CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA MICROBACIA ONÇA NA RESERVA FLORESTAL ADOLPHO DUCKE, MANAUS – AM

Alderlene Pimentel de Brito[1], Andréa Vanessa Carvalho Leal[2] e Ingo Daniel Wahnfried[3]

[1]Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente/ INPA – UEA
alderlenebrito@gmail.com
[1]Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais/ UFAM
vanessa.carvallholeal@gmail.com
[3]Departamento de Geociências/ UFAM.
iwahnfried@ufam.edu.br

RESUMO

O conhecimento geológico e dos parâmetros hidráulicos superficiais e subterrâneos de microbacias são fundamentais para compreensão dos mecanismos de fluxo de água e do papel do aquífero freático local em um contexto mais amplo, definindo quais são os fatores físicos que controlam esses processos. Na Amazônia, apesar do enorme potencial hídrico, pesquisas no âmbito hidrogeológico são esparsas ou generalistas. No sentindo de expandir esse conhecimento, a presente pesquisa possui o objetivo de caracterizar hidrogeologicamente uma microbacia em floresta primária. Para tal, foi escolhida a microbacia Onça, curso de água de primeira ordem, afluente do igarapé Ipiranga, localizado na preservada Reserva Florestal Adolpho Ducke, ao norte da cidade de Manaus. No local foram instalados sete piezômetros para a realização de slug e bail testes com o intuito de para determinar a condutividade hidráulica (K). Foram coletadas amostras de solo e sedimentos para a determinação da granulometria. Foi medido o fluxo de base do aquífero, e fez-se medidas de vazão do igarapé. Os valores de K obtidos variaram entre $1{,}9x10^{-6}$ e $9{,}6x10^{-7}$ m/s, enquanto que a litologia varia entre arenosa a areno-síltica. A vazão obtida no igarapé em junho de 2013 e em janeiro de 2014, foi, respectivamente, $4{,}8x10^{-3}$ m^3/s e $1{,}1x10^{-2} m^3/s$. O fluxo de base para o igarapé, calculado pelo método de Darcy, foi de $3{,}6x10^{-4}$ m^3/s, muito inferior à vazão do igarapé possivelmente por conta da contribuição de fluxo de água através do folhiço, ou por causa de variações na condutividade hidráulica não detectadas com os piezômetros.

Palavras-Chave: microbacia, condutividade hidráulica, balanço hídrico, recarga, fluxo de base.

ABSTRACT

The geological knowledge and the superficial and underground hydraulic parameters of microcatchments are essential to understand how the water flow occurs in them and the role of the local aquifer in a broader context, defining the physical factors that control such processes. The Amazon, with enormous water potential, still presents a scattered or generalist research in hydrogeology. Henceforward, the present research aims at hydrogeologicaly characterizing a microcatchment located in primary forest area. In order to do so, the Onça microcatchment was chosen, which is a first-order tributary of Igarapé Ipiranga, located in a preserved area in the Adolpho Ducke Forest Reserve, in the northern part of Manaus. There, seven piezometers were installed to perform slug and bail tests for assessing hydraulic conductivity (K). Soil and sediment samples were also collected to determine granularity. The aquifer's base flow was appraised, as well as flow measurements. Obtained K values varied between $1.9x10^{-6}$ and $9.6x10^{-7}$ m/s, while lithology ranged from sandy to sandy-silt. The gauged flow in the stream in June 2013 and January 2014 was respectively $4.8x10^{-3}$ m^3 / s and $1.1x10^{-2}m^3$ / s. The base flow observed from the aquifer to the stream is $3,6x10^{-4}$ m^3/s, and this large difference may occur on account of contributions to the stream, such as foliage or hydraulic conductivity variations not detected by the aforesaid piezometers.

Keywords: microcatchments, hydraulic conductivity, water balance, recharge, base flow.

INTRODUÇÃO

A região da Bacia Amazônica apresenta profundidades de nível da água subterrânea rasos (FAN; LEE E MACHO, 2013), alta intensidade pluviométrica e variabilidade sazonal distribuída de forma heterogênea na bacia (FIGUEROA e NOBRE,1990). Essas características fazem com que os aquíferos freáticos da região tenham uma alta taxa de renovação de água (GREEN et al., 2011) e grande importância na regulação da disponibilidade hídrica para a biota (TOMASELLA et al., 2008), amplificando a relevância dos serviços ecossistêmicos dependentes das águas subterrâneas tanto em zona não saturada quanto em zona saturada (TOGNETTI et al., 2010). Com a dramática degradação ocorrida nestes ecossistemas nas últimas décadas (SCATENA et al., 2010) ocorrem mudanças significativas no balanço hídrico. Por exemplo, a substituição da floresta por pastagens produz aumento de descarga, aumento de escoamento superficial, redução de evaporação e, a depender do grau de perturbação do solo, mudanças na condutividade hidráulica vertical, que

também terão impacto na geração de escoamento superficial e recarga (MELAK, VICTORIA e TOMASELLA, 2008).

