eventos pluviosos de variabilidade temporal significativa e por constituírem a cabeceira dos principais rios do sistema hidro-lógico de Angola, ou ainda pela falta de operadores de estações manuais em determinadas áreas.

A frequência de amostragem das estações meteorológicas é contínua devido à maior variabilidade temporal das variáveis climatológicas frente às variáveis hidrológicas e também devido à escala de variação que se pretende detectar visando dar subsídios à gestão de recursos hídricos e da necessidade de dotar a rede de autonomia face à escassez de técnicos operadores.

A frequência de medições das estações de qualidade da água e sedimentométricas é periódica. Isso se deve à complexidade do processo de amostragem e análise, e finalmente porque parte das determinações para caracterização da qualidade da água e sedimentos não se realizam em campo, mas em laboratório.

Definidos os tipos de estação, a quantidade de cada tipo, as fases de implementação do sistema, as variáveis e a frequên-

cia de amostragem, resta definir a localização de cada estação.

Para tanto, foram definidos critérios de localização das estações e critérios para seleção de bacias hidrográficas típicas para teste desses critérios. Essas bacias se constituíram em exemplos representativos das características hidrológicas, morfológicas e climáticas de Angola.

A distribuição espacial das estações que compõem a rede de monitoramento de recursos hídricos se baseou nos critérios apresentados na Tabela 5. Assim, foram levados em consideração, para a distribuição espacial das estações, a representatividade do local de instalação, a hierarquia do rio, a área de drenagem no ponto de monitoramento, a posição na bacia hidrográfica, o comprimento dos afluentes, a posição em relação a confluências de rios, o relevo da região, a influência das águas subterrâneas, o comprimento de mistura, o uso e a ocupação do solo, a densidade populacional e o grau de atividade econômica, a susceptibilidade à erosão, o tipo de clima, o aproveitamento de potencial hidráulico, o atendimento a tratados e acordos internacionais e a geração de dados para análise de qualidade da água e sedimentologia.

O diagrama esquemático apresentado na Figura 1 representa a metodologia desenvolvida para a concepção da rede de monitoramento de recursos hídricos de Angola, mostrando o relacionamento entre as partes e os elementos que compõem

