Universidade de São Paulo

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Viabilidade da supressão de diques do rio Lavanchon St. Paul de Varces - França

Karla Romão

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado junto à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ - USP, como requisito para obtenção do título de Bacharela em Gestão Ambiental.

Piracicaba
2015

Karla Romão

Viabilidade da supressão de diques do rio Lavanchon St. Paul de Varces - França

Orientadores:
Prof. Dr. **SÉRGIO NASCIMENTO DUARTE** - ESALQ/USP - Brasil
Dr. **DAMIEN KUSS** - Service RTM de l'Isère - França

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado junto à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ - USP, como requisito para obtenção do Título de Bacharela em Gestão Ambiental. Área de concentração: Engenharia da Água e Solo.

Piracicaba
2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente às duas escolas que me receberam e que me formaram, como profissional e pessoa, a gloriosa ESALQ e a ENGEES.

Aos meus pais, Carlos e Ana Maria, que sempre me apoiaram em todos os meus sonhos. A minha irmã, Kátia, que mesmo longe sempre me incentivou a seguir em frente. Ao meu namorado, Vanderlei, que esteve comigo em todos os momentos.

Ao meu orientador francês, Damien Kuss, por ter acolhido uma aluna estrangeira, por sua paciência, seriedade e bondade. Ao meu orientador brasileiro, Sérgio Nascimento Duarte, por sua dedicação e alegria, sem o qual não conseguiria concluir este trabalho.

Aos meus pais franceses Barbara e Eric Amblard, e aos meus queridos colocs Timothé, Elisa e Alan, que me fizeram sentir em família.

Aos meus grandes amigos, Bruna (K-piau), Mariana (P-drera), Rodrigo (Isprinter), inseparáveis desde o primeiro ano, Aline (Ronaldo), Cláudia (Miñoka), Ronnie (Kurupra), Thais (Puff), Gabriella, Jaime, Jeremias, Tatiane, Anderson, Marina, Elaine, Kátia, Eduardo Léo. Aos meus amigos da França, Jean, Leandro, Leonel, Otto, Tug e Wilson, por todas as risadas e bons momentos.

A todos que me ajudaram do Service RTM de l'Isère: Pierre GACHET (Pilou), Coralie BONARD (Lalie), Cécile BERTRAND, Norbert DEBROIZE, Nicolas BASTIDES, Aurore BALINT, Bruno LAÏLY, Robert YANNICK, Paul ALLEGRE, Thomas FERRIER, Bastien AUBER, Vivian BONNETAIN.

À Profª Sílvia Helena Galvão de Miranda, que abriu a mesma oportunidade de crescimento que tive para vários outros gestores ambientais.

SUMÁRIO

RESUMO 9
ABSTRACT 11
LISTA DE FIGURAS 13
LISTA DE TABELAS 15
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS 17
CONSIDERAÇÕES INICIAIS 19
1 INTRODUÇÃO 19
1.1 Objetivos 20
2. REVISÃO DE LITERATURA 21
2.1 Morfologia dos rios de montanha 21
2.2 Inundações 22
2.4 Medidas de controle da inundação 25
2.4.1 Medidas estruturais 26
2.4.2 Medidas não estruturais 30
2.5 Modelagem hidrológica 31
3. MATERIAL E MÉTODOS 33
3.1 Fase 1: diagnóstico do estado atual 35
3.1.1 Situação geográfica 35
3.1.2 Perímetro do estudo 36
3.1.3 Informações sobre a bacia hidrográfica 37
a) Características gerais 37
b) Geomorfologia da bacia hidrográfica 38
c) Estrutura da rede hidrográfica 39

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 41
4.1 Perfil longitudinal 41
4.1.1 Análise do perfil longitudinal do setor de estudo 43
4.2 Fontes de produção de sedimentos 44
4.3 Histórico de cheias 45
4.4 Análise temporal 47
4.5 Vazões de projeto 49
4.6 Síntese: definição da chuva de referência 50
4.7 Diagnóstico dos diques e obras associadas no setor de estudo 51
4.7.1 Descrição geral do setor de estudo 51
4.7.2 Inspeção visual dos diques marginais e obras associadas 55
4.7.3 Diagnóstico hidráulico 59
4.7.4 Síntese do diagnóstico 66
4.8 Propostas de melhorias 68
4.8.1 Princípios gerais 68
4.8.2 Descrição das soluções propostas 69
a) Solução 1 69
b) Solução 2 71
c) Comparativo das soluções propostas 74
d) Solução escolhida pelo Sindicato do Lavanchon em reunião realizada em 09/06/2015 75
e) Validação hidráulica da solução escolhida 78
f) Custos da solução escolhida 80
4.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS 82
5. CONCLUSÕES 84
6. REFERÊNCIAS 86
ANEXO 2 Características geométricas detalhadas das seções 91

ANEXO 3 Histórico detalhado das de cheias, do rio do Lavanchon.....94

ANEXO 4 Desenho estereoscópico da solução escolhida pelo Sindicato do Lavanchon 98

ANEXO 5 Inspeção visual dos diques - metodologia detalhada 99

ANEXO 6 Mapa com o traçado da solução 1 - S1, proposta para resolver os problemas detectados.....101

ANEXO 7 Mapa com o traçado da solução 2 - S2; qual seja, manutenção do leito próximo ao atual.....102

ANEXO 8 Traçado da solução escolhida pelo Sindicato do Lavanchon .103

RESUMO

Viabilidade da supressão de diques do rio Lavanchon

St. Paul de Varces - França

O processo crescente de urbanização vem contribuindo para a ocupação das áreas de várzea, naturalmente alagáveis, tornando as populações ribeirinhas mais suscetíveis ao risco de inundação. Este estudo visa avaliar a viabilidade de supressão de diques marginais, para conferir ao rio Lavanchon, localizado no município de St. Paul de Varces (França), um aspecto mais próximo ao natural e ainda proteger as populações ribeirinhas. Este estudo é composto por duas fases: a primeira trata da análise e síntese das informações sobre a bacia hidrográfica, a rede de drenagem, o perfil longitudinal, o histórico das cheias e do setor de estudo; do diagnóstico dos diques e de suas obras associadas; e a segunda fase, que consiste na apresentação de propostas de melhoria e sua validação hidráulica por meio da realização de simulações pelo software HEC-RAS. O setor de estudo é composto por um leito estreito e retilíneo, limitado lateralmente por diques marginais em péssimo estado de conservação, apresentando forte risco de ruptura. Os diques são compostos por aluviões do leito do rio, que foram alocados em suas margens pela população local, visando retificar o curso d'água e preservar as áreas agrícolas. Além disso, em inundações de intensidade de média à moderada, a tendência é a incisão do leito do rio, com a manutenção de uma inclinação de 1,9%, enquanto em caso de cheias excepcionais, a tendência é o depósito, com preenchimento das concavidades do leito do rio para manutenção de uma inclinação média de 2,3%. Com base nos resultados obtidos nas simulações, foi proposta a realização de obras para a adequação do estado precário dos diques marginais, permitindo a passagem de uma vazão para um período de retorno de 100 anos, nos locais onde existiam estruturas importantes a serem protegidas. Na área onde não havia atividade humana, foi proposta a supressão de diques, permitindo que o curso d'água adote uma morfologia mais próxima à natural. Em conclusão, a modelagem hidrológica se apresentou como uma ferramenta importante para a validação do dimensionamento de obras hidráulicas; o aspecto social é um fator extremamente relevante e complexo a ser considerado; e as obras que visam dar ao curso d'água um aspecto mais próximo ao natural encontram fortes restrições para atendimento das exigências legais.

Palavras-chave: Macrodrenagem; Simulação hidrológica; Obras de controle

ABSTRACT

Feasibility study of Lavanchon river levees suppression St. Paul de Varces (France)

The increasing urbanization process has been contributing towards the occupation of naturally floodable riverside areas, making the riverside population more susceptible to the risk of flooding. This study aims to analyze the feasibility of Lavanchon river levees suppression, in the city of St. Paul de Varces (France), conferring an appearance closer to the natural, and also, protecting its riverside population. This study is divided in two phases: the first one is the analysis and synthesis of the river watershed, the drainage network, the longitudinal profile, the history of floods and study area; the diagnosis of dams and their associated works; the second phase contain improvement proposals and its hydraulic validation by conducting simulations in the HEC-RAS software. The study area has a narrow and straight riverbed, limited laterally by levees in a state of serious disrepair, with a strong danger of levee-break. The levees were made of alluvial deposits from the riverbed, which were disposed in its banks by the local population in order to preserve agricultural lands, and to make it straighter. Besides that, the floods with an intensity of moderate to medium tend to the riverbed incision, maintaining a slope of 1.9%, while in the case of exceptional floods; the trend is the deposit of sediments, filling the riverbed gaps to maintain an average slope of 2.3%. Based on the results obtained in the simulations, it was proposed to carry out works to improve the precarious state of the marginal levees, allowing the passage of a discharge with a 100 years return period, in places where there were important structures to be protected. In the area where there were no human activities, it was proposed to suppress the levees, allowing the stream to adopt a morphology closer to the natural one. In conclusion, the hydrological modeling is an important tool to validate the design of hydraulic structures; the social aspect is an extremely important and complex factor to be considered and the works that aim to give the stream an appearance closer to the natural have strong restrictions to meet the legal requirements.

Keywords: Macrodrainage; Hydrological simulation; Waterworks

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática da bacia hidrográfica de um rio em regime torrencial, dividida em três zonas funcionais. 22
Figura 2 - Localização do município de St. Paul de Varces, na França, que foi a região de estudo deste trabalho. 35
Figura 3 - Perímetro de estudo localizado no setor de Champ Charrier, do município francês de St. Paul de Varces. 36
Figura 4 - Vista estereoscópica da bacia hidrográfica do rio Lavanchon. 37
Figura 5 - Vista superior da bacia hidrográfica do rio Lavanchon. 40
Figura 6 - Perfil longitudinal geral do rio Lavanchon 43
Figura 7 - Perfil longitudinal detalhado entre a ponte Meinget e a ponte Brigaudière 44
Figura 8 - Análise fotográfica temporal comparativa do cone de dejeção do rio em estudo. 48
Figura 9 Terraços vegetados no nível dos meandros, à montante do rio Faures..... 48
Figura 10 Delimitação das seções do setor de estudo. 52
Figure 11 - Estruturas e obras presentes no setor em estudo. 54
Figura 12 - Carta síntese do estado dos diques marginais na área de estudo. 56
Figura 13 - Resultados da modelagem em ausência de sedimentos. Situação atual. Perfil longitudinal simulado com o HEC-RAS, supondo regime permanente, não uniforme, e gradualmente variado. 63
Figura 14 - Resultados da modelagem considerando a carga sólida - Situação atual. Perfil longitudinal simulado com o HEC-RAS. 65
Figura 15 - Seção transversal típica - novo leito - preconizado pela solução S1. 70
Figura 16 - Seção transversal típica - conservação do traçado atual - considerando a solução S1. 70
Figura 17 - Perfil longitudinal - considerando a solução S1. 71
Figura 18 - Perfil longitudinal - solução S2. 73
Figura 19 - Seção transversal típica escolhida pelo Sindicato do Lavanchon. 76
Figura 20 - Perfil longitudinal da solução escolhida pelo Sindicato do Lavanchon.... 77
Figure 21 - Resultados da modelagem sem considerar o transporte de sedimentos - solução escolhida pelo Sindicato do Lavanchon.. 79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais características físico-morfológicas da bacia hidrográfica do rio Lavanchon.....38
Tabela 2 - Histórico de cheias do rio Lavanchon.....45
Tabela 3 - Histórico de cheias do rio Lavanchon.....46
Tabela 4 - Vazões máximas calculadas pelo presente estudo em função do período de retorno.....49
Tabela 5 - Características gerais das seções, em que R.D. é a margem direita e R.G. é a margem esquerda 52
Tabela 6 - Síntese do estado estrutural das barragens de regularização de nível e das proposições para melhorias e recuperação.....58
Tabela 7 - Recapitulação das capacidades hidráulicas e deficiências identificadas .59
Tabela 8 - Capacidade hidráulica das pontes. 62
Tabela 9 - Comparativo das soluções propostas S1 e S2.....74
Tabela 10 - Estimativa dos custos da solução escolhida 80
Tabela 11 - Características geométricas detalhadas das seções 91
Tabela 11 - Características geométricas detalhadas das seções 92
Tabela 12 - Código de referência da parte da obra descrita 99
Tabela 13 - Código de referência do tipo de problema identificado 100
Tabela 14 - Código de risco das fichas de restituição. 100
Tabela 15 - Índice de gravidade dos problemas observados. 100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RTM	Restauration des Terrains en Montagne
GPS	Global Positioning System
ESALQ	Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
USP	Universidade de São Paulo

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente trabalho, realizado na ESALQ - USP, tomou como base os dados levantados pela acadêmica Karla Romão, na França, sob orientação do Dr. Damien Kuss (Service de Restauration des Terrains en Montagne - RTM - de l'Isère).

1 INTRODUÇÃO

O objeto deste trabalho é o setor Champ Charrier do rio Lavanchon, que é limitado pelas pontes Meinget e Brigaudière, localizado no município de St. Paul de Varces, no Departamento de Isère, na França.

Devido ao processo crescente de urbanização local, dos fatos de o leito ter sido retificado e de o sistema de diques marginais estar em mau estado, o Sindicato do Lavanchon solicitou ao *Service de Restauration des Terrains en Montagne de l'Isère* (RTM) um estudo para compreender melhor a viabilidade da realização de trabalhos para proteger as residências ribeirinhas existentes, se possível sem revestir o curso do rio.

O RTM é um serviço departamental que tem por objetivo a prevenção e proteção contra os riscos naturais em terrenos de montanha (INSTITUT DES RISQUES MAJEURS, 2015); neste caso, no Departamento de Isère na França.

O Lavanchon é um rio que tem suas nascentes oriundas dos contrafortes orientais do Maciço do Vercors. As cheias são carregadas por uma grande quantidade de sedimentos, como é frequente em um regime torrencial. Estes materiais são depositados ao longo do tempo sob seu cone de espraiamento, localizado em sua planície aluvial (CIDEE, 2007; GEO+, 2007).

Após cada episódio de cheia, os aluviões carreados com a correnteza eram realocados em suas margens pelos habitantes ribeirinhos, criando a morfologia que o Lavanchon possui atualmente, com um leito que apresenta diques marginais muitas vezes acima do nível da planície aluvial. Este material foi utilizado para a criação de diques em ambas as margens do Lavanchon, visando retificar o curso d'água e preservar as áreas agrícolas (CIDEE, 2007).

Atualmente, o leito do Lavanchon foi muito modificado pela ação humana: é retilíneo, estreito (pois é limitado lateralmente pelos diques), dotado de pequenas barragens para estabilização do leito, proteção dos taludes e para a diminuição da

erosão. Os trabalhos mais antigos foram realizados pelos proprietários dos terrenos ribeirinhos, reunidos em uma associação sindical autorizada. As intervenções foram complementadas mais recentemente por trabalhos realizados pelo município de St. Paul de Varces e pelo Sindicato do Lavanchon (GEO+, 2007).

O sistema de diques tem por função principal a proteção das parcelas agrícolas e das habitações contra o risco de inundação. Vários estudos já foram conduzidos sobre a bacia hidrográfica do Lavanchon, destacando sua vulnerabilidade, tanto pela sua capacidade hidráulica limitada quanto pelo estado de conservação do seu sistema de diques. Estes são compostos inteiramente por antigos aluviões do Lavanchon, e estão efetivamente em péssimo estado de conservação. Os taludes do rio com a face voltada para o curso d'água estão sujeitos a fortes processos de erosão, com um risco elevado de ruptura após períodos de cheias (CIDEE, 2007; GEO+, 2007).

1.1 Objetivos

Objetivo geral

O principal objetivo deste estudo é apresentar propostas de trabalhos para reduzir a vulnerabilidade de parte da calha, tendo em vista o risco de inundação no setor de Champ Charrier.

Objetivos específicos

- Diagnosticar a situação atual do setor de estudo e da bacia hidrográfica no qual este está localizado; e
- Propor ações visando reduzir a vulnerabilidade do setor de estudo, considerando os riscos naturais de extravasão da calha.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Morfologia dos rios de montanha

Como afirmam Liébault, Peteuil e Remaître (2010), a prevenção, a previsão e a proteção contra as cheias de rios em regime torrencial exigem um maior conhecimento dos processos hidrológicos, hidráulicos e geomorfológicos da produção e o transporte de fluxos de líquidos e sólidos.

Segundo Recking, Richard e Degoutte (2013), os rios de montanha são divididos em três zonas funcionais que se relacionam de montante à jusante (Figura 1), conforme se segue:

1) Bacia de recepção ou zona de produção: zona de produção sedimentar, sendo caracterizada pelo processo de erosão, que resulta da variabilidade espacial das condições físicas das bacias (geologia, relevo e ocupação do solo).

2) Canal de escoamento ou zona de transporte: rede hidrográfica frequentemente limitada lateralmente, onde transitam os materiais provenientes de montante. Frequentemente caracterizada pelo tipo de transporte de sedimentos em seu leito, são classificadas como "*torrents à laves"* ou "*torrents à charriage"* [1].

3) Cone de dejeção ou zona de depósito: zona onde ocorre depósito de uma parte significativa da carga de sedimentos transportados, devido ao leito mais largo e à redução da declividade de fundo.

---

[1] Em francês, *torrents à laves* e *torrents à charriage*, se diferenciam pela carga de sedimentos, sendo a primeira monofásica e coesa, transportada de maneira rápida, contrariamente à *charriage*, onde a velocidade das partículas é muito mais lenta. A linha divisória entre esses tipos de transporte tem sido objeto de discussão entre especialistas da área (LIÉBAULT; PETEUIL; REMAÎTRE, 2010).