Em nível local, microbacias e as suas respectivas zonas ripárias tendem a desequilibrar-se a partir de alterações da cobertura, pondo em risco uma infinidade de ecossistemas dependentes tanto dos recursos hídricos superficiais, quanto sub superficiais (LARNED, 2012). Entender como funcionam os processos que conectam os compartimentos auxilia na elaboração de ações mitigadoras, além de proporcionar aos órgãos gestores informações para que essas ações sejam aplicadas, uma vez que as microbacias apresentam importância significativa não apenas no ciclo do carbono e da água (RICHEY, 2009), mas na manutenção da floresta como um conjunto.

Conceitualmente, uma microbacia é tida como uma área especialmente contornada, com declives e bermas, cujo tamanho depende da porosidade do solo e das características das chuvas (quantidade, intensidade e distribuição) (GERHART et al., 2004). Essas áreas apresentam nas regiões de nascentes, zonas de descarga natural de águas subterrâneas, uma fonte de informação hidrogeológica: o nível de água subterrânea. A descarga destas nascentes frequentemente flutua de forma sazonal ou em ciclos maiores, às vezes em resposta à precipitação local. Os aquíferos freáticos rasos são rapidamente recarregados e o tempo de permanência da água neles é comparativamente curto (MOORE, 2002). A falta de informações detalhadas sobre solos amazônicos, particularmente com respeito aos parâmetros hidráulicos, resultou em generalização grosseira sobre o funcionamento hidrológico de solos florestados (TOMASELLA et al., 2009). Logo, o objetivo deste trabalho é a caracterização hidrogeológica de uma microbacia em floresta primária, pois tal caracterização é tida como fundamental para o entendimento dos processos físicos que controlam os fluxos de água subterrânea.

MÉTODOS

Caracterização da Área

A área de estudos utilizada no presente trabalho situa-se na Reserva Florestal Adolpho Ducke (RFAD), que possui uma área total de 10.000 ha (100 km^2) de floresta primária de terra firme (Figura 1), localizada no Município de Manaus (AM), no limite norte de sua zona urbana. O clima da região é equatorial úmido, com temperatura média anual de 26,7ºC, mínima de 23,3ºC; entre novembro a maio; e máxima de 31,4ºC; entre junho a outubro (RIBEIRO et al., 1999). A umidade relativa média do ar é de 80%, a precipitação média anual é de 2.100 mm e a evapotranspiração 2,3 $mm.d^{-1}$ (ROCHA; MANZI;

SHUTTLEWORTH, 2009). O relevo é suavemente ondulado, com sequências topográficas de platô, encosta e baixio (TOLEDO, 2009). A vegetação é de terra firme e primária, ocorrendo nas variantes de platô, vertente, campinarana e baixio, com vegetação secundária cobrindo o entorno da RFAD (RIBEIRO et al., 1999). O solo predominante é o latossolo amarelo distrófico, predominantemente argiloso, principalmente em área de platô (CHAUVEL et al., 1987), com presença subordinada das classes argissolo nas vertentes e espodossolo nos baixos, todos ocorrendo em condições de terra firme (TOLEDO, 2009). A microbacia selecionada para a realização do trabalho foi designada Igarapé Onça, um afluente do Igarapé Ipiranga, região sudeste da reserva (Figura 1).

Na região aflora a Formação Alter do Chão, constituída por arenitos médios a grossos avermelhados, arenitos médios a grossos cauliníticos de coloração branco-acinzentada, siltitos e argilitos de coloração avermelhada e conglomerados (CUNHA et al., 2007). Mais recentemente esta unidade foi subdividida, com uma ocorrência de uma unidade mais arenosa sobrepondo-se à Alter do Chão nesta região, denominada Formação Novo Remanso (SOARES et al., 2016). No contexto hidrogeológico regional, o aquífero aflorante na região é o Alter do Chão (AAC), definido pela ANA (2015) como livre, ocupando área aproximada de 290.500 km2. Localmente, Aguiar (2012) indica que o AAC apresenta uma espessura média de 160 m, com profundidade média do nível d'água de 30 m, porosidade efetiva média de 18%. Ainda segundo o autor, o fluxo principal das águas subterrâneas ocorre de nordeste para sudoeste, com gradiente hidráulico de 2×10^{-3} e velocidade média de $9,3 \times 10^{-8}$ m/s. Testes de bombeamento executados por ANA (2015) em Manaus permitiram obter a transmissividade (T) de 7,0 x 10-4 m^2/s, condutividade hidráulica (K) de $2,8 \times 10^{-6}$ m/s e coeficiente de armazenamento (S) de $1,7 \times 10^{-3}$.