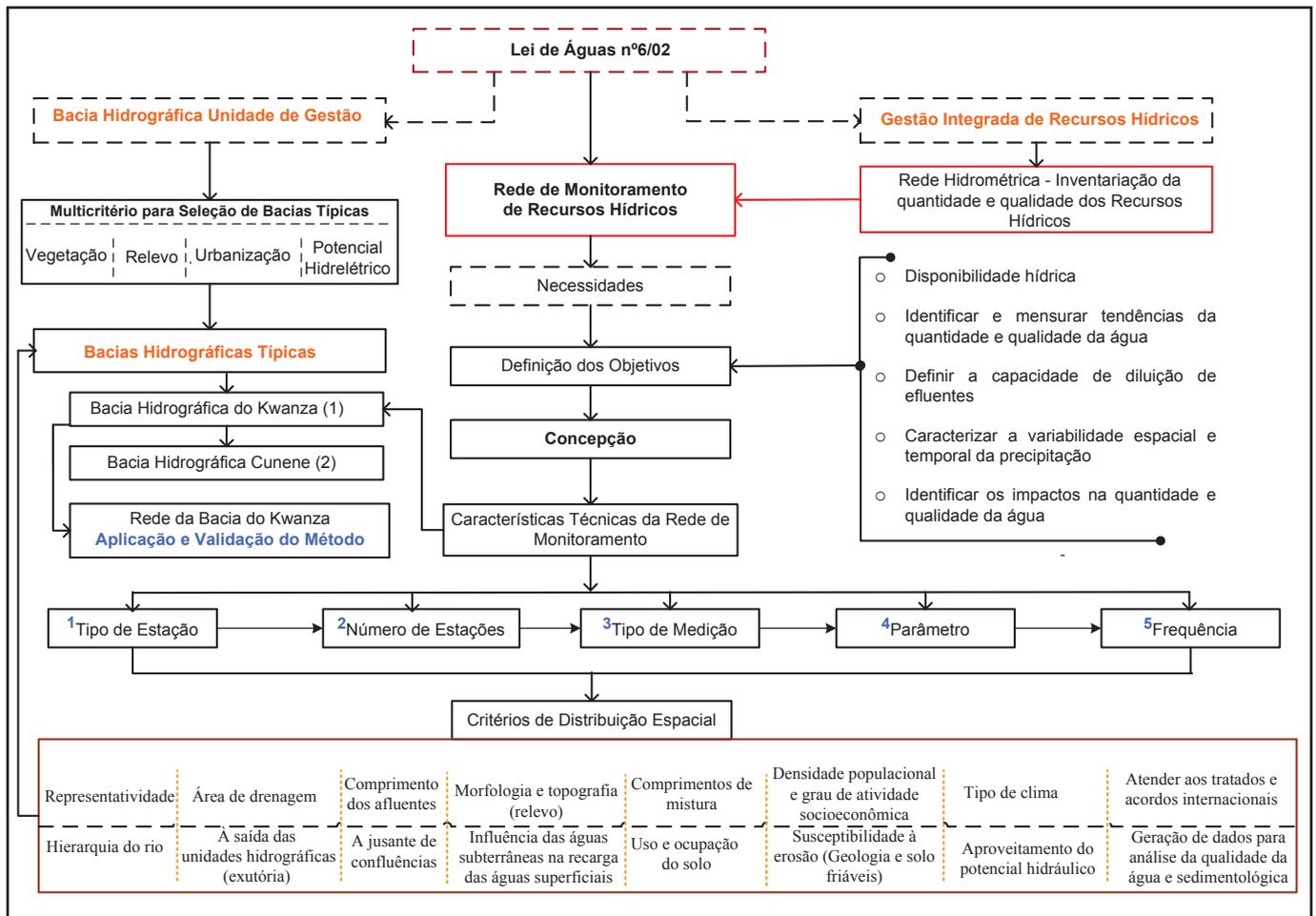


Figura 1 – Fluxograma de integração dos resultados e seleção da bacia para aplicação e validação da metodologia