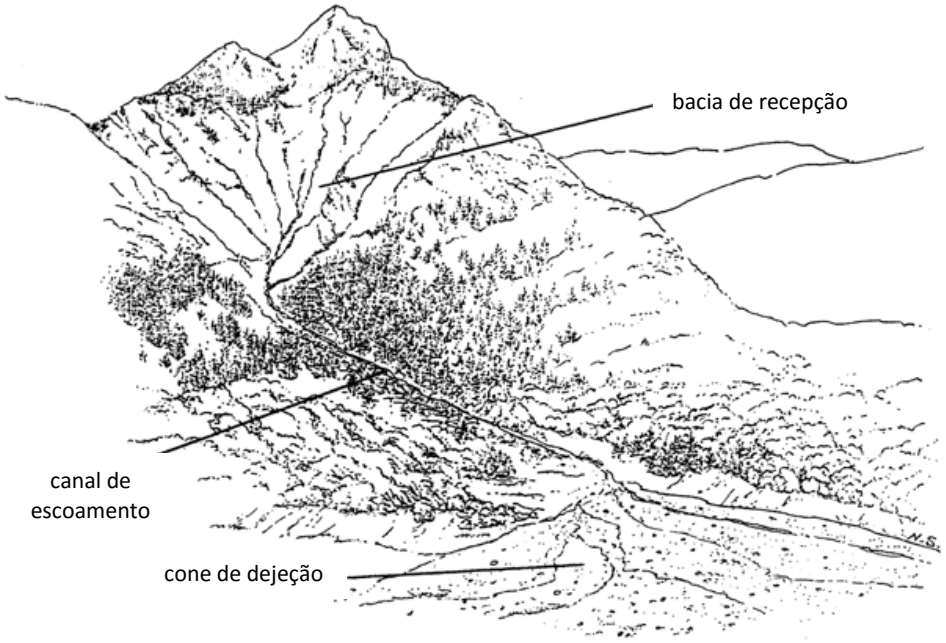


Figura 1 - Representação esquemática da bacia hidrográfica de um rio em regime torrencial, dividida em três zonas funcionais.
Fonte: adaptado de N. Sardat, Cemagref.

2.2 Inundações[2]

Como afirmam Wisler e Brater (1967), a inundação é geralmente considerada como ume estágio excepcionalmente elevado do rio. É frequentemente descrito como o estágio no qual o canal do rio fica cheio e acima do qual há transbordamento sobre as margens. O vale fica, então, "inundado". Segundo Watson e Burnett (1995), a cheia de terrenos normalmente drenados por um curso d'água por meio de transbordamento de suas margens, é um evento natural e periódico na história de cada rio.

Quando a precipitação é intensa, a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio pode ser superior à sua capacidade de drenagem, ou seja,

[2] Neste estudo serão adotados os seguintes termos: (A) Enchente ou cheia é o aumento temporário do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem transbordamento; (B) Inundação é o transbordamento das águas de um canal de drenagem, atingindo áreas marginais (planície de inundação ou área de várzea); (C) Alagamento é o acúmulo de água nas ruas e nos perímetros urbanos, por problemas de drenagem; e (D) Enxurrada é o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais (PROTEÇÃO DE DEFESA CÍVIL DE SÃO BERNARDO DO CAMPO).

ao escoamento em sua calha normal, resultando na inundação das áreas ribeirinhas. Os problemas resultantes da inundação dependem do grau de ocupação da várzea pela população e da frequência com a qual ocorrem as inundações. A ocupação da várzea pode se dar para habitação, recreação, uso agrícola, comercial ou industrial. As ocupações das várzeas inundáveis, sendo áreas de risco considerável, trazem como consequência prejuízos humanos e materiais de grande monta (TUCCI, 1993).

Como afirmam Wisler e Brater (1967), posto que as margens de um curso d'água variam de altura ao longo de seu curso, não há nenhum nível definido acima do qual se possa dizer que o rio está em inundação ou abaixo do qual não o está. Frequentemente, entretanto, especialmente nos rios mais importantes, uma altura arbitrária tem sido estabelecida, sendo designada como "nível de inundação".

As condições meteorológica e hidrológica propiciam a possibilidade de ocorrência de inundação. O conhecimento do comportamento meteorológico de longo prazo é muito pequeno devido ao grande número de fatores envolvidos nos fenômenos meteorológicos e à interdependência dos processos físicos a que a atmosfera terrestre está sujeita. As distribuições temporal e espacial da precipitação são as principais condições climatológicas. As mesmas somente podem ser previstas com antecedência de poucos dias ou horas, o que não permite a previsão dos níveis de enchente com antecipação muito grande (TUCCI, 1993).

Todas as inundações são originariamente devidas ao escoamento superficial. Portanto, todos os fatores que influem sobre o escoamento superficial também afetam o fluxo de enchente. Esses fatores estão naturalmente incluídos em duas classes: os que determinam a intensidade dos temporais que tem a probabilidade de ocorrer em qualquer bacia, e as características físicas da bacia que afetam e determinam a distribuição dessa precipitação. Qualquer bacia de drenagem de solo tão permeável que sua capacidade de infiltração nunca é excedida, raramente está sujeita a inundações. As inundações podem resultar de: (1) precipitação intensa; (2) fusão de neve acumulada, ou (3) fusão de neve combinado com chuva (WISLER; BRATER, 1967).

Segundo os autores, em qualquer estudo de inundação, o primeiro problema consiste em determinar os fatores que se combinam para produzi-la nessa bacia particular. Pode-se verificar que algumas inundações, resultam de cada uma das três causas acima mencionadas. Se o problema implicar na determinação da

máxima inundação a que a bacia esteve alguma vez sujeita, dever-se-á investigar a causa, ou as causas que a produzem.

Tucci (1993) afirma que as condições naturais são aquelas cuja ocorrência é propiciada pela bacia em seu estado natural. Algumas dessas condições são: relevo, tipo de precipitação, cobertura vegetal e capacidade de drenagem. As condições artificiais da bacia são aquelas provocadas pela ação do homem. Alguns exemplos são: obras hidráulicas, urbanização, desmatamento, reflorestamento e uso agrícola.

O autor também afirma que os rios normalmente drenam nas suas cabeceiras áreas com grande declividade, produzindo escoamento de alta velocidade. A variação de nível durante a enchente pode ser de vários metros em poucas horas. Quando o relevo é acidentado, as áreas mais propícias à ocupação são as planas e mais baixas, justamente aquelas que apresentam alto risco de inundação. A várzea de inundação de um rio cresce significativamente nos seus cursos médio e baixo, onde a declividade se reduz e aumenta a incidência de áreas planas.

Segundo Tucci (1993), quando a frequência das inundações é baixa, a população ganha confiança e despreza o risco, aumentando significativamente o investimento e a densidade de construções das áreas inundáveis; neste caso, geralmente a inundação assume características catastróficas. As áreas hoje desocupadas devido a inundações sofrem considerável pressão para serem reocupadas. A ocupação das áreas urbanas impróprias pode ser evitada por meio do planejamento do uso do solo das várzeas.

A diferença entre controlar este impacto antes do desenvolvimento da bacia e após a sua urbanização é tão grande que a maioria dos municípios não tem condições econômicas para controlar neste último estágio. O controle preventivo é realizado prognosticando os impactos potenciais e simulando as medidas de controle possíveis para se incorporar no planejamento urbano, minimizando os prejuízos futuros. Os custos para controlar esse processo são muito menores quando são realizados antes que o desenvolvimento ocorra, ou seja, antecipando-se as tendências de ocupação e mitigando os seus efeitos pelo planejamento urbano (TUCCI; MARQUES, 2000).

2.4 Medidas de controle da inundação

Segundo Tucci (1993), as medidas para o controle da inundação podem ser do tipo estrutural e não estrutural. As estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial, evitando os prejuízos decorrentes das enchentes, enquanto que as medidas não-estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes. O controle da inundação, obtido por um conjunto de medidas estruturais e não estruturais, permite à população ribeirinha minimizar suas perdas e manter uma convivência harmônica com o rio. As ações incluem medidas de engenharia e de cunho social, econômico e administrativo. A pesquisa para a combinação ótima dessas ações constitui o planejamento de proteção contra inundações e seus efeitos.

Como afirmam Wisler e Brater (1967), a proteção contra a inundação é proporcionada principalmente por meio de diques e muralhas construídos ao longo das margens, que são apenas proteção local à população e às propriedades, dentro ao alcance das águas da inundação. Os danos causados pelas enchentes podem ser evitados de três modos diferentes:

i. Pela construção de obras de proteção;
ii. Mediante a redução do nível da cheia, sem modificação apreciável da descarga de pique;
iii. Mediante a redução dos fluxos de cheia por meio de acumulação, modificação do uso da terra ou métodos semelhantes.

Deve-se notar que, visto que os dois primeiros métodos não reduzem a taxa de escoamento superficial, eles apenas fornecem proteção contra a inundação e não evitam a erosão do solo. A escolha, entre esses três, do método ou combinação deles que deve ser empregado para proteção contra enchentes em qualquer bacia de drenagem particular, é um problema que só pode ser resolvido depois de um estudo cuidadoso e da consideração das diversas possibilidades.

Conforme Watson e Burnett (1995), todas as medidas para controle de cheias envolvem algumas medidas que causam impactos adversos ao equilíbrio estabelecido da natureza, merecendo assim consideração cuidadosa dos compromissos que precisam ser firmados entre os benefícios do projeto para o homem e os custos ambientais envolvidos.

2.4.1 Medidas estruturais

Conforme afirma Tucci (1993), as medidas estruturais são obras de engenharia implementadas para reduzir o risco das enchentes. Essas medidas podem ser extensivas ou intensivas. As medidas extensivas são aquelas que agem na bacia, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, como a alteração da cobertura vegetal do solo, que reduz e retarda os picos de enchente e controla a erosão da bacia. As medidas intensivas são aquelas que agem no rio e podem ser de três tipos: a) as que aceleram o escoamento: construção de diques e polders, aumento da capacidade de descarga dos rios e corte de meandros; b) as que retardam o escoamento: reservatórios e as bacias de amortecimento; c) desvio do escoamento: são obras como canais e desvios da correnteza.

Segundo Garcez e Alvarez (1988), um grande número de estruturas hidráulicas tem o seu dimensionamento condicionado à predeterminação da vazão máxima provável em uma seção de um curso de água. Como exemplo, podem ser citados os extravasores de barragens, as seções de escoamento de pontes e a altura dos diques de proteção contra inundação.

Nessas estruturas, a par de considerações de ordem econômica incluídas nas análises de tipo benefício/custo, as vazões máximas prováveis constituem a principal preocupação dos engenheiros hidráulicos. Geralmente as medições são difíceis e/ou grosseiras, devido ao custo e operação dos limnígrafos. Entre outras utilidades, os métodos estatísticos possibilitam a solução de problemas de previsão de vazões em um ponto dado de um curso d'água (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Segundo Wisler e Brater (1967), nenhuma estrutura de alguma importância, num rio ou próxima dele, deve ser projetada ou construída sem que se tome a devida consideração dos danos que pode causar, ou aqueles a que pode estar submetida, por ocasião de enchente. Para evitar sua destruição, as pontes devem ter seções de vazão necessárias; os diques e muros contra inundações devem ter altura suficiente para não serem ultrapassados. A máxima cheia que qualquer dessas estruturas pode suportar é denominada cheia de projeto.

Conforme os autores, o ponto até onde é justificado chegar para fazer com que uma estrutura, ou um sistema de prevenção de inundações, seja seguro contra danos ou destruição resultantes das enchentes depende das seguintes considerações:

i. A extensão do perigo a que estarão sujeitas as vidas humanas, quando ocorrer inundação de grandeza maior;
ii. O valor das propriedades que poderiam ser destruídas, como consequência de inundações de maiores dimensões. Esta é uma consideração puramente econômica;
iii. Os inconvenientes resultantes do fracasso da estrutura, ocasionado por enchentes maiores.

Outro fator poderia ser mencionado, em relação ao projeto de qualquer sistema de proteção contra inundações: a sensação de segurança que este sistema proporcionará, considerando a especulação fundiária. São apresentadas a seguir as medidas mais relevantes no contexto deste estudo para controle das inundações.

a) Diques ou polders

Um dique é uma obra de proteção contra as inundações na qual pelo menos uma parte é construída na cota abaixo do nível do terreno natural e destinado a conter esporadicamente um fluxo d'água, a fim de proteger zonas naturalmente inundáveis. Isso quer dizer que não são considerados como diques obras como proteção de taludes (em enrocamento ou concreto) que não ultrapassam a crista da margem natural (FOLTON; MERIAUX; ROYET, 2004).

Conforme Tucci (1993), estes são muros laterais de terra ou de concreto, inclinados ou retos, construídos a certa distância das margens, e que protegem as áreas ribeirinhas contra o extravasamento. Os efeitos da redução da largura do escoamento, confinando o fluxo, são o aumento do nível de água na seção para a mesma vazão, o aumento da velocidade da erosão das margens e da seção, e a redução do tempo de viagem da onda de cheia, agravando a situação dos outros locais à jusante.

Após as barragens, os diques são provavelmente as estruturas mais usadas para controle de cheias de uma forma ampla (WATSON; BURNETT, 1995). Os diques e muros contra inundações, construídos ao longo dos rios, para proteger as propriedades marginais contra o transbordamento, elevam os níveis a montante, mediante a redução do volume de acumulação no canal, e tendem a aumentar tanto

a altura como a descarga em todos os pontos a jusante. Sua finalidade é confinar aquelas águas dentro do canal natural do rio (WISLER; BRATER, 1967).

Hidraulicamente, o dique reduz a seção de escoamento e pode provocar aumento da velocidade do curso d'água e dos níveis de inundação. Para que isso não ocorra, as condições de fluxo não se devem alterar após a construção do dique. Estas condições podem ser simuladas em condição de regime permanente para as vazões de projeto (TUCCI, 1993).

O dique permite proteção localizada para uma região ribeirinha. Devem-se evitar diques de grandes alturas, pois existe sempre o risco de rompimento para uma enchente maior do que a de projeto. O maior desafio existente na construção de um dique é a definição correta da enchente máxima provável, pois no caso de rompimento, o impacto é maior do que se o mesmo não existisse (TUCCI; 1993). Conforme Watson e Burnett (1995), uma solução parcial e cara para esses problemas seria ter um dique tão alto que não pudesse ser ultrapassado, ou construir vertedouros de concreto no sistema de diques. Neste último caso, as águas deverão ser desviadas para algum lugar, para um canal previamente planejado, uma bacia hidrográfica adjacente, ou uma área de uso não prioritário.

Conforme Watson e Burnett (1995), os diques naturais têm sido levantados em muitos rios em resposta aos fluxos de água em períodos de cheia transpassando suas margens, se espalhando, sendo submetidos à ascendente fricção e, no processo, diminuindo a velocidade do fluxo. Diminuição da velocidade, por sua vez, causa sedimentação (águas em baixas velocidades não podem carregar muito material em suspensão). O resultado são margens de rios que tendem a aumentar ligeiramente em altura em cada episódio de cheia que exceda o limiar de suas margens. Os diques artificiais, por outro lado, englobam algumas formas de diques construídos pelo homem nas margens do rio, ou nos diques naturais, para conter o episódio de cheia dentro do curso d'água.

Os diques são normalmente construídos em terra com enrocamento de pedra ou/e de concreto, dependendo das condições locais. Quando o colapso pode produzir danos humanos, o risco deve ser menor e a obra complementada por um sistema de previsão e alerta em tempo real. Tanto em bacias rurais quanto nas urbanas, pode ser necessário o bombeamento das áreas laterais contribuintes ao dique; no caso das chuvas sobre estas bacias laterais ficam represadas pela maior

cota do rio principal ou acumuladas no seu interior, senão existirem drenos com comportas.

Segundo Wisler e Brater (1967), cada ponte e barragem construída normalmente no rio, cada edifício ou outra estrutura levantada em suas margens ou nas planícies inundáveis, constituem-se em uma intrusão no curso d'água, que tende a elevar o nível da água em todos os pontos a montante. Em centros populosos, em que essas intrusões são numerosas, a soma de todas as elevações resultantes pode tornar-se, frequentemente, surpreendentemente elevada.

Conforme os autores, em bacias que estão sendo rapidamente urbanizadas, os fluxos de enchente vão crescendo, indubitavelmente. Cada nova casa construída, com as suas áreas pavimentadas, entradas e passeios, reduz a capacidade de infiltração das áreas residenciais quase a zero. Os esgotos de águas pluviais recolhem-nas e as conduzem aos canais dos rios, do que resulta possível acréscimo dos fluxos de pique.

Se bem que esse método proporcione, muitas vezes, proteção satisfatória contra as inundações ordinárias, ele acarreta um perigo sério. Graças à presença de um dique ou muralha de proteção, os donos das propriedades adjacentes adquirem uma nova sensação de segurança contra as enchentes e, em consequência, constroem novos lares em níveis muito baixos, nos quais não ousariam fazer anteriormente. Um dique protege somente quando não é ultrapassado, depois disso, torna-se completamente inútil. Em consequência, quando uma cheia excepcional ocorre e transborda dos diques, a devastação resultante e as perdas de vida são, provavelmente, maiores do que se nada tivesse sido construído (WISLER; BRATER, 1967).

b) Modificações do rio

As modificações na morfologia do rio visam aumentar a vazão para um mesmo nível, reduzindo a sua frequência de ocorrência. Isto pode ser obtido pelo aumento da seção transversal ou pelo aumento da velocidade. Para aumentar a velocidade é necessário reduzir a rugosidade, tirando obstruções do escoamento, dragando o rio, aumentando a declividade pelo corte de meandros ou pelo aprofundamento do rio. Essas medidas, em geral, apresentam custos elevados (TUCCI, 1993).