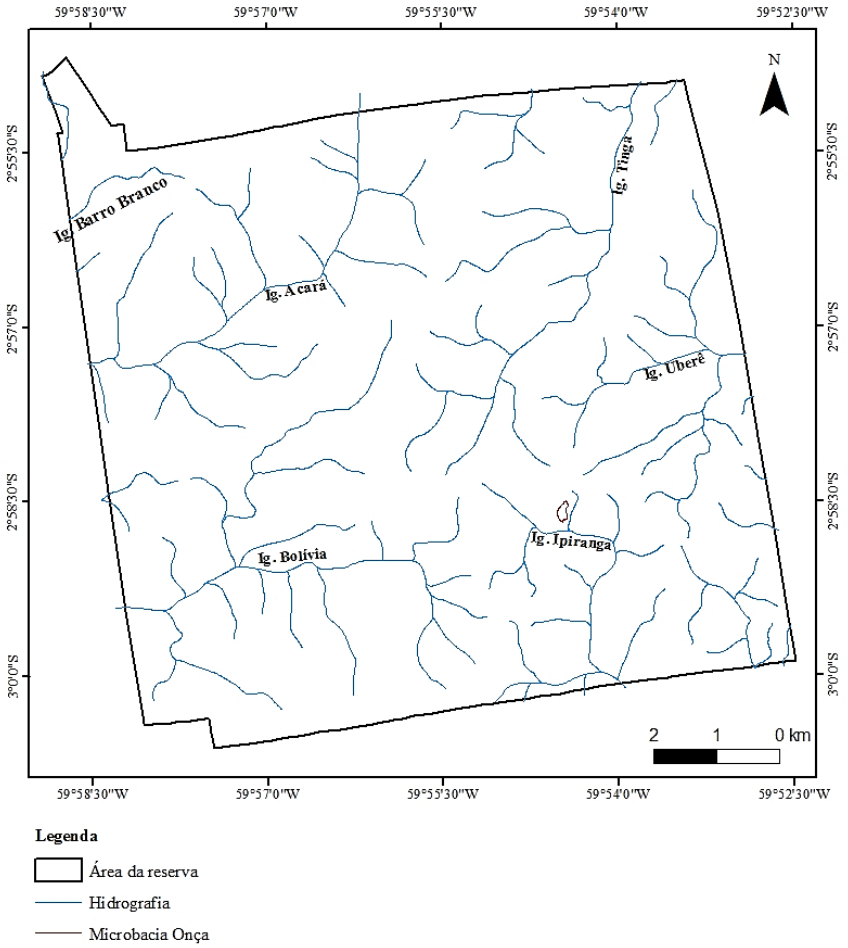

Figura 1 - Distribuição das principais drenagens na Reserva Florestal Adolpho Ducke, com indicação da localização da microbacia do Igarapé Onça, a norte do Igarapé Ipiranga.

Dados

Para o desenvolvimento da pesquisa foram instalados sete piezômetros nas coordenadas apresentadas na tabela 1, nos quais foram monitorados os níveis de água subterrânea entre 2013/2014. Estes níveis foram utilizados para calcular o fluxo de base.

Os piezômetros foram também utilizados para determinar a condutividade hidráulica (K), através da aplicação dos métodos do slug e bail tests descritos no item seguinte.

Tabela 1 - Dados dos piezômetros instalados na microbacia do Igarapé Onça, na Reserva Florestal Adolpho Ducke.

Piezômetro	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)	Profundidade Total* (m)	Altura da Boca (m)	Cotas (m)
PZ-IP-01	9670546	176740	4,94	0,74	55,9
PZ-IP-02	9670534	176696	4,00	0,76	58,7
PZ-IP-03	9670541	176684	7,13	0,71	61,9
PZ-IP-04	9670542	176762	7,48	0,76	57,5
PZ-IP-05	9670473	176762	4,06	0,75	51,7
PZ-IP-06	9670489	176762	4,02	0,79	50,7
PZ-IP-07	9670654	176751	5,91	0,91	65,9

*profundidade em relação ao topo do solo

Slug e bail tests

O método slug test é um de ensaio feito para determinar a condutividade hidráulica (K) do meio saturado, através da inserção instantânea de um cilindro sólido e denso (tarugo) no piezômetro, ocasionando a rápida elevação do nível de água (NA). A carga hidráulica elevada dentro do piezômetro gera um gradiente de pressão que força a saída da água. A taxa dessa saída é função da K do meio. Para calcular seu valor, é necessário registrar a variação da elevação do NA dentro do piezômetro em função de tempo durante o período de retorno da água ao nível existente antes da inserção do tarugo. Após a estabilização do NA, o tarugo é retirado instantaneamente, causando o rebaixamento do NA, e um novo teste é feito de forma análoga ao slug-test, denominado bail-test. A leitura da variação do nível da água pode ser feita manualmente, com um medidor elétrico. Essa medida também pode ser obtida com o auxílio de um transdutor de pressão, que mede e registra automaticamente a coluna de água acima de sua posição. Por conta desta característica é necessário fazer uma medida do NE (Nível Estático) antes da instalação do equipamento, a qual serve como referência de profundidade de instalação, podendo-se então, transformar as medidas de coluna de água acima do equipamento em profundidade da água abaixo da boca do poço.