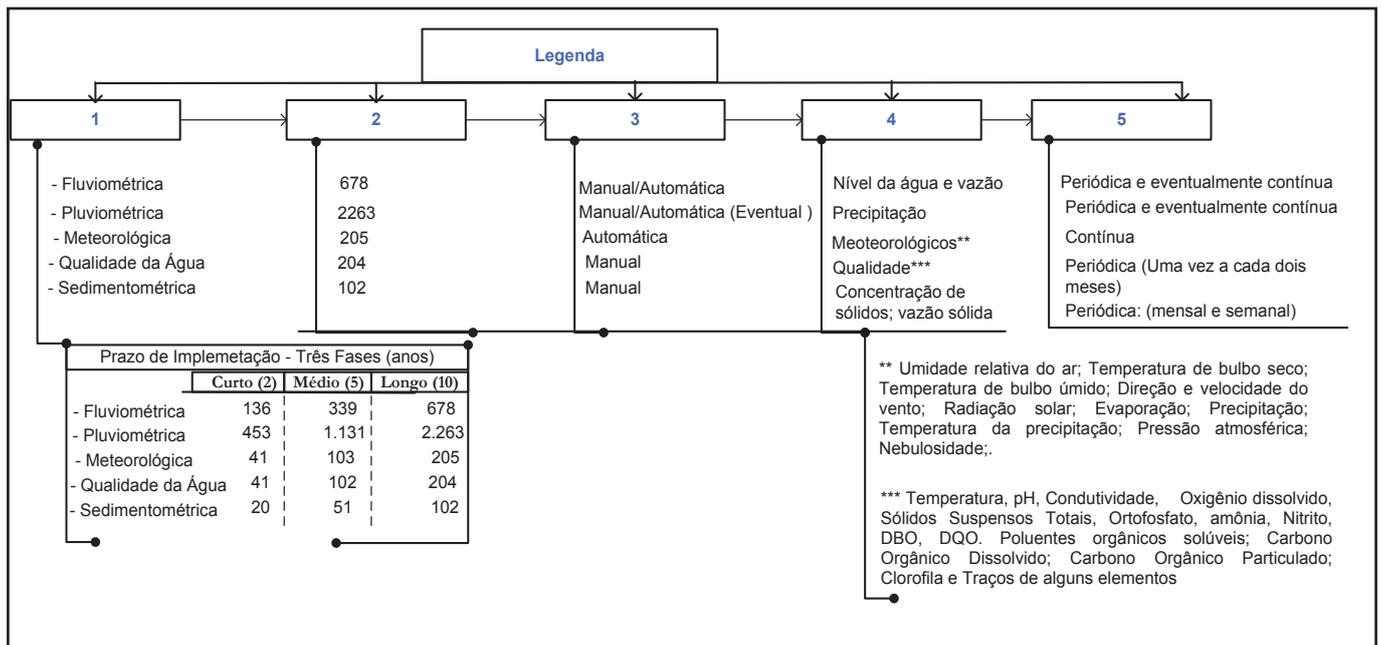


Figura 2 – Legenda do Fluxograma de Integração dos resultados: desdobramento das características técnicas da rede hidrometeorológica