Conforme o autor, para a seção de um rio que escoa uma vazão Q, a cota resultante depende da área da seção, da rugosidade, do raio hidráulico e da declividade. Para reduzir a cota relativa a uma vazão máxima, pode-se atuar sobre as variáveis mencionadas. Para que a modificação seja efetiva, é necessário modificar estas condições para o trecho que atua hidraulicamente sobre a área de interesse. Aprofundando o canal, a linha de água é rebaixada, evitando inundação, mas as obras poderão envolver um trecho muito extenso para ser efetivas, o que aumenta seu custo. A ampliação da seção molhada produz redução da declividade da linha de água e redução dos níveis para montante. Estas obras devem ser examinadas quanto à alteração que podem provocar na energia do rio e na estabilidade do leito. Os trechos de montante e jusante das obras podem sofrer sedimentação ou erosão, de acordo com a alteração produzida.

c) Controle da erosão do solo: o aumento da erosão implica na redução da área de escoamento dos rios, e consequente, aumento dos níveis d'água. O controle da erosão do solo pode ser realizado pelo reflorestamento, por pequenos reservatórios, pela estabilização das margens e por práticas agrícolas corretas (TUCCI, 1993).

2.4.2 Medidas não estruturais

As medidas estruturais não são projetadas para dar proteção completa; isto exigiria a proteção contra a maior enchente possível. Esta proteção é fisicamente e economicamente inviável na maioria das situações. A medida estrutural pode criar a falsa sensação de segurança, permitindo a ampliação da ocupação das áreas inundáveis, que futuramente podem resultar em danos significativos. As medidas não estruturais, em conjunto com as anteriores ou sem essas, podem minimizar significativamente os prejuízos com um custo menor. O custo de proteção de uma área por medidas estruturais, em geral, é superior ao de medidas não estruturais. São exemplos destas medidas: regulamentação do uso da terra ou zoneamento de áreas inundáveis, construções à prova de enchentes, seguro de enchente, previsão e alerta contra a enchente (TUCCI, 1993).

2.5 Modelagem hidrológica

Um *modelo* é a representação de algum objeto ou sistema, que tem por objetivo de entendê-lo e buscar respostas para diferentes entradas. O desenvolvimento de um grande número de modelos hidrológicos, com diferentes prioridades de representação dos processos e dos objetivos a serem alcançados, foi motivado pela heterogeneidade física da bacia hidrográfica e dos processos envolvidos. A quantidade e a qualidade dos dados hidrológicos, a dificuldade de formular matematicamente alguns processos, e a simplificação do comportamento espacial de variáveis e fenômenos são as limitações básicas dos modelos hidrológicos (TUCCI, 2005).

Existem diversas propostas de classificação dos modelos hidrológicos, que às vezes se sobrepõem. O utilizado neste estudo, o HEC-RAS, é considerado como um *modelo com embasamento físico*, ou seja, reproduz todos os processos físicos por meio de equações matemáticas, sendo que a dificuldade consiste na obtenção de todos os parâmetros necessários para “alimentar” o modelo.

A escolha do melhor modelo deve ser baseada no objetivo do estudo, na disponibilidade de dados de entrada e nas dimensões da bacia.

As vantagens relacionadas à utilização de modelos hidrológicos são: baixo custo; velocidade de simulação; informação completa; criação de cenários diversificados; e proposição de cenários ideais (PESSOA et al., 1997). A possibilidade de criação de cenários, isto é, a simulação de condições diversas, é uma vantagem bastante utilizada. Por meio dela, é possível investigar cenários alternativos, muitos deles ainda não explorados em experimentos reais.

O *HEC-RAS* foi desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA. Tem como objetivo realizar a modelação hidráulica unidimensional para uma rede de rios ou canais, podendo ser utilizado para escoamento permanente, escoamento não permanente, modelação de transporte de sedimentos e análises de qualidade da água (USACE, 2010).

A modelagem do escoamento permanente tem a função de calcular a lâmina d’água nos canais ("perfil do rio"), considerando fluxo uniforme, gradualmente variado ou bruscamente variado, para regimes de escoamento supercrítico e subcrítico. As perdas de energia são calculadas pela equação de Manning e pela utilização de coeficientes de contração e expansão. Contudo, em situações onde a

variação do nível d’água ocorre rapidamente, o modelo utiliza a equação da quantidade de movimento para a simulação da lâmina d'água. O programa também considera o efeito de pontes, bueiros e barragens no escoamento (USACE, 2010).

Os principais dados de entrada para esse software são a geometria de cada seção considerada no canal, a vazão utilizada para a modelagem (valores fixos para o escoamento permanente e hidrogramas para o não permanente), condições de contorno e valores do coeficiente de rugosidade **n** de Manning para a calha e para a planície de inundação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo está dividido em duas fases. A **fase 1** corresponde à etapa de diagnóstico da situação atual da bacia, que inclui:

I. Uma síntese das informações levantadas sobre a descrição geral da bacia hidrográfica, da rede de drenagem e da área de estudo; o histórico das cheias e a análise e síntese dos dados existentes; e

II. Um diagnóstico dos diques e obras associadas (pequenas barragens e proteção de taludes) na área de estudo, com a definição de setores, a apresentação das características dos diques e um diagnóstico elaborado a partir da inspeção visual dos diques e das obras associadas.

A **fase 2** trata das sugestões dos trabalhos a serem realizados, ou seja, dos princípios gerais e da descrição das obras, de sua validação hidráulica e de seu custo estimado.

O Anexo 5 detalha a metodologia aplicada para realização do diagnóstico dos diques e obras associadas, que foi baseado no Guia prático para uso por proprietários e gestores, do Irstea/ Cemagref, denominada inspeção visual de diques. Foram feitas fichas detalhadas de cada seção do setor de estudo (T1, T2 e T3), visando identificar os problemas existentes e descrever o estado dos diques.

Nos levantamentos de campo, foi utilizado medidor de distância a laser e fita métrica. Os pontos de interesse no setor de estudo tiveram sua localização geográfica levantada por meio de aparelho GPS. Utilizou-se o aplicativo ArcGIS® para delimitação da bacia hidrográfica e elaboração dos mapas, dentre outras análises, com base no levantamento topográfico efetuado anteriormente.

A modelagem hidráulica foi realizada em regime permanente, usando o software HEC-RAS, sendo que a lâmina d’água nos canais considerou um fluxo gradualmente variado.

Os cálculos foram realizados para uma vazão com período de retorno de 100 anos (42 m3. s-1). O coeficiente de rugosidade de Strickler-Manning de 0,025 m1/3.s-1 foi escolhido para toda a extensão do linear do canal, exceto nos trechos no qual havia proteção dos taludes, onde um valor de 0,040 m1/3.s-1 foi adotado.

Somente o leito menor do rio foi modelado. Isso induz, no caso de transbordamento, alturas de lâmina d’água com cotas superiores às reais (a lâmina

d'água não é considerada capaz de chegar à planície de inundação ou leito maior). Além disso, o modelo é conservador: mesmo em caso de transbordamento, todo o fluxo hidráulico é reinjetado de volta para a seção seguinte à jusante.

A vazão de projeto foi estimada no estudo GEO + de 2007, utilizando a fórmula Crupedix (Ctgref et al., 1980-1982):

$$\mathrm{Q}\,(10) \;=\; \mathrm{S}^{0,8}\left(\frac{PJ\,(10)}{80}\right)R$$

Onde PJ (10) é a chuva diária decenal em mm e S é a superfície da bacia hidrográfica (em km²). O parâmetro R varia na France no intervalo de 0,1; 1,75. Para o departamento de Isère o parâmetro R equivale a 0,67.

Os autores, após a análise das diferenças obtidas mediante a comparação entre valores de Crupedix e as quantidades estimadas em estação, dando um intervalo de confiança sob a cheia com período de retorno de dez anos. Assim, a probabilidade que o real valor da vazão com período de retorno de dez anos se situa no intervalor $\left[\frac{Q}{2}; 2Q\right]$ é de ordem de 90%. Ele se aproxima de 70% para o intervalo $\left[\frac{2Q}{3}; \frac{3Q}{2}\right]$ (LANG; LAVABRE, 2007).

3.1 Fase 1: diagnóstico do estado atual

O objetivo desta parte é o de fornecer uma descrição geral da bacia hidrográfica, de sua morfologia, do contexto geológico, das fontes de produção de sedimentos e de sua rede hidrográfica. Inclui também a descrição do setor de estudo e a análise e síntese dos estudos existentes.

3.1.1 Situação geográfica

A área de estudo é localizada no setor de Champ Charrier, sob o rio Lavanchon, sendo delimitada ao sul pela ponte Meinget e ao norte pela ponte Brigaudière, no território do município de St. Paul de Varces, na França (Figura 2), na região sudeste da conurbação urbana de Grenoble.

http://www.CartesFrance.fr
GRENOBLE
la Tronche
Domène
Sassenage
Seyssins
St-Martin-d'Hères
Échirolles
Claix
Vizille
Vif
St-Paul-de-Varces
Villard de Lans
PARC NATUREL
RÉGIONAL
Autrans
Cognin-les-Gorges
Malleval-en-Vercors
Méaudre
Rencurel
St-Julien-en-Vercors
St-Martin-en-Vercors
Corrençon-en-Vercors
Château-Bernard
Lans-en-Vercors
Champagnier
Varces-Allières-et-Risset
Champ-sur-Drac
Notre-Dame-de-Mésage
St-Pierre-de-Mésage
St-Barthélemy-de-Séchilienne
St-Georges-de-Commiers
Laffrey
Notre-Dame-de-Commiers
St-Theoffrey
Notre-Dame-de-Vaulx
St-Martin-de-la-Cluze
Villard-St-Christophe
Lavaldens
la Morte (le Couvent)
Livet-et-Gavet (Rioupéroux)
Chamrousse
Vaulnaveys-le-Haut
Brie-et-Angonnes
Vaulnaveys-le-Bas
Poisat
Herbeys
Murianette
St-Martin-d'Uriage
Revel
Gières
Meylan
Seyssinet-Pariset
Fontaine
Engins
St-Nizier-du-Moucherotte
Rovon
St-Gervais
Le Gua
Cholonge
Montevnard
Montmélian
Grand Armet
Grand L. de Laffrey
L. de Pétichet
L. Mort
Montagne de Vercors
Vercors de Lans
Gorges de la Bourne
Gorges du Méaudre
Gorges de Valchevrière
Gorges du Nan
Gorges du Furon
Gorges de la Romeyère
Gorges de Crossey
Gorges du Bréchu
Gorges de Comboire
Gorges de Gève
Gorges du Fournel
Gorges de la Sure
Gorges de la Bourne
Gorges de Presles
Gorges de la Drevenne
Gorges de la Luette
Gorges de la Balme
Gorges de Gavet
Gorges de Malleval
Gorges de Vaugnaudre
Gorges de la Bouille
Gorges du Bréchu
Gorges de Comboire
Gorges de Crossey
Gorges du Fournel
Gorges de Gève
Gorges du Nan
Gorges du Furon
Gorges de Gavet
Gorges de Malleval
Gorges de Vaugnaudre
Gorges de la Bouille
Gorges de la Sure
Gorges de la Bourne
Gorges de Presles
Gorges de la Drevenne
Gorges de la Luette
Gorges de la Balme

3.1.2 Perímetro do estudo

O perímetro de estudo se limita ao setor Champ Charrier do município de St. Paul-de-Varces, no trecho entre a ponte Meinget e a ponte Brigaudière, conforme se pode observar na Figura 3.

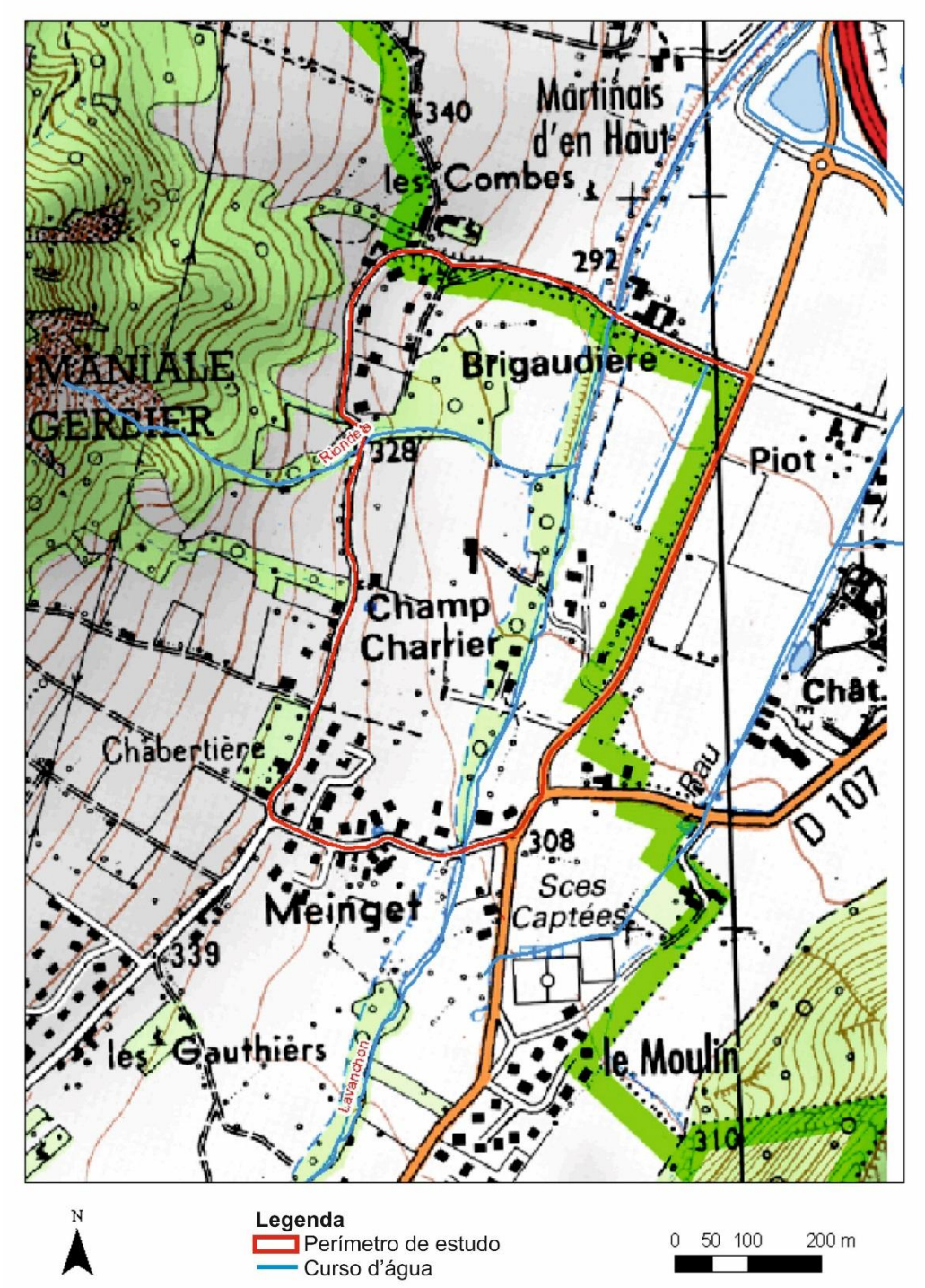


Figura 3 - Perímetro de estudo localizado no setor de Champ Charrier, do município francês de St. Paul de Varces.

Fonte: Service RTM 38, elaboração própria.

3.1.3 Informações sobre a bacia hidrográfica

a) Características gerais

A bacia hidrográfica do rio Lavanchon abrange uma área total de 51 km^2 até a confluência com o rio Drac e 21 km^2 até a ponte Brigaudière. A bacia está assentada sobre três formações geológicas distintas: limitada pelo **maciço do Vercors** a oeste, pelas cadeias da **montanha do Uriol** e pelos **rochedos Rochefort** a leste, e pelo ***Col***[3] **de l'Eperrimont** ao sul, conforme é ilustrado na Figura 4 (GEO+, 2007). As principais características físicas da bacia hidrográfica são apresentadas na Tabela 1.

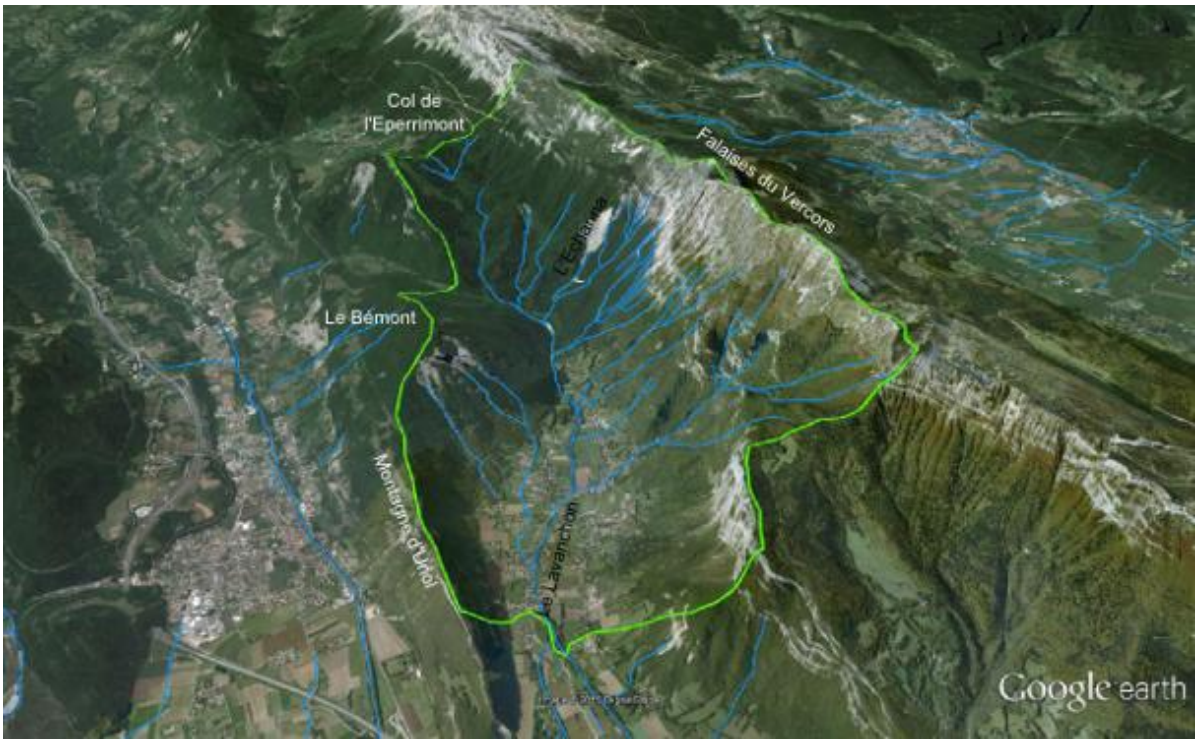


Figura 4 - Vista estereoscópica da bacia hidrográfica do rio Lavanchon.
Fonte: Google Earth, elaboração própria.