No presente estudo foram utilizados transdutores de pressão com memória interna e leitura automática, modelo *levelogger* da marca In-Situ, que iniciaram a leitura de coluna de água com horário pré-programado através de software proprietário e conexão via cabo com computador. Os modelos utilizados são adequados para medições de até 10 metros de coluna de água, e a precisão é de 0,5% deste valor.

Granulometria

A condutividades hidráulica (K) também pode ser estimada através da determinação da distribuição granulométrica dos sedimentos nos estratos de interesse. No presente trabalho foram coletadas amostras deformadas com trado manual, desde a superfície, abaixo da camada de raízes rasas que possui aproximadamente 10 cm, até a profundidade máxima atingida em cada piezômetro, de metro em metro. As descrições *in locu* foram realizadas por observações macroscópicas dos sedimentos retirados dos furos. Todas as amostras foram armazenadas em sacos plásticos transparentes, identificadas com o número do piezômetro e a respectiva profundidade, totalizando 45 amostras. As análises granulométricas foram realizadas no Laboratório Temático de Solos e Planta (LTSP) do INPA (Instituto Nacional de Pesquisas na Amazônia), no mês de março de 2013. Os métodos aplicados foram o peneiramento e pipetagem (EMBRAPA, 2011).

Fluxo de base pelo método de Darcy

Com base nas Ks calculadas para a microbacia Onça, aplicou-se o método de Darcy para o cálculo do fluxo de base, do aquífero freático local para o igarapé. Ressalta-se que este método assume um fluxo constante e ausência de extração de água. O fluxo em zona saturada (q) é calculado multiplicando a condutividade hidráulica pelo gradiente hidráulico (equação 1):

$$q = K.i \qquad [1]$$

Onde q é a velocidade darcyana de fluxo da água; K é a condutividade hidráulica; e i o gradiente hidráulico (equação 2):

$$i = \Delta h/\Delta l \qquad [2]$$

Sendo Δh a diferença potenciométrica da água entre pontos de medição (piezômetros) e Δl a distância horizontal entre pontos de medição. Uma vez obtida a velocidade de fluxo (q), determina-se o fluxo de base pela multiplicação desta velocidade pela área da seção do aquífero que está hidraulicamente conectada à base do igarapé, ou à zona de descarga do aquífero.

Vazão do igarapé

A vazão do igarapé Onça foi determinada através da medição da velocidade do fluxo de água, multiplicado pela área da seção do canal (equação 3). A velocidade é obtida pela medição do tempo que um pulso de um traçador demora em se deslocar entre dois pontos com distância conhecida. Como traçador, foi utilizada uma solução de água com cloreto de sódio (NaCl), por causa de seu baixo custo, da sua fácil diluição na água do igarapé e da facilidade em medir seu deslocamento. A chegada do pulso de traçador foi determinada pelo aumento da condutividade elétrica da água, medida diretamente no igarapé, com um condutivímetro modelo EXSTICK II, da marca EXTECH. Ao todo foram realizados seis ensaios, três na campanha de junho de 2013 e três na de janeiro de 2014, respectivamente períodos de seca e chuva.

$$Q = Vm.A \qquad \textbf{[3]}$$

Onde Q é a vazão; A é a área da seção transversal do canal; e Vm é a velocidade média do fluxo de água do igarapé.

Para o cálculo de A escolheu-se uma região cujas paredes apresentavam uniformidade e que representassem um canal bem definido (70 cm), onde a partir daí mediu-se com trena as profundidades em relação ao nível da água para todo o canal a cada 10 cm do comprimento. O cálculo para área foi desenvolvido de acordo com a seguinte fórmula (equação 4):

$$A = \frac{\sum h}{x} \textbf{[4]}$$

Onde h é a profundidade do canal em cada ponto medido; x é o número de medidas de altura feitas; e l é a largura do canal no ponto de medição.

A variável Vm é obtida através da equação 5:

$$Vm = \frac{\Delta S}{\Delta t} \qquad \textbf{[5]}$$

ΔS é o Intervalo de deslocamento (posição final – posição inicial); e Δt é o Intervalo de tempo (tempo final – inicial). Para obter a Vm do fluxo de água, foi escolhida um trecho retilíneo do igarapé, onde o fluxo de água fosse constante em sua extensão. O trecho foi medido com trena, totalizando 5,5 metros (ΔS). O Δt foi determinado pelo tempo que o centro de massa da água salgada inserida levou entre o ponto de inserção e o ponto em 5,5 m.