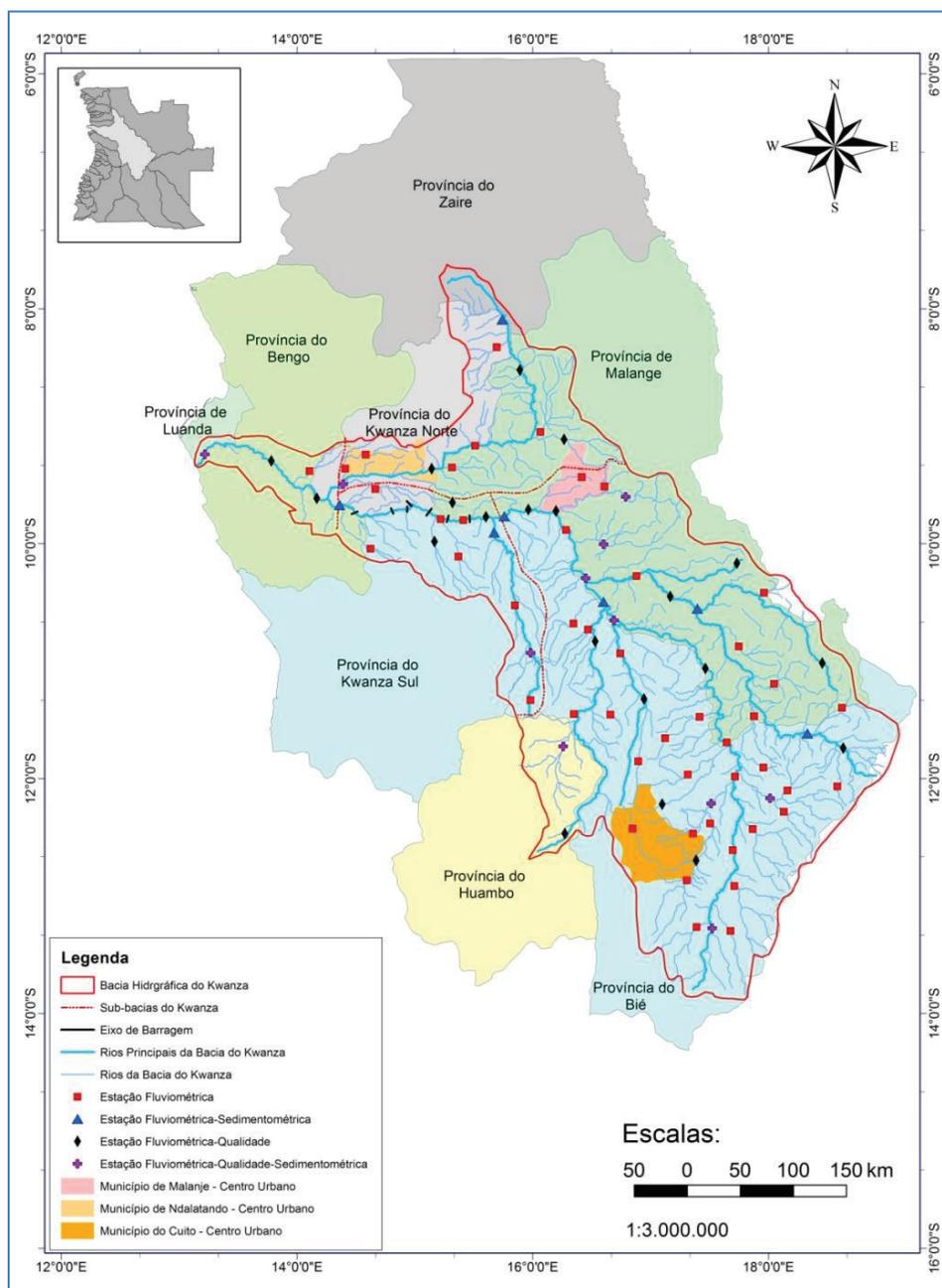


Figura 3 – Integração da rede de monitoramento de recursos hídricos ilustrando a coincidência física das estações fluviométricas, de qualidade da água e sedimentométricas na bacia hidrográfica do Kwanza

o sistema. Essa metodologia foi utilizada para planejar a rede em duas bacias do país, a fim de demonstrar sua funcionalidade.

Os itens nos retângulos tracejados constituem pressupostos subjacentes à concepção da rede, que asseguram a conformidade técnica e legal da proposta à luz da Lei de Águas 6/02.

A metodologia implementa uma visão holística da gestão, representada por uma rede com cinco objetivos principais, densidades mínimas que asseguram a representatividade dos dados, variáveis que caracterizam no tempo e no espaço os aspectos da quantidade e qualidade e frequências de medição que asseguram a detecção da variabilidade temporal de cada variável.

São definidos 16 critérios de distribuição espacial das estações de forma a orientar sua localização e assegurar a re-

presentatividade dos dados face à variação das características fisiográficas, hidrológicas, meteorológicas, dos usos atuais e potenciais dos recursos hídricos, do uso e ocupação do solo e de acordos multilaterais para bacias partilhadas.

A metodologia apresenta flexibilidade para otimização da rede a longo prazo e na execução do investimento financeiro. A otimização da rede é realizada por meio do aumento progressivo da densidade, e da adição de variáveis de monitoramento. O impacto do investimento financeiro foi atenuado com a implementação da rede em três fases, podendo ser de forma continuada ou não conforme a disponibilidade orçamentária. Em cada etapa de implementação o número representa o total de estações previstas até aquela fase, propondo-se 20%, 30% e