[3] Topograficamente e topologicamente, o ***col*** é uma estrutura em "sela de cavalo" formada em terrenos de montanha pela intersecção entre o pico/cume de uma montanha e dois talvegues, ou seja, a depressão de um relevo entre dois espaços elevados, frequentemente utilizado para passar de uma bacia hidrográfica a outra (LAROUSSE).

Tabela 1 - Principais características físico-morfológicas da bacia hidrográfica do rio Lavanchon

Área	51 km^2
Altitude máxima	2049 m (Roc Cornafion)
Altitude mínima	235 m (confluência com o rio Drac)
Comprimento do talvegue principal	13,5 km
Declividade média do talvegue principal	8,7 %
Coeficiente de Gravelius	1,4

Fonte: Alp'Géorisques (1993).

A bacia hidrográfica do rio Lavanchon está contida no território de três municípios, St. Paul-de-Varces, Claix e parte de Varces- Allière-et-Risset. Quanto a St. Paul-de-Varces, o aumento da ocupação do território para fins residenciais e industriais começou por volta dos anos 70 e 80, seguido nas próximas décadas pela ocupação de áreas mais periféricas, por habitações, indústrias de alta-tecnologia e estradas. Assim, sua população aumentou de 460 habitantes em 1968 para 1.845 em 1999 (ASTRADE, L. et al; 2007). Em 2012, o município já possuía 2 216 habitantes (INSEE, 2012).

Segundo Astrade et al (2007), é notável que as zonas agrícolas presentes nos anos 50 foram substituídas por áreas urbanas, apresentado uma diminuição de 7,9 km^2 para 4,5 km^2 de 1956 para 2001.

b) Geomorfologia da bacia hidrográfica[4]

De maneira geral, a bacia hidrográfica do Lavanchon é formada por três componentes geomorfológicos distintos (Figura 4).

Os **contrafortes do Vercors** (a oeste da bacia) apresentam declividades fortes (de 60 à 75%) e fenômenos erosivos intensos. Eles são compostos de falésias

[4] Todo este item foi adaptado dos estudos originais em francês: ALP'GEORISQUES, 1993; CIDEE, 2007 e GEO+, 2007.

dominadas por uma forma de relevo denominada glacis[5] de sedimentação, mais ou menos ampla, que se prolonga por uma encosta arborizada, pontilhada por afloramentos calcários e marmo-calcários. Esta encosta é muito bem drenada: muitos tributários ativos juntam-se à corrente principal do rio. O mais importante deles, no aporte de sedimentos, é o afluente Echarina (ou Echarine).

O **Bémont** e a montanha **Uriol**, a leste da bacia, apresentam encostas arborizadas e declividades muito íngremes (de até 75%). Eles têm uma contribuição para com a vazão e para com o aporte de sedimentos reduzidos, com exceção da face norte do Bémont, devido ao fato dos rios Lampe e Brise Tourte não estarem conectados ao Lavanchon. A ausência de afluentes na margem direita do Lavanchon sugere que exista uma infiltração muito importante de água de sub-superfície, da montanha Bémont e dos rochedos Eperrimont.

A **planície aluvial** que se estende dos Mallets (500 m) à ponte Rouge (250 m) por quase um quilômetro de largura, apresenta declividades superiores a 4% em St. Paul-de-Varces e escoamento superficial possivelmente forte, em virtude de estar predominantemente ocupada por pradarias, culturas e áreas urbanizadas. Esta planície foi invadida pelos aluviões fluviais recentes (planície do Drac entre Varces e Jarrie).

É importante destacar que uma barragem de contenção de sedimentos foi realizada em 1999 à montante da ponte Batou e à jusante da confluência do rio em estudo com o rio Echarina. Existem três barragens à jusante desta obra que estabilizam o leito do rio e regulam os aportes dos sólidos provenientes das cabeceiras do rio.

c) Estrutura da rede hidrográfica

O rio Lavanchon tem um leito principal bem definido que nasce sob o **Col de l'Eperrimont** e desemboca no rio Drac, ao norte do setor de estudo, na altura do município de Claix. Ele é alimentado de forma assimétrica por muitos afluentes cujas nascentes estão localizadas nas falésias do maciço do Vercors. As contribuições

[5] Um *glacis* é uma forma de relevo não estrutural que consiste uma superfície plana e pouco inclinada.

sobre o flanco oriental da bacia, por sua vez, é muito mais difusa. Os rios Brise Tourte e Lampe não são conectados diretamente ao leito do Lavanchon (Figura 5).

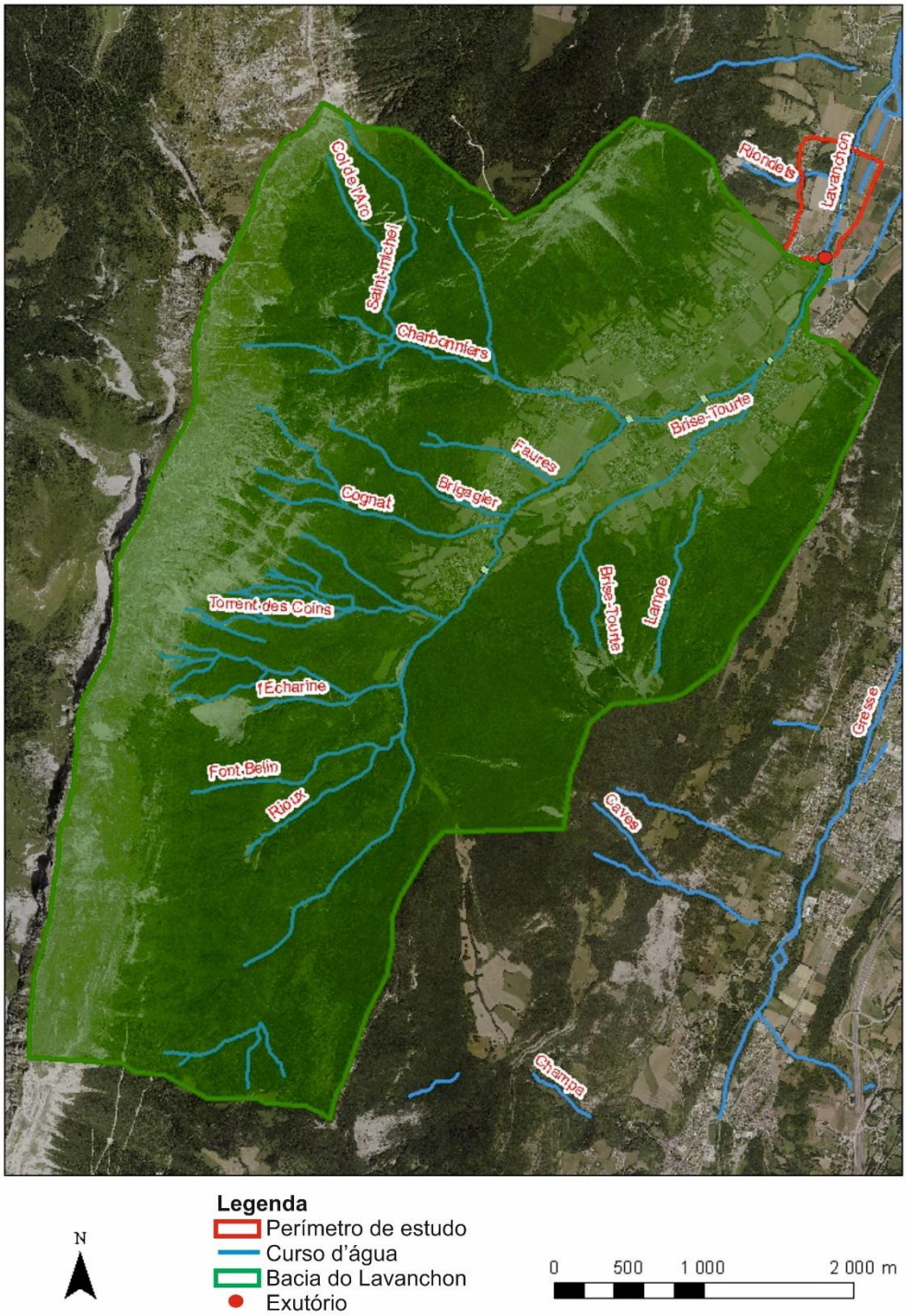


Figura 5 - Vista superior da bacia hidrográfica do rio Lavanchon.

Fonte: Service RTM 38, elaboração própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo desta parte é fornecer uma análise do perfil longitudinal geral do rio Lavanchon e do setor de estudo, das fontes de produção de sedimentos, do histórico das cheias e da evolução da ocupação do solo.

Além disso, são apresentados as vazões de projeto, a chuva de referência, o diagnóstico dos diques e das obras associadas, além do diagnóstico hidráulico do setor de estudo. A segunda fase deste estudo apresenta as propostas de melhorias, a solução escolhida e sua validação hidráulica.

4.1 Perfil longitudinal

O perfil longitudinal geral do Lavanchon, da confluência com Drac até a confluência com o Echarina, é apresentado na Figura 6. Perfis mais detalhados por setor (a partir do estudo GEO +) são apresentados no Anexo 1.

Destacam-se na apresentação do gráfico os seguintes pontos:

i. Na parte à montante (entre a ponte de Batou e a ponte Maubourg), o leito não é aluvial e a declividade não é representativa da carga de sedimentos provenientes de montante. Nesta área, onde o leito é revestido por grandes blocos, a declividade é globalmente suficiente (exceto contribuições excepcionais de montante) para assegurar o transporte da carga sólida.

ii. Entre a ponte Batou e a ponte de Maubourg, a diminuição da declividade se acentua, o que sugere a presença de depósitos significativos durante inundações intensas, sob a limitação dos aportes de montante (devido à existência da barragem de contenção de sedimentos). As alturas dos depósitos são acentuadas devido ao leito do rio ser estreito e à inexistência de uma zona de regulação do transporte de sedimentos vindos de montante. Neste setor, foram observados antigos depósitos oriundos de cheias, sob a forma de terraços vegetados, à aproximadamente 1 metro acima do leito do rio, como se pode observar na Figura 9.

iii. À jusante da ponte Maubourg, o leito é claramente aluvial (ou seja, é representativo dos aportes sedimentares provenientes de montante) e

os blocos no fundo do leito são pouco presentes. A declividade local, isto é, aquela que é medida à montante de cada pequena barragem, se ajusta em função do fornecimento de sedimentos. Ele se ajusta no nível da zona de estudo entre 1,7 e 2%. Na ausência de um aporte sedimentar significativo nos últimos anos e sob o efeito combinado da retenção de materiais pela barragem de contenção de sedimentos, a declividade local (de equilíbrio) é menor do que a declividade média dos subsetores. A tendência é, portanto, (fora dos períodos de cheias) para a incisão do leito do rio e erosão de seus taludes; fato que explica a presença de várias pequenas barragens (27 no trecho a montante da área de estudo e a jusante da ponte Maubourg).

iv. Em caso de grandes inundações que mobilizam uma grande quantidade de materiais[6], a declividade local é susceptível de aumentar drasticamente. Alterações na declividade são ainda mais fortes quanto mais estreita é a largura do leito, tornando negligenciável as capacidades de regulação de transporte sólido do curso d'água.

[6] Assim, existe a hipótese de sobrecarga da capacidade de armazenamento da barragem de contenção de sedimentos, ou seja, da remobilização de um grande estoque de material entre esta e ponte de Batou.

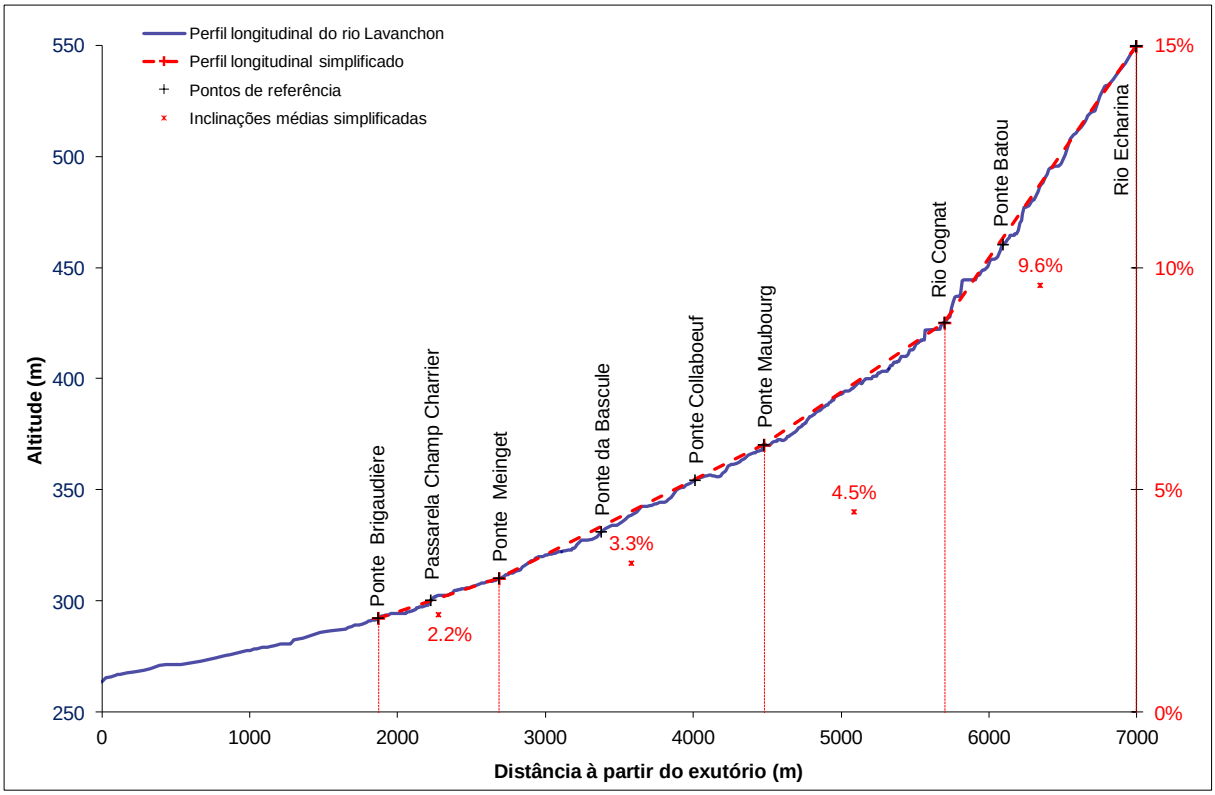


Figura 6 - Perfil longitudinal geral do rio Lavanchon

Fonte: Service RTM 38, elaboração própria.

4.1.1 Análise do perfil longitudinal do setor de estudo

O perfil longitudinal da área de estudo é apresentado na Figura 7 e no Anexo 1. As principais conclusões da análise do perfil são as seguintes:

i. Na ausência de grande aporte sedimentar, a tendência é a incisão. A declividade local, medida à montante das pequenas barragens de controle de nível, situa-se entre 1,7 e 2%; estes valores são inferiores ao percentual médio de 2,3%. Assim, o leito é fixado pelas barragens.

ii. Em caso de inundação severa com remobilização de uma quantidade significativa de material, a tendência é para o depósito, com um ajustamento importante da declividade local do fundo.

iii. A totalidade do setor de estudo apresenta diques marginais constituídos pelos aluviões do leito do rio. Trata-se de vestígios que ilustram a tendência para o depósito durante inundações severas, efetuados com o objetivo de preservar as terras agrícolas. Nota-se que a cota do leito fica acima do terreno natural após a passarela Champ Charrier. Qualquer

remoção de diques a jusante desta obra de travessia não é possível, portanto, com o traçado atual retilíneo.

iv. Caso os aluviões do leito não tivessem sido depostos nas margens do Lavanchon (formando os diques), este divagaria sob a planície com um traçado mais sinuoso, para se ajustar a uma inclinação local menos elevada.