O procedimento foi realizado de acordo com os seguintes passos: 1) No ponto escolhido para a inserção do traçador foram cuidadosamente colocados 7 litros de solução de água com NaCl. 2) A partir do momento da injeção da

soluçnao de traçador, no ponto localizado 5,5 m a jusante foram feitas medidas de condutividade elétrica da água a cada 10 segundos, que ficaram gravadas na memória do condutivímetro. 3) As medições foram executadas até que a condutividade elétrica inicial fosse restabelecida. Para aferir os resultados, o procedimento foi repetido três vezes. De posse dos dados foi determinado o pico de maior condutividade elétrica, que representa ao ponto central de deslocamento da massa de água com sal injetada no igarapé.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Condutividade Hidráulica

O quadro 2 apresenta os resultados comparativos entre os slug e bail tests realizados por Corrêa (2013). Os valores variam entre $5{,}5x10^{-8}$ e $8{,}5x10^{-6}$ m/s, e correspondem a um solo areno-siltoso, proveniente de arenitos de acordo com o proposto por Freeze e Cherry (1979). Ambos os testes fornecem valores de K próximos, à exceção do PZ-IP-07 no qual há uma diferença de quase uma ordem de magnitude entre os resultados, sendo o valor o K obtido com bail-test superior. Nos PZ-IP-01, 03 e 07 o K obtido com bail-test foi maior, e para os PZ-IP-02, 04, 05 e 06 o resultado para slug-test foi maior.

Os resultados dos testes também demonstraram pequenas variações no tempo necessário para que o nível de água alcance estabilidade e também indicaram que há uma boa qualidade de execução e interpretação dos ensaios. As diferenças provavelmente foram causadas por macro porosidades deixadas no espaço anelar, que fica entre o tubo de PVC e o furo do piezômetro, durante a sua construção, pois mesmo quando possuam baixo teor de argila, esses sedimentos formaram grumos que desceram com certa dificuldade no pequeno espaço anelar, o que gerou caminhos preferenciais para a passagem da água distintos para a subida ou descida da água.

Tabela 2 - Tabela de distribuição de K, onde os PZ-IP-01, 03 e 07 o Bail Test foi maior e para PZ-IP-02, 04, 05 e 06 o Slug Test foi maior.

Condutividade hidráulica (K) – m/s		
Piezômetros	**Slug - Test**	**Bail - Test**
PZ-IP-01	$1{,}9x10^{-6}$	$3{,}6x10^{-6}$
PZ-IP-02	$1{,}3x10^{-7}$	$5{,}5x10^{-8}$
PZ-IP-03	$4{,}0x10^{-6}$	$5{,}4x10^{-6}$
PZ-IP-04	$6{,}8x10^{-7}$	$3{,}0x10^{-7}$
PZ-IP-05	$1{,}8x10^{-6}$	$1{,}2x10^{-6}$

PZ-IP-06	$2,2x10^{-6}$	$1,5x10^{-6}$
PZ-IP-07	$9,6x10^{-7}$	$8,5x10^{-6}$

Granulometria

As 45 amostras deformadas foram coletadas nos horizontes O, A e B, que localmente apresentam variação no teor de seus constituintes e variabilidade no teor em finos (silte e argila). Nas camadas mais profundas, as porcentagens das frações estão distribuídas na tabela 3. A camada superficial O ocorre a até 30 cm, é extremamente porosa, rica em folhiço e de coloração escura. As raízes nessa camada de húmus são abundantes, apresentam espessura que variam entre 1 cm a 6 cm, quanto mais profunda a camada de húmus, maior tendência do desenvolvimento de raízes de até 6 cm de espessura.

A espessura do horizonte A é de até 30 cm, profundidade onde ocorre a transição entre o substrato húmico e o areno-argiloso. A camada é demarcada pela gradual diminuição na abundância de raízes em função de profundidade, e na variação da coloração que, do topo para a base, grada de acinzentada a tons avermelhados. No geral, os teores de areia são superiores a 60%, com predomínio de areia média. Ocorrem ainda seixos quartzosos angulosos a arredondados dispersos ao longo do perfil.

O horizonte B varia entre 50 cm a 2,7 m de espessura, e se caracteriza pela ocorrência de caulinita, evidenciada pela coloração esbranquiçada do horizonte. A granulometria é areno-siltosa, com predomínio de areia média mal selecionada. Em observações de campo, nota-se que os limites de transição entre os horizontes são marcados pela mudança na coloração e na textura do solo. Os teores de areia são maiores que 70%, com finos acima de 20% em todos os pontos de coleta, como é apresentado na 3.

O horizonte E é demarcado pela presença de linhas verticais avermelhadas incluídas no horizonte mosqueado, além da presença de concreções ferruginosas maciças de diâmetro entre 2 e 3,2 cm, às quais são atribuídas mudanças locais na coloração do solo ao longo do perfil. A espessura deste horizonte varia entre 2 a 6,5 m. Visualmente, o horizonte E parece ser caulinítico, com incremento no teor de silte e argila em relação a O, A e B. No entanto, o que se observou com as análises granulométricas é uma pequena variação nos teores de areia, silte e argila ao longo dos perfis da área, que não descaracteriza a homogeneidade da formação.