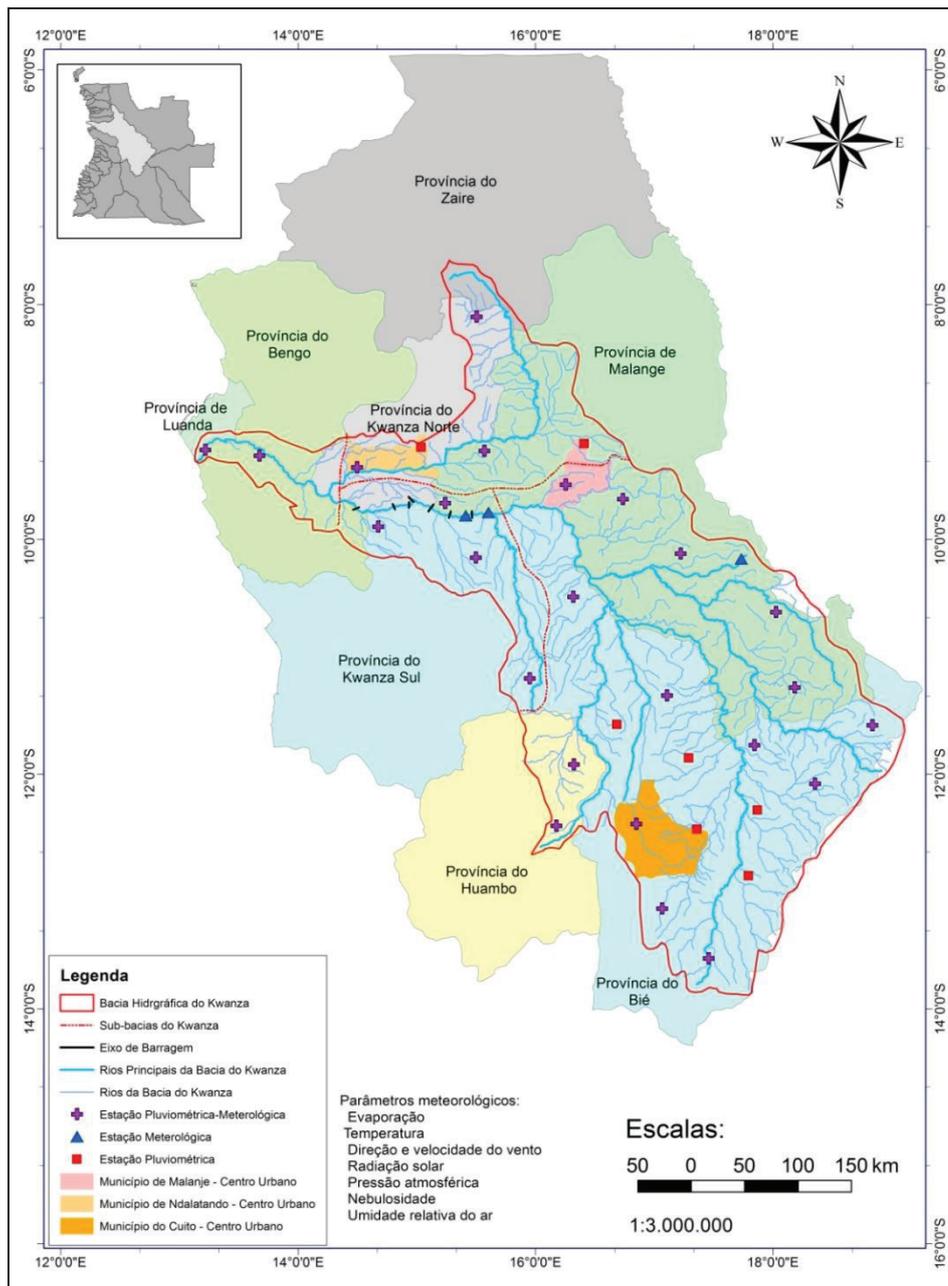


Figura 4 - Integração da rede de monitoramento de recursos hídricos ilustrando a coincidência física das estações pluviométricas e meteorológicas na bacia hidrográfica do Kwanza

50% respectivamente para a primeira, segunda e terceira fase.

A Figura 2 é um diagrama esquemático auxiliar à Figura 1, apresentando detalhes da rede proposta para o país.

Para demonstração da aplicação e validação dos critérios propostos para a concepção da rede de monitoramento de recursos hídricos foi selecionada a bacia hidrográfica que melhor representa a diversidade do sistema hídrico objeto de análise. Essa seleção se baseou nas principais características fisiográficas e hidrológicas: (1) vegetação; (2) relevo; (3) grau de urbanização e densidade populacional; e (4) potencial hidrelétrico.