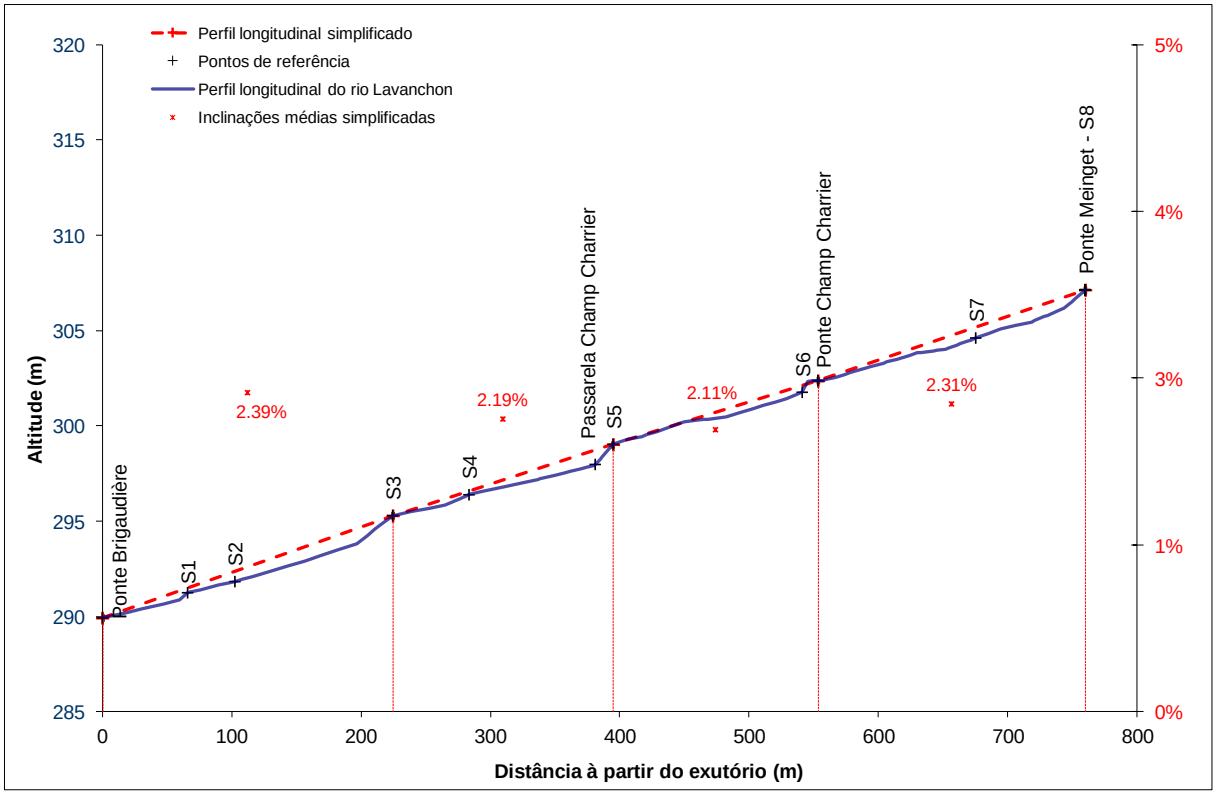


Figura 7 - Perfil longitudinal detalhado entre a ponte Meinget e a ponte Brigaudière

Fonte: Service RTM 38, elaboração própria.

4.2 Fontes de produção de sedimentos

Pode-se notar que nas cabeceiras da bacia do Lavanchon, sob os contrafortes do Vercors, os aportes de sedimentos são importantes. Eles se devem aos processos regulares de desagregação da rocha (em particular por gelifracção), mas também por fenômenos menos comuns, porém muito mais intensos, de deslizamentos de terras/ desmoronamentos. Os principais tributários do Lavanchon são, em ordem de importância: o rio Echarina, o rio de Coins e o rio Cognat.

Os aportes do rio do Charbonniers podem ser considerados como negligenciáveis em comparação com as entradas à montante. À jusante da ponte

Maubourg, os tributários do Lavanchon não contribuem mais com o aporte de sedimentos, notadamente devido ao fato deste possuir diques marginais.

Em caso grande carga sedimentar na parte superior da bacia Lavanchon, e notadamente na sub-bacia do Echarina, os aportes sólidos são retidos pela barragem de contenção de sedimentos. Até o presente momento, não foram efetuados estudos para quantificar o aporte sedimentar deste rio. Em uma abordagem inicial, a barragem de contenção de sedimentos, com uma capacidade de 14.000 m^3, parece ser capaz de interceptar os aportes mais comuns (período de retorno ≤100 anos).

4.3 Histórico de cheias

A Tabela 2 mostra o histórico das cheias identificadas no rio do Lavanchon. A chuva de referência é a de **09/02/1955**, durante a qual foram observadas rupturas de diques. A última grande inundação do Lavanchon ocorreu em 1968 sob St. Paul-de-Varces. Desde a reestruturação parcial do perfil longitudinal do Lavanchon (em 1977), nenhum transbordamento foi observado, o que pode explicar um relativo esquecimento das inundações já ocorridas por parte da população e a consequente urbanização nas últimas três décadas.

Tabela 2 - Histórico de cheias do rio Lavanchon

(continua)

Fonte	Data	Descrição
[3]	1931	Grande inundação, ponte parcialmente demolida por uma súbita inundação, reconstrução necessária.
[1], [2]	11/07/1951	Aportes oriundos do rio dos Coins geram uma grande inundação súbita do rio Lavanchon e transbordamento no nível de Brigaudière e em Martinais-d'en-Haut.
[1], [2]	10/12/1953	Várias pequenas barragens são danificadas à jusante de St Paul-de-Varces e os terrenos ribeirinhos são inundados entre Allières-Risset et le Drac.

Tabela 3 - Histórico de cheias do rio Lavanchon

(conclusão)

Fonte	Data	Descrição
[1],[2],[3]	09/02/1955	Lavanchon: rupturas de diques à jusante de St Paul-de-Varces (Martinais d'en Haut e Martinais d'en Bas); campos danificados pelo grande aporte de sedimentos (cerca de dez mil m^3 de material na planície de Risset); ponte do Meinget foi levada pela enxurrada. Charbonniers: inundação muito forte e súbita, carregada de sedimentos do braço do Rueffat, após destruição de um reservatório de água, à montante de uma obstrução no curso d'água. Houve transbordamento sobre a maioria das pontes, sendo algumas evacuadas como medida de precaução; várias propriedades e casas da vila foram inundadas.
[1]	Natal 1968	Última inundação particularmente significativa do Lavanchon em St Paul-de-Varces, consequente de um período chuvoso de mais de uma semana. O rio não transbordou, mas foi necessária uma intervenção na maioria das pontes móveis ainda presentes na época, a partir de Brigaudière, antes que estas fossem levadas pela enxurrada.
[1]	Dezembro 1992	Forte cheia causada por chuvas abundantes. Os diques foram danificados, mas nenhum transbordamento ocorreu. De acordo com os testemunhos recolhidos, essa inundação foi comparável a do mês de fevereiro 1955.
[1]	Novembro 2002	Forte cheia depois de um longo período de chuvas, que gerou prejuízos significativos para as obras de estabilização do perfil longitudinal nos limites de St Paul-de-Varces.

Fontes: [1] Estudo Geo + 2007 / [2] Alp'Georisque 1993 / [3] Office National des Forêts. Ficha de registro de eventos.

4.4 Análise temporal

A análise temporal apresentada a seguir mostra a importância do setor a montante do Lavanchon para a regulação dos aportes de sedimentos e para o déficit de materiais, como consequência da construção da barragem de contenção de sedimentos. A série de três imagens (1946, 1956 e 2013) está focada na área entre o rio Cognat e a ponte de Collaboeuf (Figura 8).

Em **1946**, pode-se notar que a banda ativa do Lavanchon é relativamente ampla e que os bancos aluviais foram parcialmente vegetados. O uso da terra, em geral, se manteve agrícola.

Na sequência de vários eventos, entre 1951 e a **forte inundação de 1955**, a banda ativa do Lavanchon expandiu-se consideravelmente, por causa do fornecimento de sedimentos vindos de montante (notavelmente do Echarina). Os bancos aluviais são menos vegetados, em comparação a 1946.

A imagem de **2013** mostra uma vegetação massiva e a retração da banda ativa depois de um período de 45 anos sem eventos extraordinários (última cheia em 1968). O uso do solo mudou, e as parcelas ocupadas por antigos campos agrícolas foram urbanizadas.

É importante notar que, após a implantação da barragem de contenção de sedimentos em 1999, o aporte de sedimentos foi reduzido, o que deu origem a um déficit de material à jusante. Entre o rio Faures e o rio Charbonniers, os antigos depósitos foram vegetados e é possível discernir dois níveis de terraços que representam o antigo leito médio na época da inundação de 1955 (Figura 9).

Desta forma, pode-se concluir que o trecho entre o rio Brigagier e o rio Charbonniers funciona como uma zona de regulação do aporte de sedimentos, com base em fotos de 1946 e de 1956, que mostram que antes da existência da barragem de contenção de sedimentos a banda ativa foi expandida em consequência das fortes cheias.

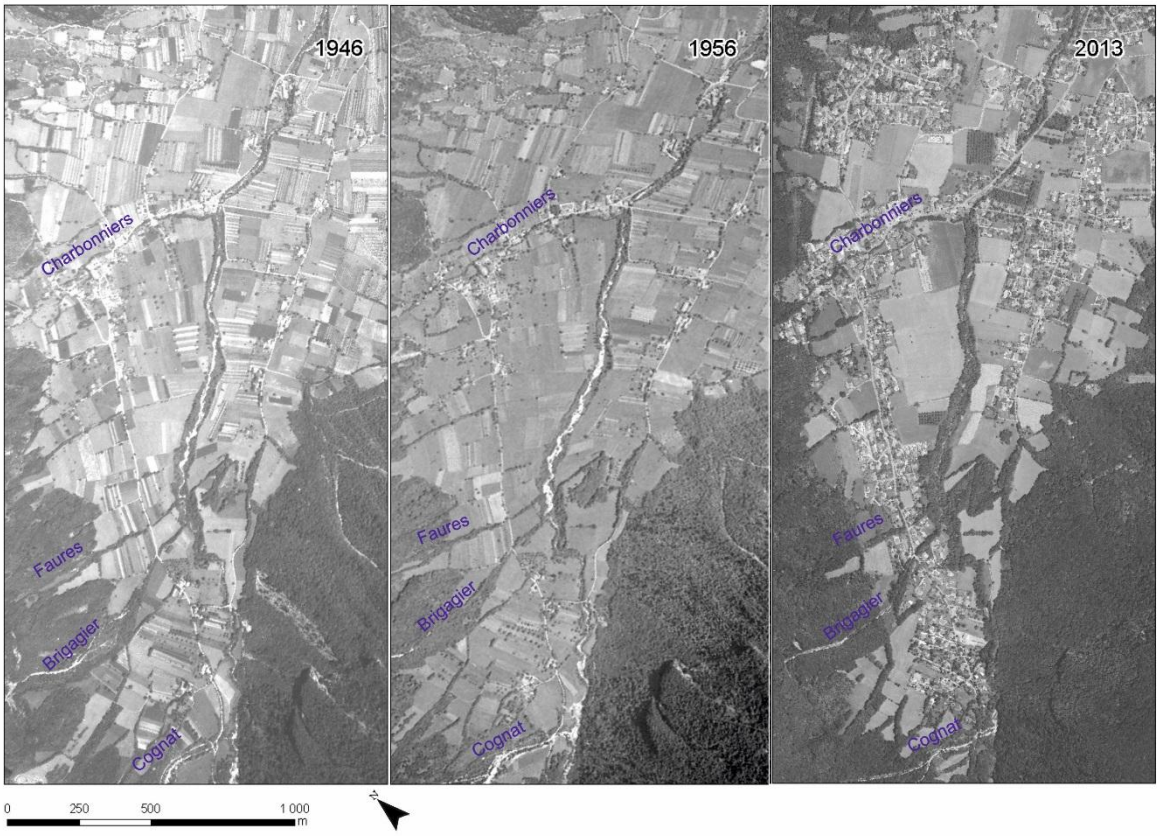


Figura 8 - Análise fotográfica temporal comparativa do cone de dejeção do rio em estudo.

Fonte: Géoportail.fr, elaboração própria.

Figura 9 Terraços vegetados no nível dos meandros, à montante do rio Faures.

Fonte: próprio autor.

4.5 Vazões de projeto

As vazões máximas para a bacia hidrográfica do rio Lavanchon foram obtidas a partir do estudo Geo + (2007) no nível de sua foz, localizada na saída da cidade de St. Paul de Varces. Elas são apresentadas na Tabela 4; para o presente estudo, serão enfocadas as vazões calculadas no nível da ponte de Brigaudière.

No contexto de uma bacia hidrográfica, quando a série de dados de chuva não está disponível (não monitorada), as estimativas das vazões máximas estão sujeitas a grandes incertezas. A vazão de dez anos avaliada pelo estudo Geo + corresponde à estimativa feita usando o método estatístico CRUPEDIX. A fórmula de cálculo, obtida por regressão linear, tende a representar o comportamento médio das bacias hidrográficas que integram o processo de calibração. O intervalo de confiança, de 70% da vazão estimada, está compreendido entre Q/2 e 2Q.

A bacia hidrográfica do Lavanchon tem uma dinâmica complexa. O funcionamento hidrológico é influenciado pela parte calcária do maciço do Vercors (sujeito à possíveis ressurgências). Para períodos de retorno elevados, a bacia hidrográfica hidrogeológica apresenta, provavelmente, uma superfície maior que a bacia hidrográfica topográfica. Por outro lado, a encosta a leste da bacia hidrográfica é muito mal drenada, de forma que o rio Lavanchon é desconectado das contribuições desta encosta em sua parte inferior (após a confluência com o rio Charbonniers).

Dadas às características geomorfológicas da bacia hidrográfica, a vazão com período de retorno de cem anos é de 42 $m^3.\ s^{-1}$, apresentada no presente estudo, mostra-se conservadora.

Tabela 4 - Vazões máximas calculadas pelo presente estudo em função do período de retorno.

Local	Área de contribuição (km^2)	Vazões máximas ($m^3.s^{-1}$)					
		Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}
Brigaudière	**20,7**	**5,0**	**14,0**	**20**	**27,7**	**36**	**42**
Maubourg	16,0	4,0	11,8	17	23	30	36

Fonte: Géo + (2007)

4.6 Síntese: definição da chuva de referência

Em resumo, foram efetuadas as seguintes considerações:

i. Foi considerada uma vazão máxima com período de retorno de cem anos calculada no estudo GEO +, sendo esta 42 m^3/s. Em função das características geomorfológicas da bacia, e considerando o histórico de cheia e a capacidade hidráulica das pontes (ver item 4.7.3.c), o valor assumido para a vazão máxima é conservador, ou seja, tende a superestimar a vazão em relação aos valores reais.

ii. A bacia hidrográfica do Lavanchon tem uma barragem de contenção de sedimentos com uma capacidade de 14.000 m^3. Aparentemente, possui capacidade suficiente para reter o aporte de sedimentos de tributários situados à montante (principalmente do rio Echarina). No entanto, ainda há incertezas sobre a importância dos aportes oriundos dos tributários situados à jusante (o rio de Coins e o rio Cognat principalmente) e sobre a possível remobilização dos estoques sedimentares do leito do rio Lavanchon à jusante da barragem de contenção de sedimentos.

Para o restante do estudo, portanto, optou-se por estudar dois cenários de cheias de projeto:

Cenário 1: Cheia com pouco aporte sólido

i. Probabilidade: de média a forte (por “expertise” no assunto);

ii. Vazão líquida: 42 m^3/s;

iii. Declividade de equilíbrio considerada ao longo do setor de estudo: 1,9%, sendo esta a declividade de equilíbrio atual (medida à montante de cada barragem de regularização de nível feita no curso do rio);

iv. Dimensionamento de novas seções hidráulicas: carga cinética[7] (altura do espelho d’água + altura corresponde à sua energia cinética = $v^2/2g$).

[7] Representa a elevação necessária para que um fluído atinja a velocidade V durante a queda livre sem atrito (ÇENGEL; CIMBALA, 2015). Neste caso, é considerada a carga cinética por considerar a altura máxima que uma gota d’água poderá atingir no caso de algum impacto no curso d’água (exemplo: queda de árvore). Assim, considerando uma cheia, o valor adotado seria conservador.

Cenário 2: Cheias com grande aporte de sólidos

i. Probabilidade: de baixa a média (por “expertise” no assunto);
ii. Vazão líquida: 42 m^3/s;
iii. Declividade de equilíbrio considerada ao longo do setor de estudo: 2,3%, sendo esta declividade média entre Meinget e Brigaudière. Também corresponde à inclinação na qual as concavidades existentes entre as barragens de regularização de nível fossem totalmente preenchidas por sedimentos, representado assim um perfil longitudinal antigo.
iv. Dimensionamento de novas seções hidráulicas: não foi efetuado o dimensionamento de novas seções hidráulicas neste cenário. Foi efetuada a verificação de não transbordamento (sem margem de segurança) com as seções e perfis longitudinais definidos pelo cenário 1.

4.7 Diagnóstico dos diques e obras associadas no setor de estudo

O objetivo desta parte é estabelecer um diagnóstico do risco de falhas nos diques marginais da área de estudo. O diagnóstico compreende quatro fases:

1. Descrição geral da área de estudo e delimitação dos setores;
2. Inspeção visual dos diques e das obras associadas (pequenas barragens e obras de travessia);
3. Diagnóstico hidráulico; e
4. Resumo dos riscos de falhas.

4.7.1 Descrição geral do setor de estudo

a) Delimitação do setor de estudo

Para facilitar a compreensão do diagnóstico, decidiu-se dividir a área de estudo em três seções, sendo cada uma delas delimitada por uma obra de travessia, conforme Figura 10.