Tabela 3 - Porcentagem das frações mais profundas de cada piezômetro.

Granulometria	Piezômetros						
	PZ-IP-01	PZ-IP-02	PZ-IP-03	PZ-IP-04	PZ-IP-05	PZ-IP-06	PZ-IP-07
Areia grossa (%)	26	23	10	21	39	20	32
Areia média (%)	27	30	42	31	29	25	33
Areia Fina (%)	23	20	35	25	11	29	10
Total de areia (%)	76	73	87	77	79	74	75
Silte (%)	14	17	9	13	11	15	14
Argila (%)	10	10	4	11	10	11	11

A litologia variou entre arenosa a areno-síltica quando plotadas no diagrama de Shepard (1954) (Figura 2), o que é compatível com a granulometria proposta por Freeze e Cherry (1979) a partir da K (areno-siltoso) já descrito na seção anterior.

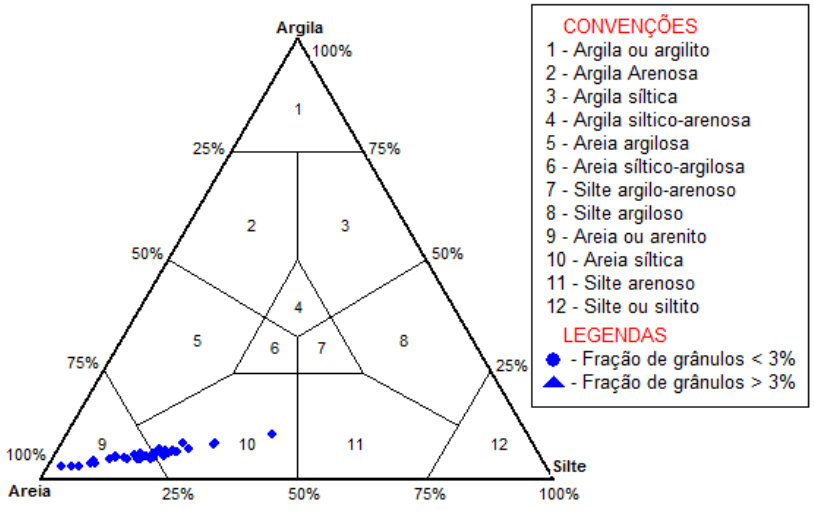

Figura 2 - Diagrama de Shepard (1954) e a disposição das 45 amostras coletadas, que caem nos campos silte argiloso e areia.

Fluxo de Base pelo método de Darcy

Foi obtida uma média dos valores de velocidade de fluxo darcyano para ser empregado no cálculo de fluxo de base (tabela 4), correspondendo a $1{,}30x10^{-7}$m/s. A área da zona de descarga da microbacia foi obtida através dos dados de comprimento e largura do igarapé da Onça e seus tributários. O comprimento foi determinado com regra de três simples e a largura média foi observada em campo com 10 m, 5 m para cada lado do leito no igarapé da Onça, que representam a zona ripária ou planície e inundação do igarapé; e 2 m nos tributários, um metro para cada lado do leito. A área total da zona de descarga foi de 2.799 m^2. Desta forma, foi possível calcular o fluxo de base em $Q=3{,}6x10^{-4}$ m^3/s

Tabela 4 - Parâmetros calculados para se obter o fluxo de base

Piezômetro	K (m/s)	dh (m)	dl (m)	q (m/s)
PZ-IP-01	$2{,}75x10^{-6}$	0,21	20,96	$2{,}75x10^{-8}$
PZ-IP-02	$9{,}25x10^{-8}$	4,61	24,19	$1{,}75x10^{-8}$
PZ-IP-03	$4{,}75x10^{-6}$	4,58	40,32	$5{,}40x10^{-7}$
PZ-IP-04	$4{,}90x10^{-7}$	0,63	30,64	$1{,}00x10^{-8}$
PZ-IP-05	$1{,}50x10^{-6}$	0,02	19,35	$1{,}57x10^{-9}$
PZ-IP-06	$1{,}85x10^{-6}$	0,71	29,03	$4{,}52x10^{-8}$
PZ-IP-07	$4{,}73x10^{-6}$	1,11	19,35	$2{,}71x10^{-7}$

Vazão

Em junho de 2013, o tempo médio que a solução de traçador demorou a chegar de um extremo ao outro do percurso retilíneo estabelecido no Igarapé Onça foi de 30 segundos (Figura 3). Este resultado permitiu obter uma velocidade média do fluxo de água de 0,183 m/s. Utilizando uma área da seção do igarapé Onça de 0,0262 m^2, a vazão calculada é de $4{,}8x10^{-3}$ m^3/s para o início do período de estiagem.