Para tanto, foi elaborada uma matriz de pontuação, mostrada na Tabela 6. Assim, quando determinada característica está representada na bacia hidrográfica recebe o valor

um e quando não está representada recebe o valor zero. Deste modo, a pontuação total de cada bacia hidrográfica é dada pela soma do número de características nela representadas. A bacia hidrográfica do Kwanza, com 18 pontos, é aquela que melhor representa a diversidade das características que satisfazem os critérios adotados na matriz de pontuação.

Tendo em vista que a rede de monitoramento de recursos hídricos deve ser concebida de forma integrada, com as estações de qualidade da água e sedimentométricas representando subconjuntos das estações fluviométricas e com as estações meteorológicas subconjunto das pluviométricas, podem ocorrer seis combinações de estações de monitoramento:

fluviométrica-qualidade-sedimentométrica;
fluviométrica-qualidade;
fluviométrica-sedimentométrica;
fluviométrica;
pluviométrica-meteorológica;
pluviométrica.

As Figuras 3 e 4 mostram a localização das estações propostas para a bacia do Kwanza, segundo os critérios de distribuição espacial definidos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade da rede de monitoramento de recursos hídricos atender eficaz e eficientemente às questões da gestão e às demandas dos usuários remete à reflexão acerca da concepção de uma rede real ou ideal. Condicionantes orçamentárias, recursos humanos, número de estações, número de variáveis a amostrar, frequência de amostragem, operação e manutenção da rede representam fatores limitantes à implementação de uma rede ideal. A proposta de rede aqui apresentada é real e, dado o seu caráter exploratório, apresenta densidade mínima, variáveis básicas, frequências de amostragem mínimas e geralmente não proporciona a quantidade e a diversidade de informação desejada pelos gestores e usuários com demandas mais complexas. Neste sentido, a rede proposta deve evoluir a médio e longo prazo por meio da aplicação de estratégias de otimização, visando melhoria contínua conducente a um planejamento e uma gestão de recursos hídricos cada vez melhor.

Por outro lado, a implantação da rede proposta representaria um grande avanço na gestão dos recursos hídricos em Angola. Constitui-se em instrumento que propiciaria uma abordagem conducente ao conceito de Gestão Integrada de Recursos Hídricos, tendo a bacia hidrográfica como unidade territorial de gestão dos recursos hídricos, com base na sistematização, integração e continuidade espacial e temporal do monitoramento. Considera, em contexto mais amplo, a influência das variáveis fisiográficas, climáticas, hidrológicas, demográficas, de uso e ocupação do solo, socioeconômicas, políticas e sociais no processo de concepção e dimensionamento da rede. Em razão disso, representa um início organizado e devidamente planejado, como alternativa ao crescimento por demanda e interesses pontuais, que acarretaria em uma integração mais difícil e onerosa.

Os aspectos metodológicos para planejamento e concepção de redes de monitoramento de recursos hídricos consistem, em termos gerais, de cinco componentes: a definição da densidade de estações; a distribuição espacial; o período mínimo de monitoramento; a precisão das observações/medições e o modo de coleta, armazenamento, processamento e publicação. A integração destes critérios assegura o adequado dimensionamento e configuração espacial de redes hidrometeorológicas face aos objetivos estabelecidos.

A variabilidade geográfica e temporal das variáveis que afetam os recursos hídricos evidenciam a complexidade em se definir critérios e metodologias aplicáveis aos diversos contextos biofísicos. A concepção de redes de monitoramento

de recursos hídricos levando em conta as relações entre as características hidrológicas, climáticas, morfológicas, geológicas e fitogeográficas com o objeto que se pretende monitorar, resulta em um exercício de adequação dos aspectos quantitativos e qualitativos característicos de determinada bacia hidrográfica. A multiplicidade de aspectos sociais, econômicos, demográficos, políticos e ambientais deve ser considerada na definição dos objetivos, pois das relações entre estes domínios resultam as principais interferências que impactam quer a quantidade quer a qualidade das águas.