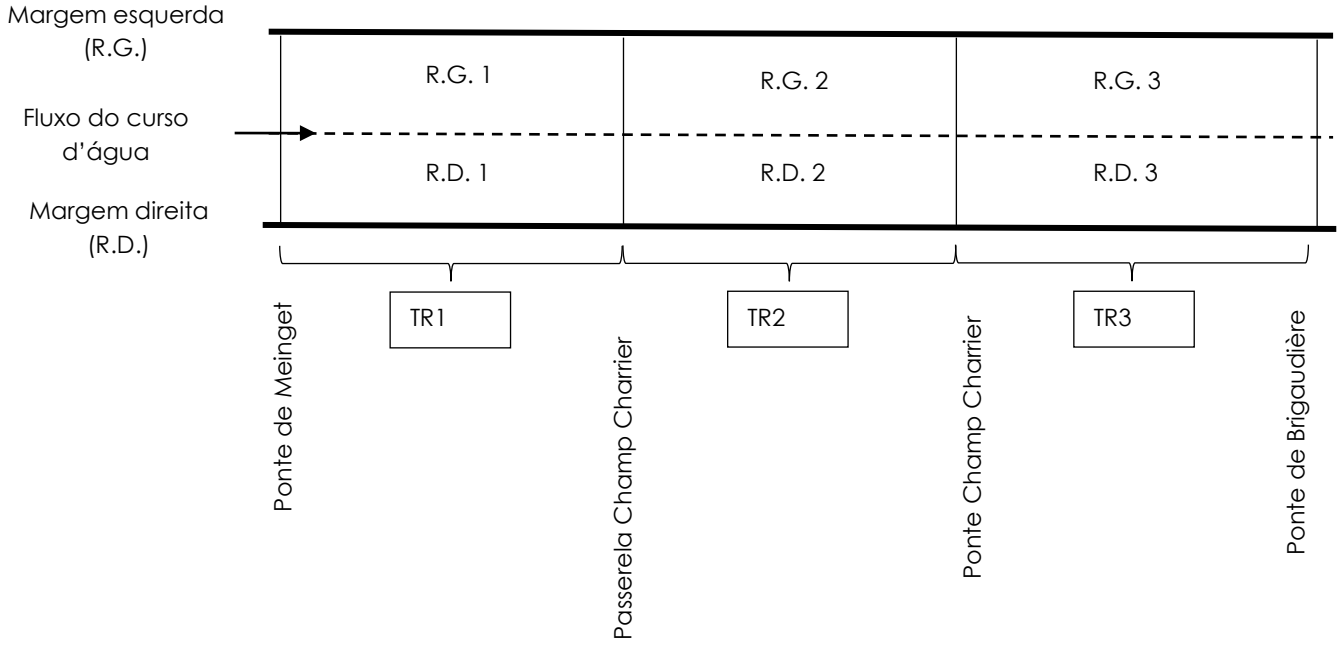


Figura 10 Delimitação das seções do setor de estudo.

Fonte: elaboração própria.

b) Características gerais e geométricas das seções

A Tabela 5 resume as características de cada seção:

Tabela 5 - Características gerais das seções, em que R.D. é a margem direita e R.G. é a margem esquerda

Talude com face voltada para o curso d'água					Crista dos diques	
Seção	Altura/ leito do rio (m)		Inclinação (m/m)		Largura da crista (m)	
	RD	RG	RD	RG	RD	RG
T3	2,45	2,45	0,95	0,71	2,35	1,88
T2	1,96	2,06	1,20	0,76	2,06	2,32
T1	2,42	3,86	1,07	0,89	1,84	2,86

Talude com face voltada para o terreno natural					Leito
Seção	Altura/ TN (m)		Inclinação (m/m)		Largura de fundo (m)
	RD	RG	RD	RG	
T3	2,33	2,10	0,53	0,49	2,99
T2	1,32	1,05	0,39	0,35	2,96
T1	0,96	0,81	0,24	0,39	3,40

Fonte: elaboração própria.

Considerando a área de estudo, o curso d'água é retilíneo, estreito (2,5 a 4 m no fundo) e delimitado por dois diques marginais constituídos de aluviões do leito do rio. As inclinações dos taludes voltados para o curso d'água são muito acentuadas, por vezes quase verticais, e estão revestidas por vegetação arbustiva e arbórea.

A altura do leito do rio é superior à do terreno natural no trecho à jusante da passarela de Champ Charrier, com uma cota de fundo do leito podendo chegar à + 0,4 m em relação ao terreno natural da margem direita.

O Anexo 2 contém uma tabela com uma descrição mais detalhada das características de cada seção.

c) Estruturas protegidas pelo sistema de diques marginais

O mapa a seguir mostra a posição das estruturas na área de estudo, ou seja, todos os atores que são afetados pela existência dos diques marginais. As novas habitações recém-construídas na margem direita do rio Lavanchon no nível da ponte de Champ Charrier, não foram mapeadas. Segue a listagem das estruturas, conforme pode ser observado na Figure 11.

- **Residências:** presentes de maneira difusa nos terrenos da margem esquerda e direita, entre a ponte de Meinget até o trecho à jusante da passarela de Champ Charrier. O trecho mais à jusante do setor de estudo não possui habitações;
- **Obras de travessia:** totalizam 4 (quatro). De montante à jusante, são elas: ponte de Meinget, ponte de Champ Charrier, passarela de Champ Charrier e ponte de Brigaudière;
- **Terrenos agrícolas:** presentes sobre toda a extensão linear do curso estudado, tanto na margem esquerda quanto na direita;
- **Construções rurais:** algumas construções à jusante da ponte Champ Charrier (T2), na margem esquerda, foram implantadas na crista do dique marginal; e
- **Estradas:** o acesso para a cidade de Saint-Paul de Varces é feito a partir da rodovia, na margem direita do rio Lavanchon.

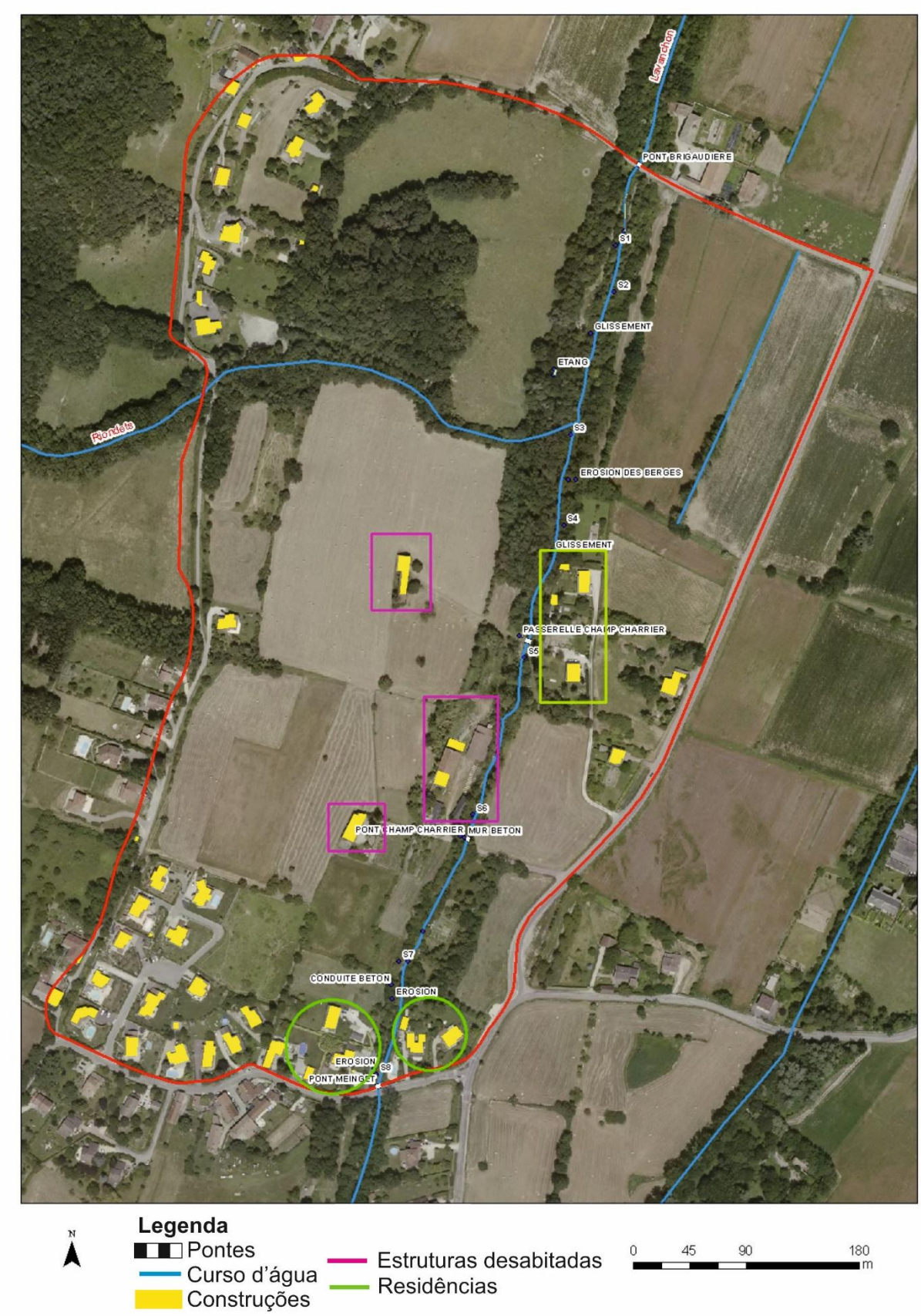


Figure 11 - Estruturas e obras presentes no setor em estudo.

Fonte: Service RTM 38, elaboração própria.

4.7.2 Inspeção visual dos diques marginais e obras associadas

Cada seção identificada (T1, T2 e T3) foi objeto de uma ficha de inspeção (apresentada em anexo). Esta é dividida em duas partes:

1. Informações gerais;
2. Descrição das obras singulares e das desordens observadas nas grandes estruturas que compõe os diques marginais (talude voltado para o curso d'água, crista, e talude voltado para o terreno natural). Elas estão marcadas de forma linear em relação ao início da seção e ao ponto de referência, e localizado na Figura 11 (Mapa síntese do estado dos diques marginais).

a) Síntese sobre o estado de conservação dos diques

Foram elaboradas **fichas de inspeção visual** dos diques para cada uma das seções (TR1, TR2 e TR3) para as margens direita (R.D) e esquerda (R.G.). O mapa a seguir sintetiza o estado dos diques sobre a totalidade do setor de estudo, conforme é mostrada na Figura 12.

.

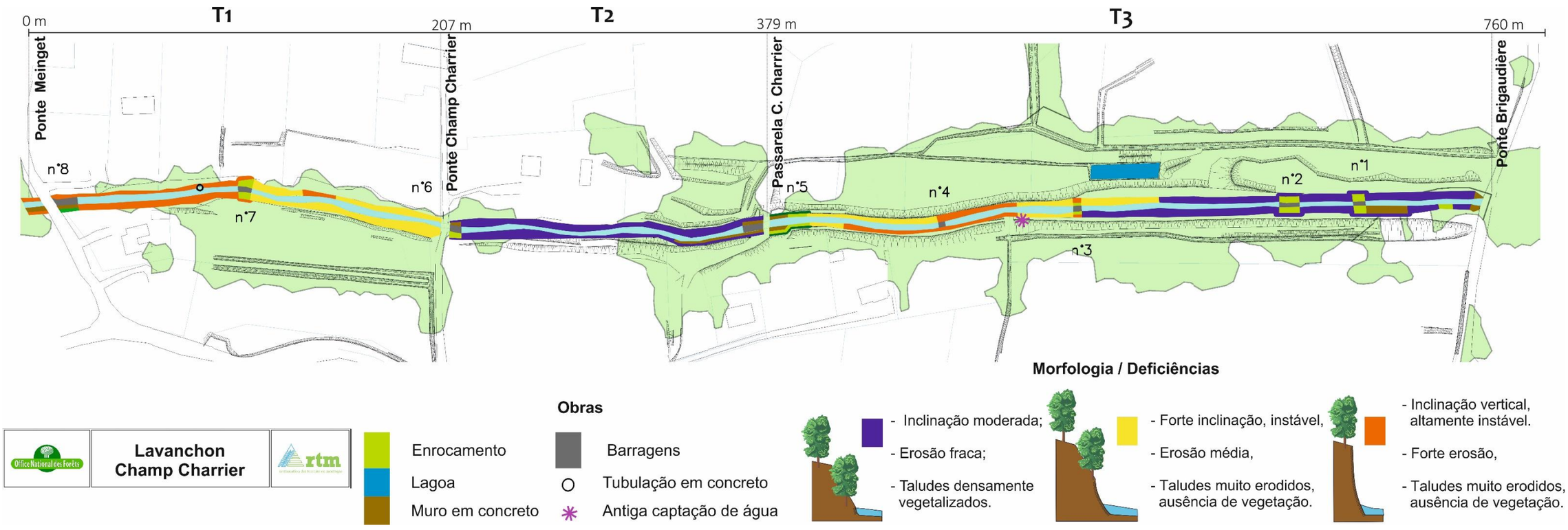


Figura 12 - Carta síntese do estado dos diques marginais na área de estudo.

Fonte: Service RTM 38, elaboração própria**.**

Risco de ruptura por erosão lateral

O risco de ruptura dos diques por erosão lateral é forte em toda a área de estudo. Os taludes dos diques possuem declividades fortes, provavelmente muito superiores ao ângulo de atrito interno dos materiais do corpo do dique. A aparente estabilidade dos taludes ocorre por estes estarem cobertos por vegetação. No entanto, esta continua a ser precária. A queda de uma árvore no curso d'água poderia acarretar no movimento de um volume importante de terra e favorecer a aparição de uma brecha. Por outro lado, em áreas onde a incisão é significativa, os taludes são praticamente verticais, instáveis e a vegetação está ausente. A situação nestes setores é crítica. O risco de ruptura é ainda reforçado pelo fato da crista dos diques ser muito estreita. Qualquer instabilidade nos taludes voltados para o curso d'água pode gerar uma brecha nos diques marginais.

As seções mais críticas são as seguintes: T1, da barragem de regularização nº 6 à barragem de regularização nº 8; T3, da barragem de regularização nº 3 à barragem de regularização nº 5.

Risco de ruptura pela erosão interna

Em um contexto onde os aportes de sólidos com a enxurrada são significativos, a rapidez das cheias não permite que os materiais que compõe o corpo dos diques marginas sejam saturados em água. Sendo assim, o risco de ruptura pela erosão interna pode, portanto, ser considerado negligenciável.

b) Síntese sobre o estado das barragens de regularização de nível

Na Tabela 6 está resumido o estado estrutural das barragens de regularização e as intervenções sugeridas para cada dano detectado.

Tabela 6 - Síntese do estado estrutural das barragens de regularização de nível e das proposições para melhorias e recuperação.

Barragens	Descrição	Diferença de altura / declividade do terreno natural à montante	Desordens
S1, S2 e S3	Barragens transversais ao curso do rio em enrocamento de terra	0,5 à 1,5 m/ 2 à 6%	Erosão fluvial, Instabilidade dos blocos; Risco de desmoronamento.
S4	Duas barragens transversais em madeira	0,5 m / 2,9 %	Erosão fluvial, deficiências na concepção do projeto.
S5 e S8	Barragens transversais ao curso do rio em enrocamento de terra	1.09 m / 7,6 %	Ausência de problemas.
S6		0.58 m / 13,8 %	Instabilidade dos blocos Risco de desmoronamento: proteção dos taludes de enrocamento, muito vegetados.
S7		0.6 m / 13.7 %	Instabilidade dos blocos Risco de desmoronamento

Barragens	Intensidade das desordes	Interversões sugeridas
S1, S2 e S3	1	Supressão das barragens, sistematização do leito do rio.
S4	2	
S5 S8	0	Implementação de uma rampa de regularização de velocidade; Escavação do leito em aproximadamente 0,5 m; Reforçar os enrocamentos, que servem de proteção dos taludes, nas margens direita e esquerda.
S6	1	Supressão da barragem de regularização; Implementação de uma rampa de regularização de velocidade; Reforçar os enrocamentos que servem de proteção dos taludes nas margens direita e esquerda.
S7	1	Supressão da barragem e sistematização do leito do rio.

Fonte: elaboração própria. Notas: As barragens de terra e/ou enrocamento são aquelas construídas com materiais naturais tais como terra, pedra ou com materiais produzidos artificialmente tais como gabiões. Tradução de rampas de *"mise en vitesse"*, que objetivam assegurar uma transição mais suave entre as diferentes declividades do fundo do leito ocasionada pela implantação de barragens de regularização de nível e aumentar a capacidade hidráulica das pontes, como será explicado no item 4.8 Propostas de melhorias.

4.7.3 Diagnóstico hidráulico

O objetivo do diagnóstico hidráulico é identificar pontos de extravasamento e zonas preferenciais de ruptura de diques por transbordamento. Inicialmente, foram observados os resultados do estudo GEO +. Os parágrafos seguintes apresentam os resultados da modelagem hidráulica realizada no âmbito deste estudo.

a) Lembrete dos pontos de deficiência identificados no estudo GEO + (2007)

Na Tabela 7, a seguir, estão resumidos os períodos de retorno limitantes e as observações sobre as deficiências encontradas no setor de estudo e no setor mais à montante.

Tabela 7 - Recapitulação das capacidades hidráulicas e deficiências identificadas

Setor	**Capacidade hidráulica (m^3/s) e período de retorno**		**Velocidade (m/s)**	**Observações**
	Canal	**Obras**		
Meinget – Brigaudière	~40 T ~ 100 anos	20 à 30 T ~ 10-20 anos	3 à 4	Leito lateralmente limitado por diques e, em alguns casos, situado acima da cota do terreno natural. Capacidade limitante entre ponte de Champ Charrier e passarela à jusante (~25 m^3/s); Ponte e passarela de Champ Charrier particularmente limitantes (~Q10). Capacidade melhor entre Meinget e Champ Charrier (>Q100).
Bascule – Meinget	≥ 40 T ≥ 100 anos	33 (Bascule) T ~ 50 anos	3 à 4	Na parte à jusante, leito limitado lateralmente por diques em sua margem direita, porém com capacidade hidráulica >Q100; À montante, capacidade mais limitante; porém, o leito não é limitado lateralmente por diques.