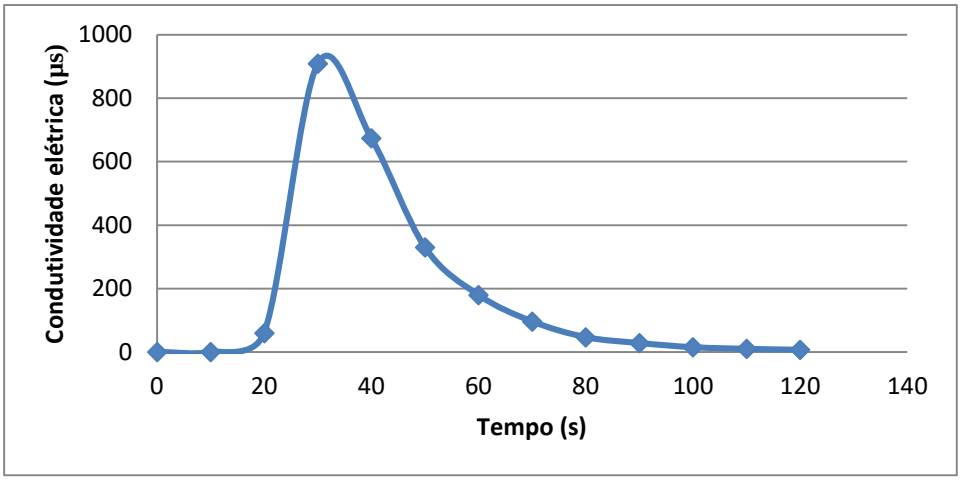

Figura 3. Resultados da condutividade elétrica da água medida a cada 10 s, a 5,5 m de distância do ponto de injeção da solução de NaCl e água. Estes dados são do mês de junho de 2013, início do período de estiagem.

Em janeiro de 2014, o tempo médio de trânsito da solução de traçador foi de 13 s, permitindo o cálculo de uma velocidade média de 0,419 m/s, e uma vazão de $1{,}1x10^{-2}$ m^3/s para o período de chuvas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos foi possível classificar o solo da área como argissolo, com predomínio da fração areia, cujo teor mínimo é de 73% e o máximo de 87%, onde as amostras variaram entre arenosas a areno-siltosas. Tal resultado corrobora a semelhança entre litotipos observada em campo, dentro da microbacia Onça. Essa areia, é média e mal selecionada, cujos os valores de condutividade hidráulica (K), calculados por slug e bail testes, são da ordem de 10^{-4} a 10^{-6} m/s, que correspondem a um solo areno-siltoso, proveniente de arenitos de acordo com o proposto por Freeze e Cherry (1979) e que tem boa relação com as análises granulométricas realizadas na área.

Com relação a vazão, o valor mínimo do igarapé Onça, medido em junho de 2013 em inicio do período de estiagem, foi de 4,8x10-3 m3/s, e o máximo, medido em janeiro de 2014, com chuvas diárias, foi de 1,1x10-2 m3/s. Já o valor do fluxo de base determinado a partir do fluxo darcyano em junho de 2013 foi de $3{,}6x10^{-4}$ m^3/s, uma ordem de magnitude menor que o resultado obtido pela determinação da vazão do igarapé em um período sem precipitação. A diferença

pode estar relacionada à uma maior área de contribuição da zona saturada para o fluxo de base, ou um longo período de contribuição de água escoando por baixo do folhiço diretamente para o igarapé, sem passar pelo aquífero. Como as medições foram feitas em junho, mês que ainda ocorrem algumas chuvas, este efeito pode ser relevante. Outra possibilidade é uma imprecisão na determinação do fluxo de base causada pela variabilidade da condutividade hidráulica, não captada pelos ensaios realizados nos piezômetros. A inserção de mais piezômetros, distribuídos em áreas onde ainda não os há, pode responder esta questão. De qualquer modo, fica clara a importância da contribuição do aquífero freático na manutenção do fluxo perene de água no igarapé Onça ao longo de todo o ano.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, C.J.B. (Coord.). P**rojeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Aquífero Alter do Chão no Estado do Amazonas - Bacia Sedimentar do Amazonas**. Belo Horizonte: CPRM, 2012. Vol. 6. 30p.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2015). **Avaliação dos aquíferos das bacias sedimentares da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e cidades piloto (escala 1:50.000)**. Brasília: 331 p., Volume 3 *Hidrogeologia e modelo numérico de fluxo da PHA no Brasil.*

BOUWER, H. ; R.C. RICE. **A slug test method for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells, Water Resources Research**, vol. 12, no. 3, pp. 423-428. 1976.

CORREA, A. V. C. L. **Determinação do fluxo de base do aquífero freático em uma microbacia de drenagem na reserve florestal Adolpho Ducke**. Trabalho final de Graduação, Geociências UFAM. 2013.

CUNHA, P.R.C.; MELO, J.H.G.; SILVA O.B. **Bacia do Amazonas**. BOLETIM DE GEOCIÊNCIAS. PETROBRAS. v. 15, p. 227-251. 2007.