O presente trabalho apresenta como principais contribuições:

- A elaboração de uma metodologia para concepção de um sistema de monitoramento de recursos hídricos adequada às características geográficas, hidrológicas, climáticas e orográficas;
- A demonstração da metodologia desenvolvida em uma bacia hidrográfica de Angola, em consonância com o nível de desenvolvimento socioeconômico e com o nível das preocupações ambientais no domínio das águas, capaz de monitorar temporal e espacialmente variáveis hidrológicas, físicas, químicas e biológicas, por meio de estações fluviométricas, de qualidade da água, sedimentométricas pluviométricas e meteorológicas.

A partir da metodologia aqui apresentada, a implantação de uma rede de monitoramento de recursos hídricos ainda necessitaria:

- Atividades de campo para a definição da micro-localização das estações, considerando o acesso, a segurança, a presença de localidades próximas e outros fatores;
- Análise de custos dos equipamentos e mão de obra para implantação;
- Concepção de sub-sistemas voltados ao monitoramento específico de áreas urbanas;
- Definição dos procedimentos para operação e manutenção da rede.

REFERÊNCIAS

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil. Cadernos de recursos hídricos. 2005.
- _____. Evolução da Rede Hidrometeorológica Nacional. v.1, n.1, abr. 2007.
- _____. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2012. Ed. Especial. - Brasília: ANA, 2012
- ANGOLA. *Lei nº 6, de 21 de Junho de 2002 - Lei de Águas*. A presente lei estabelece os princípios gerais do regime jurídico