Fonte: GEO + (2007)

b) Resultado das modelagens sem considerar aporte sedimentar

Na Figura 13 são apresentados os resultados da modelagem em ausência de sedimentos, tendo como cenário a situação atual. Sintetiza-se o conjunto de resultados obtidos no final deste cálculo. Apresenta-se a evolução da altura da lâmina d'água e da altura corresponde à sua carga de energia cinética[8] ($v^2/2g$) sobre o perfil longitudinal da corrente.

As principais conclusões estão resumidas a seguir:

- Os transbordamentos modelados ocorrem a montante da ponte e da passarela Champ Charrier. Estes resultados são coerentes com os do estudo GEO + (2007);
- À jusante da ponte de Champ Charrier, o leito permite o trânsito da vazão para um período de retorno de 100 anos (em águas claras, ou seja, sem considerar o aporte sedimentar) sem transbordamento. No entanto, a borda livre[9] permanece localmente muito pequena.

c) Capacidade hidráulica no nível das pontes e das passarelas

A capacidade hidráulica no nível das pontes e das passarelas foram calculadas separadamente; os resultados são apresentados na Tabela 8. Mais de uma hipótese de regime de escoamento em superfície livre foi considerada. Em função da configuração do local, o regime de escoamento que se aproxima mais da situação real foi posto em negrito.

As três estruturas à montante não permitem o trânsito de uma cheia de período de retorno de 100 anos (correspondente a uma vazão de 42 $m^3.s^{-1}$).

A ponte mais limitante é a Meinget, com uma capacidade de cerca de 20 $m^3.s^{-1}$ antes de ocorrer transbordamento. Um bloqueio de sua seção é muito provável devido ao fato da sua seção não ser suficiente para uma vazão para T = 100 anos**.**

---

[8] A carga é representativa do nível que uma gota d'água é susceptível de atingir em caso de perturbação hidráulica importante (obstáculo ao fluxo d'água por troncos de madeira, etc.).

[9] A borda livre é a folga entre a superfície máxima da água e o nível de transbordamento.

Nota-se incoerência entre os períodos de retorno e as informações do histórico de cheias. Com efeito, após a inundação de 1955, não foram observados transbordamentos no local das pontes. Isto parece confirmar que a escolha de uma vazão de simulação com período de retorno de 100 anos, equivalente à 42 $m^3.s^{-1}$, é conservadora.

Tabela 8 - Capacidade hidráulica das pontes.

Nome	**Capacidade de vazão (m^3/s) antes de transbordamento**			**Período de Retorno (anos)**	**Observações**
	RPU[10]	RC[11]	Carga	T	
Ponte de Meinget	12.7	16.6	**19.1**	≈ 10	**Configuração desfavorável: a seção livre é limitante, um conduíte passa abaixo do tablado na seção à montante e existe uma pequena barragem de nível localizada abaixo da ponte. Bloqueio por materiais flutuantes muito provável (ex. galhos e pedaços de madeira).**
Ponte Champ Charrier	21.7	**30.5**	-	20 à 30	**Situado à montante de uma barragem de nível; desfavorável hidraulicamente devido ao remanso. Redução de seção e zona de transição entre o regime torrencial e fluvial no nível da ponte.**
Passarela Champ Charrier	**35.3**	33.9	-	20 à 50	Situada imediatamente à jusante de uma barragem de controle de nível. Regime torrencial sob a barragem e à jusante.
Ponte de Brigaudière	**41.2**	46.8	-	≈ 100	Na continuidade das seções à montante e à jusante, acrescida da ausência de singularidades nas proximidades da obra.

Fonte: elaboração própria.

[10] RPU: Regime Permanente Uniforme.

[11] RC: Regime Contínuo.

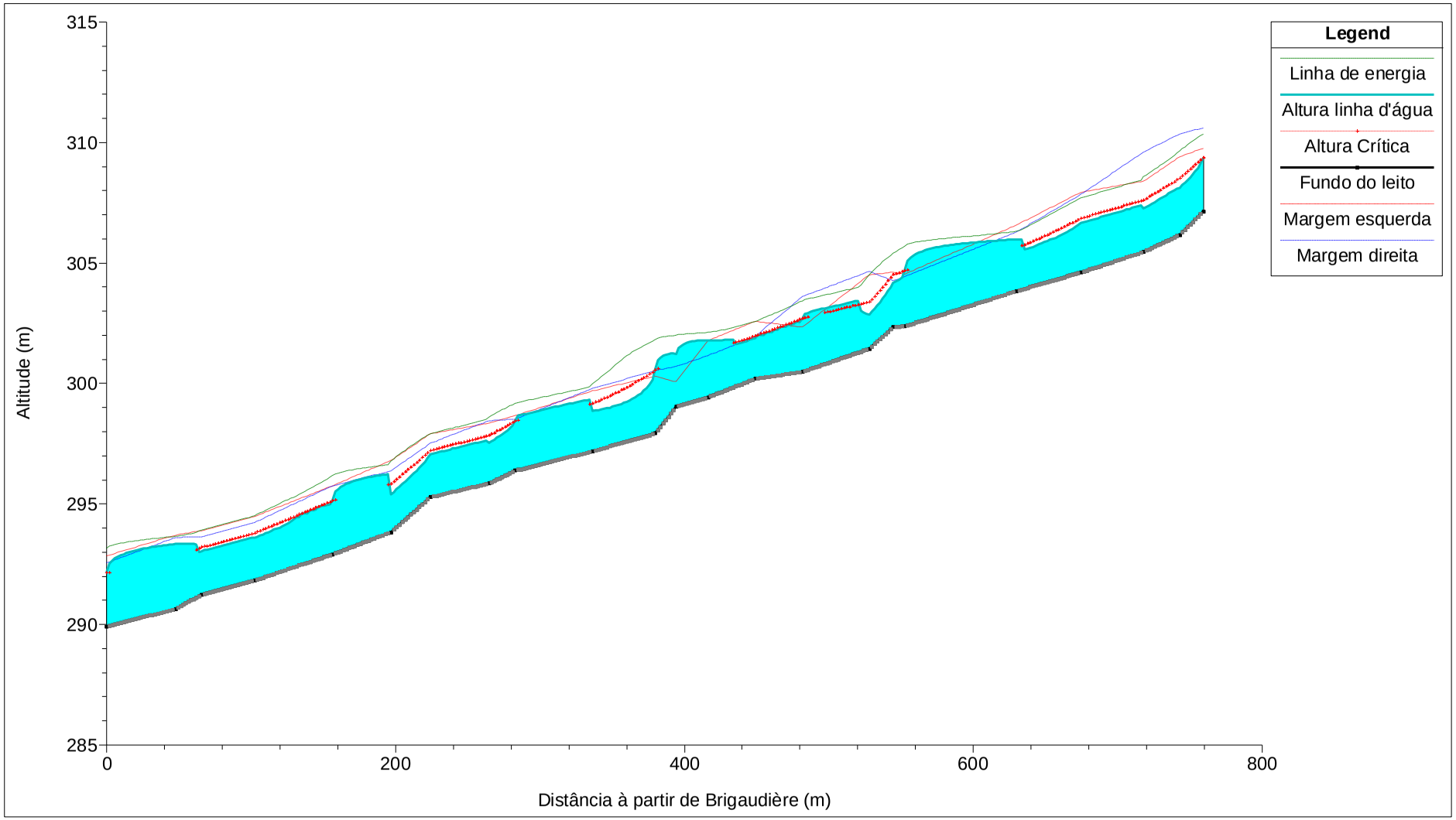


Figura 13 - Resultados da modelagem em ausência de sedimentos. Situação atual. Perfil longitudinal simulado com o HEC-RAS, supondo regime permanente, não uniforme, e gradualmente variado.

Fonte: Service RTM 38, elaboração própria.

d) Riscos ligados ao transporte de sólidos

Este parágrafo visa considerar o risco de assoreamento na área de estudo. É importante salientar que, dada à presença da barragem de contenção de sedimentos *RTM*[12] à montante do setor *Champ Charrier,* e à relativa ausência de eventos extremos em termos hidrológicos desde 1955, este cenário não é o mais provável. Entretanto, o pequeno retrocesso quanto ao funcionamento da totalidade do sistema desde a criação da barragem de contenção de sedimentos faz com que seja necessário levar em consideração este cenário.

Segundo Recking, Richard e Degoutte (2013), a forma de transporte de sedimentos do rio Lavanchon é a *"charriage"*, caracterizada pelo movimento de grãos próximos ao leito do rio, no qual materiais de menor porte são triados, em uma velocidade notavelmente mais lenta que a velocidade d'água, se caracterizando por um fluxo bifásico (separação clara entre as fases líquidas e sólidas). O fenômeno de "*charriage"* pode modificar profundamente o leito do rio em um período de cheia, agregando grãos ao leito do rio ou preenchendo as concavidades do perfil longitudinal. Em cursos d'água em terrenos de montanha, o transporte sólido é ativo e modifica frequentemente as seções transversais.

Durante inundações intensas, com entradas de carga sólida e sedimentos acima da capacidade de transporte do trecho considerado, os sedimentos tendem a preencher as concavidades do perfil longitudinal do leito do rio. Foi feita a hipótese de uma declividade representativa dos aportes à montante na ordem de 2,3%, correspondendo à declividade média entre Meinget e Brigaudière. Esta declividade muito provavelmente representa bem a realidade, tendo em vista que é inferior àquela da planície aluvial. Ela também corresponde à do perfil longitudinal antigo do setor de estudo, visto que as cristas das barragens de regularização estão aproximadamente alinhadas conforme o valor desta declividade.

A modelagem hidráulica foi então conduzida sobre o perfil, considerando o aporte sedimentar de montante (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Transbordamentos são sempre observados na passarela e na ponte Champ Charrier. Por outro lado, a situação é mais desfavorável à jusante da barragem de regularização S3, com transbordamentos localizados.

---

[12] RTM - Service de Restauration des Terrains en Montagne.

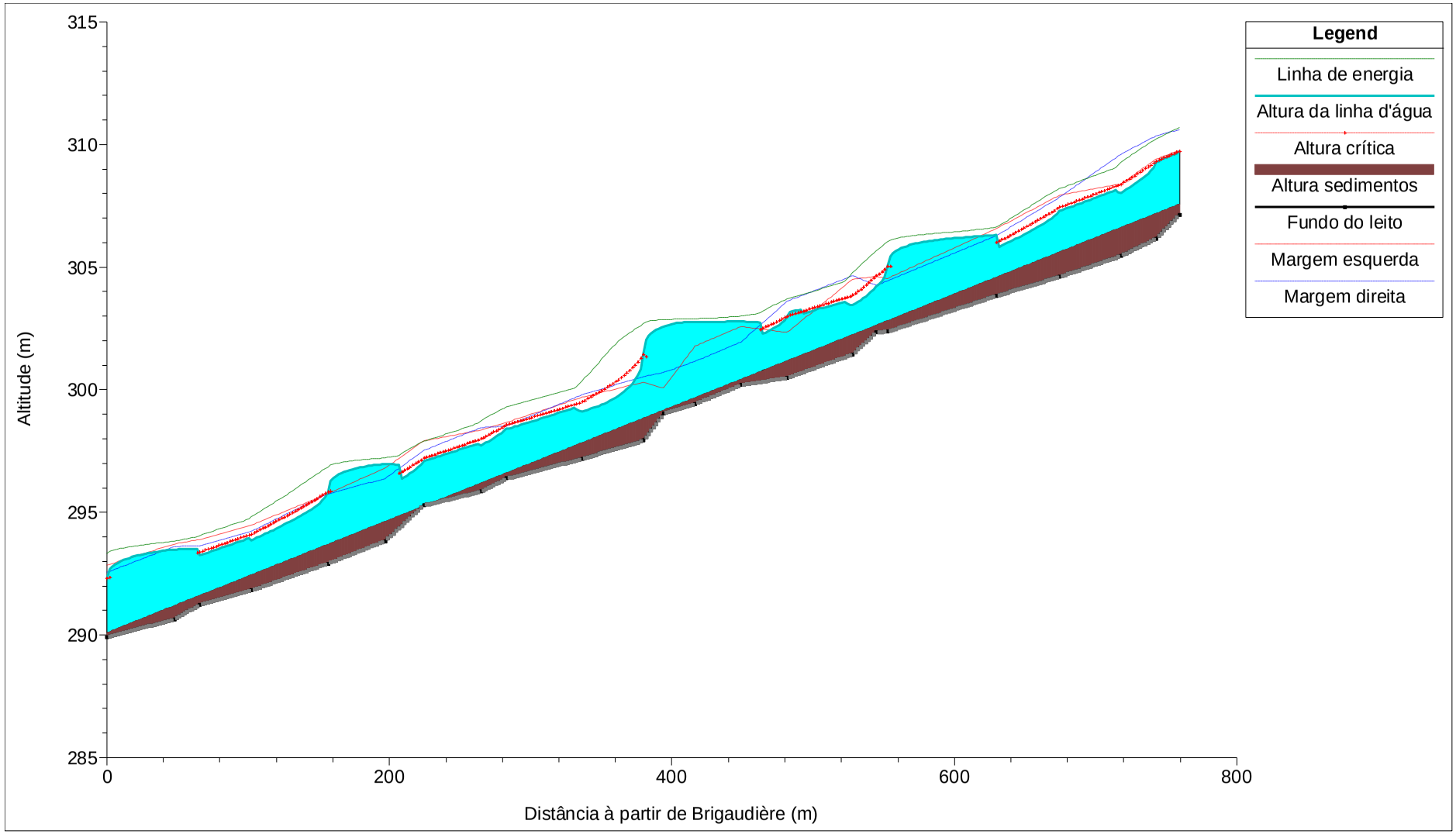


Figura 14 - Resultados da modelagem considerando a carga sólida - Situação atual. Perfil longitudinal simulado com o HEC-RAS.

Fonte: Service RTM 38, elaboração própria.

e) Riscos e agravantes ligados ao transporte de materiais flutuantes[13]

O principal fenômeno agravante no caso do rio Lavanchon é o transporte de materiais flutuantes, resultando em um risco de obstrução do canal, notavelmente no que se refere às pontes. Não dispondo de nenhum método preciso de avaliação do efeito dos materiais flutuantes, o risco resultante pode ser avaliado aqui por experiência comparativa de casos similares.

Durante as cheias, é comum que grandes quantidades de madeira sejam transportadas no curso dos rios, que ao passarem em seções ou pontes com seção hidráulica mais estreita, podem se acumular e formar obstáculos, provocando ou agravando o transbordamento do rio.

O bloqueio desses materiais é acompanhado em geral por um acúmulo de materiais à montante. O excesso de velocidade também pode ocorrer perto das aglomerações de árvores e aumentar os fenômenos de erosão, caso o entulho se encontre na proximidade dos taludes dos diques.

Os materiais flutuantes também podem causar sérios danos aos edifícios, às infraestruturas e aos equipamentos, devido ao esforço do impacto pontual que eles impõem. Muitas vezes, as construções e as obras mais expostas a esses fenômenos destrutivos são aquelas localizadas contíguas ao curso do rio.

No caso do rio Lavanchon, o potencial de transporte de materiais flutuantes durante as cheias é muito importante devido à vegetação das margens, que também são muito instáveis. A ponte de Meinget e a ponte Champ Charrier, devido as suas características geométricas, parecem ser as mais ameaçadas por uma obstrução de sua seção hidráulica à montante.

4.7.4 Síntese do diagnóstico

Em conclusão, o risco de ruptura dos diques na área de estudo é forte. O tipo de deficiência mais provável é a ruptura por erosão de lateral ou deslizamento, e o risco de ruptura por transbordamento.

As rupturas por erosão lateral são susceptíveis de ocorrer no conjunto da área de estudo. Dadas às características dos diques, a queda de uma árvore no

---

[13] Exemplo: toras de madeiras, galhos, demais obstáculos do gênero.

curso do rio causa o redirecionamento dos fluxos d'água para um dos taludes, o que pode facilmente causar a formação de uma abertura ou brecha. Dada a realização de inspeção visual, os setores mais críticos são aqueles localizados entre a barragem de regularização 6 e 8 (T1), e entre as barragens 3 e 5 (T3), à jusante da passarela Champ Charrier.

As barragens de regularização de nível estão relativamente bem posicionadas sobre a área de estudo, que se apresentam em geral com estado estrutural e funcionamento satisfatório, com problemas menores relacionados à instabilidade das proteções de taludes, notavelmente a barragem S4.

Os transbordamentos são, por sua vez, susceptíveis de ocorrer preferencialmente à montante da ponte e da passarela Champ Charrier. Os riscos de ruptura por transbordamento são fortes nestes setores. A montante da passarela Champ Charrier, o risco de transbordamento é agravado pela existência do risco de ruptura por erosão lateral muito forte.

4.8 Propostas de melhorias

O objetivo deste capítulo é propor medidas para reduzir a vulnerabilidade, tendo em vista o risco de inundação, apresentando os princípios gerais e a descrição das melhorias sugeridas, suas validações hidráulicas e o custo estimado destas medidas.

4.8.1 Princípios gerais

Considerando o diagnóstico efetuado no setor de estudo Champ Charrier, é necessário definir um programa de trabalhos, visando à proteção das construções susceptíveis ao risco de ruptura de diques, e de apresentar os meios e os princípios para a sua concepção e implantação.

Desta maneira, foram propostas duas opções, levando em consideração o espaço disponível, as estruturas existentes e a resolução dos problemas identificados.