EDWARDS, M.; WEBB, J. **The importance of unsaturated zone biogeochemical process in determining groundwater composition, southeastern Australia**. Hydrogeology Journal 17: 1359–1374. 2009.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. 2º ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2011.

FAN; LEE e MIGUEZ – MACHO. **Global patterns of groundwater table depth. 2013.** Disponível em: http://science.sciencemag.org/content/339/6122/940

FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C.A. **Precipitation distribution over central and western tropical South America**. Climanálise, v. 5, p. 36-45. 1990. Disponível em: http://www.cbmet.com/cbm-files/18-d169fc5e7fa05ed58f6bcbb3013c1efc.pdf

FREEZE, R. ; CHERRY, J. A. **Groundwater**. Prentice Hall do Brasil, Ltda, Rio de Janeiro. 1979.

GERHART *et al.,* 2004 .J. Gerhart, J.; Waugh, W.J.; Glenn, E.P.;and Pepper I.L. ecological restoration. In: ARTIOLA, J.; PEPPER, I. L.; BRUSSEAU, M. L.; **Environmental monitoring and characterization**. 2004.

GREEN, T. R.; TANIGUCHI M.; KOOI H.; GURDAK, J.; ALLEN, D.; HISCOCK K. M.; TREIDEL H.; AURELI, A**.; Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater.** 2011. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.465.3292&rep=rep1&type=pdf

HVORSLEV, M. J. **Time lang and soil permeabity in ground water observations: Vicksburg,** Miss U S Army Corps of Engineers Waterwaus Experiment Station, Bulletin. 1951. p 36 - 50.

LARNED, S. T**. Phreatic groundwater ecosystems: research frontiers for freshwater ecology**. 2012

MELAK, J. M.; VICTORIA, R. L; e TOMASELLA, J. **Águas Superficiais na Amazônia: Descobertas Chave e Perspectivas**. 2008

MOORE, J. E. Field Hydrogeology: **A guide for site investigations and report preparation**. 2002.

RIBEIRO, J.E.L.S.; HOPKINS, M.J.G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C.A.; COSTA, M.A.S.; BRITO, J.M.; SOUZA, M.A.D.; MARTINS, L.H.P.; LOHMANN, L.G.; ASSUNÇÃO, P.A.C.L.; PEREIRA, E.C.; SILVA, C.F.; MESQUITA, M.R. & PROCÓPIO, L.C. **Flora da Reserva**

Ducke. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e Department for International Development (DFID), Manaus, Amazonas. 1999.

RICHEY, J. E.; KRUSCHE, A. V.; JOHNSON, M.S.; CUNHA, H.B.; BALLESTER, M. V. **O Papel dos Rios no Balanço Regional de Carbono**. 2009

ROCHA, H.R.; MANZI, A.O.; SHUTTLEWORTH, J. **Evapotranspiration.** In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; SILVA DIAS, P. (Orgs.). **Amazonia and Global Change**. Geophysical Monograph Ser, vol. 186. Washington, D.C.: American Geophysical Union Books, 2009. p.261-272.

SCATENA F.N.; BRUIJNZEEL, L.A.; BUBB P.; DAS S.; 2010. **Setting the stage. In Tropical Montane Cloud Fore** sts: Science for Conservation and Management, Bruijnzeel LA, Scatena FN, Hamilton LS. Cambridge Univ. Press: UK, 3–13. 2010.

SHEPARD, F.P. **Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. Journal Sedimentary Petreology**. 1954.
SOARES, E.A.A.; Wahnfried, I.; DINO, R**. Subsurface stratigraphy of the cretaceous-neogene sedimentary sequence of Manaus and Itacoatiara regions, Central Amazon**. Geologia USP. Série Científica, v. 16, p. 23-41, 2016.

TOGNETTI S.; AYLWARD B.; BRUIJNZEEL, L.A. **Assessment needs to support the development of arrangements for payments for ecosystem services from tropical montane cloud forests**. In Tropical Montane Cloud Forests. Science for Conservation and Management, Bruijnzeel L. A., Scatena F. N., Hamilton L. S. (eds). Cambridge Univ. Press: Cambridge, UK; 671–685. 2010

TOLEDO, J.J. **Influência do solo e topografia sobre a mortalidade de árvores e decomposição de madeira em uma floresta de terra-firme na Amazônia Central**, Tese de Doutorado. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA (INPA), Manaus, Amazonas. 84 pp. 2009.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M.G.; CUARTAS, L. A.; NOBRE, A. D.; WATERLOO, M. J.; OLIVEIRA, S. **The water balance of an Amazonian micro-catchment: the effect of interannual variability of rainfall on hydrological behaviour**. 2008.

TOMASELLA, J.; NEILL, C.; FIGUEIREDO, R.; NOBRE, A. D. **Balanços Hídrico e Químico em Escala de Bacia de Drenagem Incluindo Exportações de Nutrientes de Florestas Intactas e Áreas Perturbadas.** 2009.