- inerente ao uso dos recursos hídricos. Diário Oficial da República de Angola. 2002.
- BALES, J. D.; COSTA, J. E.; HOLTSCHLAG, D. J.; LANFEAR, K. J.; LIPSCOMB, S.; MILLY, P. C. D.; VIGER, R.; WOLOCK, D. M.. Design of a National Streamflow Information Program. Report with Recommendations of a Committee: Reston, Va., U.S. Geological Survey, Open File Report 2004 -1263, 42p. 2004.
- BARTRAM, J.; BALLANCE, B. Water Quality Monitoring – A Practical Guide to Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. UNEP and WHO, London.1996.
- BUISHAND, T. A; HOOGHART, J. C. Design Aspects of Hydrological Networks. The Hague, Proceedings and Information/TNO Committee on Hydrological Research (no. 35). (eds.). 1986.
- CE - COMUNIDADE EUROPÉIA. Diretiva Quadro do Parlamento Europeu e do Conselho 2000/60/CE: que estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da Água. Jornal Oficial das Comunidades Europeias. PE-CONS 3639/1/00 Rev 1. 2000.
- CHILUNDO, M.; KELDERMAN, P.; O; KEEFFE, J.H. Design of a Water Quality-Monitoring Network for the Limpopo River Basin in Mozambique. *Physics and Chemistry of the Earth*. n.33, p.655–665, 2008.
- DIOGO, P. S. S. Proposta de um Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos em Angola. 2013. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental). Universidade Positivo. Curitiba, 2013.
- DSRH - DIREÇÃO DOS SERVIÇOS DOS RECURSOS HÍDRICOS (Portugal). Caracterização e Diagnóstico da Situação Atual dos Recursos Hídricos: Monitorização Quantitativa e Qualitativa dos Recursos Hídricos. In: Ministério do ambiente e do Ordenamento do Território - Instituto das Águas (INAG). Plano Nacional da Água. p.43, 2001.
- FICKE, J. F., HAWKINSON, R. O. The National Stream Quality Accounting Network (NASQAN) – Some Questions and Answers. *Geological Survey Circular* 719. 1975.
- HENOCQUE, Y.; ANDRAL, B. The French Approach to Managing Water Resources in the Mediterranean and the New European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*. n.47, p.155–161, 2003.
- HIRSCH, R. M.; ALLEY, W. M.; WILBER, W. G. Concepts for a National Water-Quality Assessment Program. U.S. Geological Survey Circular 1021. 1988.
- HOOPER, R. P.; AULENBACH, B. T.; KELLY, V. J. The National Stream Quality Accounting Network: a Fux-Based Approach to Monitoring the Water Quality of Large Rivers. *Hydrological Processes*. v.15, p.1089–1106, 2001.
- LETTENMAIER, D. P. Dimensionality Problems in Water Quality Network Design. *Water Resources Research*, v. 15, n. 6, p. 1692-1700, 1979.
- LIMEIRA, M. C. M; SILVA, T. C.; CÂNDIDO, G. A. Gestão Adaptativa e Sustentável para a Restauração de Rios: Parte II O Tema Desenho do Programa de Capacitação Social. *RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.15, n.1, p.27-38, 2010.
- LOUCKS, D. P.; VAN BEEK, E. Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications. UNESCO Publishing – studies and reports in hydrology. 2005.
- MACHADO, C. J. S. A Gestão Frances de Recursos Hídricos: Descrição e Análise dos Princípios Jurídicos. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, n.4, p.31-47, 2003.
- MAGALHÃES JR, A. P. A Situação do Monitoramento das Águas no Brasil –Instituições e Iniciativas. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.5, n.3, p.113-135, 2000.
- MINISTERE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE – DIRECTION DE L'EAU (République Française). Circulaire DE / MAGE / BEMA 06 / n° 11. 2006.
- MISHRA, A. K; COULIBALY, P. Developments in Hydrometric Network Design: a Review. *Reviews of Geophysics*, n.47, RG2001. 2009.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Assessing the National Streamflow Information Program. *National Academy Press. Washington, D.C.*, 146 p. 2004.
- NION, G. Water Framework Directive and Water Policies in France: Evolution and Tools for a Rational Use of Water Resources. *Options Méditerranéennes. Technological Perspectives for Rational Use of Water Resources in the Mediterranean Region*. n.88. p.10, 2009.
- PIMENTA, M.T.; ÁLVARES, M.T.; SANTOS, M.J.; GOMES, F.; QUADRADO, F.; LOPES, A.R.; RODRIGUES, R.; LACERDA, M.; RODRIGUES, A.C. Restuturação das redes de monitorização, I – Aspectos metodológicos. In: CONGRESSO DA ÁGUA, A ÁGUA COMO RECURSO ESTRUTURANTE DO DESENVOLVIMENTO, 4. Lisboa: Associação Portuguesa de Recursos Hídricos. p.11,1998 (CD-ROM).
- REIS, A.; PARKER, A.; A, LENCOÃO A. Avaliação da Qualidade de Sedimentos em Rios De Montanha: Um Caso de Estudo no Norte de Portugal. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.31, n.1, p.87-97, 2010.

VAN NIEKERK, H. South African–UNEP GEMS/Water: Monitoring Programme Design. DWAF-RQS Report Number: N/0000/00/REQ0604. Pretoria. South Africa. p. 119. 2004.

WARD, R.C., LOFTIS, J.C., MCBRIDE, G. B. Design of Water Quality Monitoring System. 1990.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Guide to Hydrological Practice. WMO. *Geneva-Switzerland: Secretariat of the World Meteorological Organization*.n.168, v.1, 1981.

_____. Guide to Hydrological Practice: Data Acquisition and Processing, Analysis, Forecasting and Other Applications. WMO. *Geneva-Switzerland* n.168, p.770, 1994.

_____. Guide to Hydrological Practice: Hydrology – from Measurement to Hydrological Information. WMO. Geneva-Switzerland n.168, v 1, p.296, 2008.

_____.Guide to Hydrological Practice: Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices. WMO. *Geneva-Switzerland* n.168, v.2, p.306, 2009.