A **solução 1** (S1) consiste em um **novo traçado de dois leitos sobrepostos** (leito menor e leito médio), com uma inclinação de 1,9%, a partir de 80m após a ponte Meinget (ou seja, depois das últimas casas na margem esquerda). A maior vantagem desta solução é o valor ambiental desta proposta, com a desvantagem de ser necessária uma aquisição fundiária significativa. Na porção à montante (primeiros 80 m), o traçado atual será mantido, e sua seção hidráulica será aumentada para permitir uma vazão de um período de retorno de 100 anos.

A **solução 2** (S2) consiste em conservar o **traçado atual do leito do rio**. Sendo assim, os diques marginais serão refeitos com uma inclinação de taludes de 1,5:1, e uma seção hidráulica do canal que irá permitir conduzir a vazão de período de retorno de 100 anos. Esta solução permite a resolução mínima dos problemas, o controle do processo de erosão e a melhoria de capacidade de escoamento, levando em consideração a ocorrência de possíveis depósitos de sedimentos em caso de cheias extremas.

É igualmente possível implantar uma solução mista, que combina as duas soluções acima mencionadas, sendo a solução S1 implantada até cerca de 40 m a jusante da passarela Champ Charrier e a solução S2 para o restante do trecho.

4.8.2 Descrição das soluções propostas

a) Solução 1

A operação consiste na criação de um novo leito, visando:

i. Recuperar o leito do Lavanchon, conferindo um aspecto mais natural, com um leito composto;
ii. Suprimir os diques marginais (onde é possível); e
iii. Reduzir ao máximo os processos de erosão e incisão do curso d'água.

Detalhamento da solução S1

Mapa

O novo traçado sinuoso começa à jusante das últimas habitações do T1 (PK = 80m) até a ponte de Brigaudière. Seu cumprimento total será de 708 m, conforme Anexo 6.

Seção transversal

Na Figura 15 está representada uma seção transversal típica da solução S1, considerando a realização de um novo leito. Possui uma inclinação de taludes com quociente de 1,5 (3H / 2V) e um leito maior suficiente para conter uma cheia com período de retorno de 100 anos (42 $m^3.s^{-1}$), tendo em conta a hipótese de que o leito menor foi totalmente preenchido devido a deposição de sedimentos. O leito menor do rio foi dimensionado para assegurar uma capacidade hidráulica para um período de retorno de cinco anos (14 $m^3.s^{-1}$).

A largura do leito maior varia de 15 m à jusante do trecho T1 até 30 m, no fim do trecho T3, conforme o espaço disponível para realização dos trabalhos, como está apresentado na Figura 15. A relação entre a largura do leito médio e a altura crítica é consistente com os valores encontrados na literatura ($L<16 / hc < 50$).

O critério de segurança para a seção típica do novo traçado do leito é uma borda livre de 1m.

A seção transversal típica para a conservação do traçado atual do leito do rio Lavanchon é mostrada na Figura 16, também para uma vazão com período de retorno de 100 anos e uma inclinação de taludes de 1,5:1.

O critério de segurança para o tipo de seção de conservação do leito atual do Lavanchon é altura máxima da carga de energia cinética, que equivale a 2,3 m.

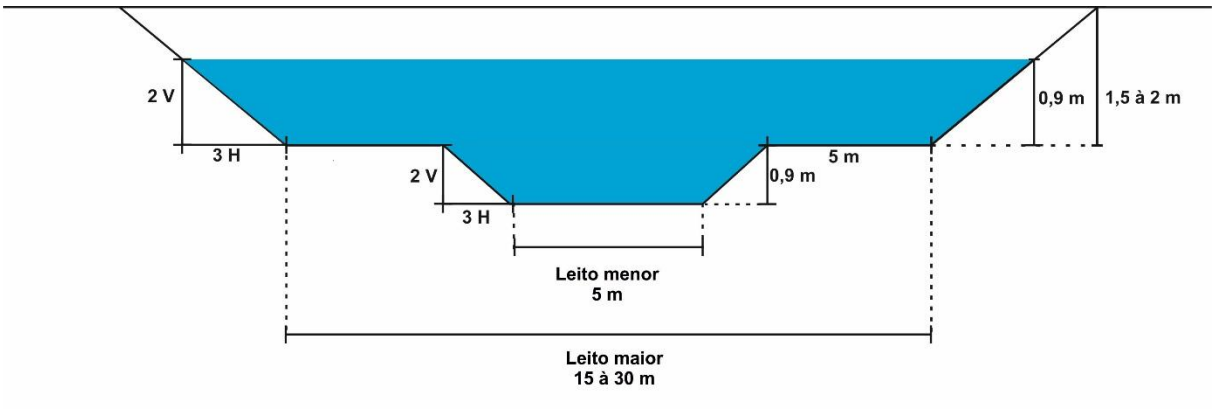


Figura 15 - Seção transversal típica - novo leito - preconizado pela solução S1.
Fonte: elaboração própria.

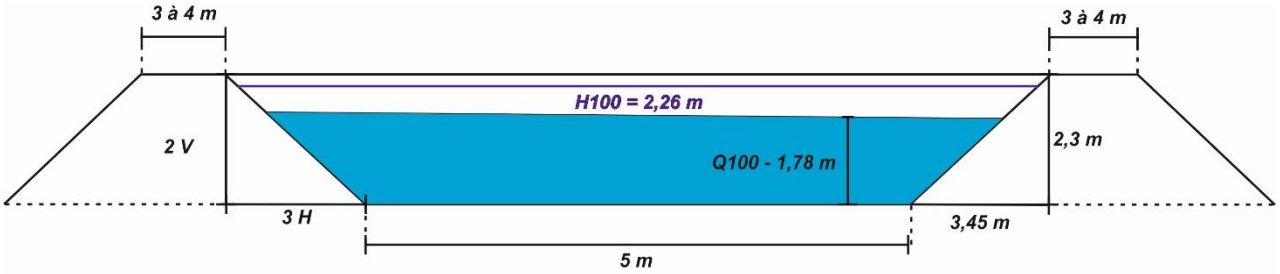


Figura 16 - Seção transversal típica - conservação do traçado atual - considerando a solução S1.
Fonte: elaboração própria.

Perfil longitudinal

A declividade média do traçado do leito menor do rio (curva do terreno natural - Figura 17) é igual a 2,14%, o que exige um ajustamento de 0,23% para uma inclinação média próxima à inclinação de equilíbrio (cerca de 1,9%). Para isso, prevê-se a implantação de duas barragens de regularização de nível, respectivamente localizadas à 335 m e 485 m a partir do início da área de estudo (PK=0), cada uma tendo uma altura de 0,85 m, visando recuperar 1,7 m de cota.

No caso em que a solução mista (B) seja escolhida, a declividade de equilíbrio é assegurada. Na Figura 17 também é mostrado um traçado hipotético, onde se considera que todo o traçado do trecho em estudo do Lavanchon teria uma declividade de 1,9%. Nota-se que esta linha hipotética não se distância do traçado do perfil longitudinal de projeto.

O posicionamento das barragens de regularização de nível abaixo do nível do terreno natural maximiza o volume de material disponível para a realização dos trabalhos futuramente.

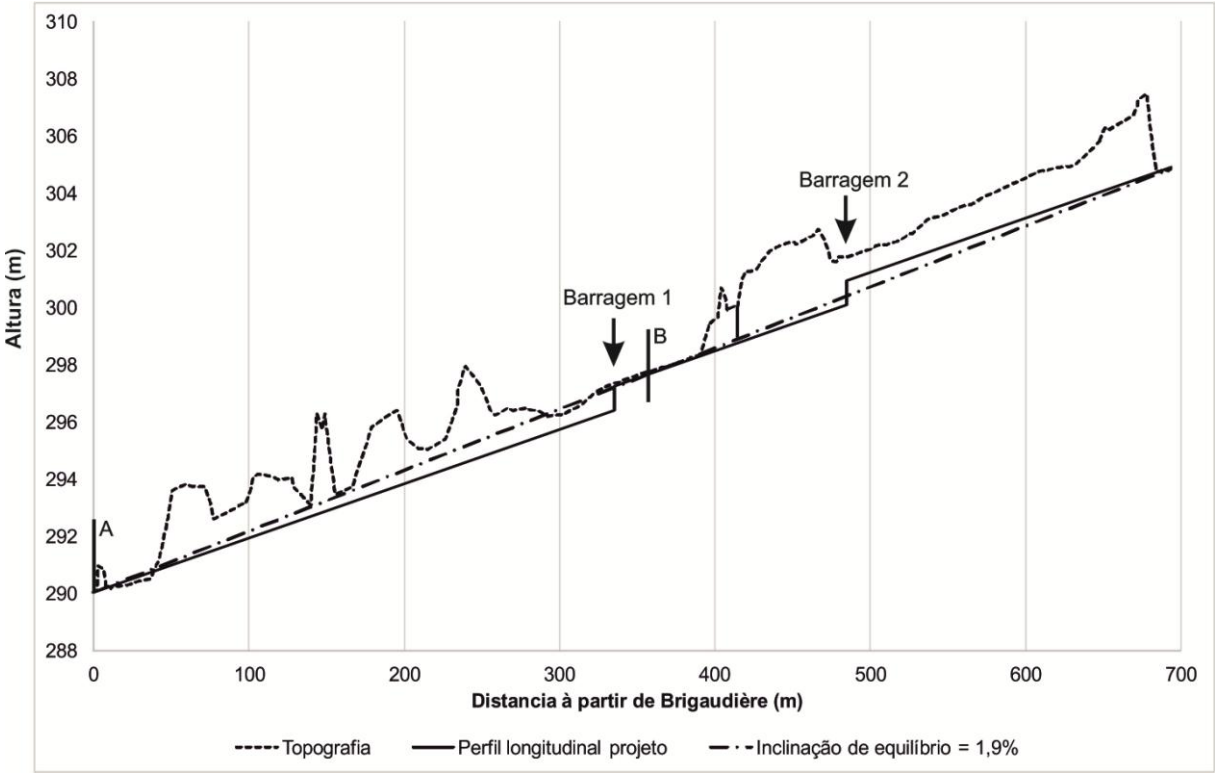


Figura 17 - Perfil longitudinal - considerando a solução S1.

Fonte: Service RTM 38, elaborado própria.

b) Solução 2

A implantação desta proposta consiste em conservar o traçado atual do leito do rio, com a retomada dos diques marginais e aumento da capacidade da seção hidráulica, nos setores onde se identifica:

i. A insuficiência de seção hidráulica para as cheias com período de retorno de 10 a 100 anos ($10 \leq T \leq 100$);
ii. Áreas de alto risco de ruptura; e

iii. A presença de benfeitorias relevantes (habitações, culturas agrícolas, etc).

Os objetivos da solução S2 são:

i. Minimizar o processo de erosão do curso d'água;
ii. Reduzir o risco de inundação das residências.

Detalhamento da solução S2

Mapa

O traçado da solução 2 se estende da Ponte Meinget (PK=0) até a jusante da barragem de regularização nº 3 (PK=563), sendo que delimitam uma zona com a presença de residências e outras estruturas expostas ao risco de inundação. Seu comprimento total será de 563 m, conforme anexo 7.

Seção transversal

A Figura 16 mostra um perfil típico da solução S2 para uma cheia com período de retorno de 100 anos e uma inclinação de taludes de 1,5:1, levando em conta os mesmo critérios de segurança preconizados para as soluções precedentes.

Perfil longitudinal

Entre a parte à jusante da barragem 3 e a ponte Champ Charrier, o fundo do leito do rio será escavado aproximadamente 1m para a criação de uma rampa (rampa 1) com declividade de 3,55%, para melhorar o desempenho hidráulico, garantindo uma transição mais suave de uma declividade de 4,3% para 1,9%.

Com relação às pontes, as rampas permitem um melhor desempenho hidráulico, aumentando a borda livre. Este é particularmente o caso de da Ponte Champ Charrier, que está atualmente à montante da barragem 6 (ou seja, em uma situação mais desfavorável).

Esta opção permite aproximar a crista dos diques das alturas do terreno natural nas margens direita e esquerda, a fim de reduzir a altura dos diques. Além

disso, os diques marginais serão totalmente reformulados para serem mais regulares e retilíneos.

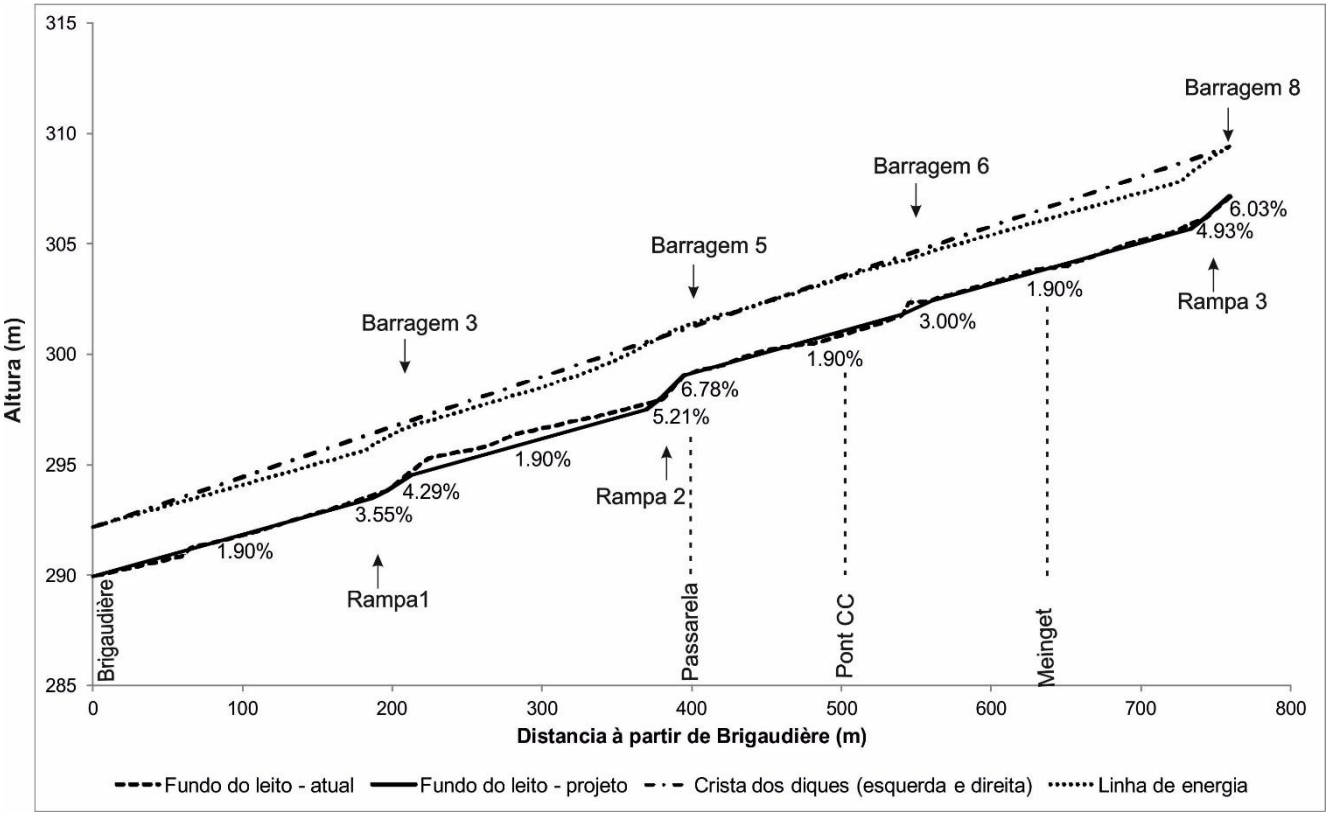


Figura 18 - Perfil longitudinal - solução S2.

Fonte: Service RTM 38, elaboração própria.

c) Comparativo das soluções propostas

Na Tabela 9 é apresentado um resumo das vantagens e desvantagens das propostas S1 e S2.

Tabela 9 - Comparativo das soluções propostas S1 e S2.

SOLUÇÃO 1	SOLUÇÃO 2
VANTAGENS	
DIMINUIÇÃO DO RISCO DE INUNDAÇÃO; DIMINUIÇÃO DOS PONTOS DE DEFICIÊNCIA E DO RISCO DE RUPTURA;	
✓ Melhoria da qualidade do meio natural e restauração ecológica; ✓ Melhoria do funcionamento hidrodinâmico; ✓ Disponibilidade de terreno para a realização das obras; e ✓ Evita a ocupação de zonas naturalmente inundáveis.	✓ Conservação do traçado atual; ✓ Custo menos significativo com aquisição de terrenos; ✓ Aproveitamento das obras já realizadas; ✓ Traçado retilíneo e de fácil manutenção; e ✓ Custo menor.
INCONVENIENTES	
IMPOSSIBILIDADE DA SUPRESSÃO DE DIQUES;	
- Restrição fundiária e aquisição significativa de terrenos; - Gestão das obras de travessia; e - Custo maior.	- Qualidade ambiental reduzida; - Grande sensibilidade dos aportes sólidos vindos de montante (sem regulação).

Fonte: elaboração própria.

d) Solução escolhida pelo Sindicato do Lavanchon em reunião realizada em 09/06/2015

A solução adotada pelo Sindicato do Lavanchon foi uma combinação das duas soluções acima mencionadas. A solução S1 será implantada 40 m à jusante da Passarela Champ Charrier até a Ponte Brigaudière e os diques serão implementados somente na margem direita.

A zona sem diques marginais na margem esquerda será considerada como inundável, tendo em vista o aumento progressivo do terreno natural e a ausência de estruturas vulneráveis ao risco de inundação (Figura 21).

A montante da passarela Champ Charrier o traçado atual será conservado com uma seção suficiente para uma cheia com período de retorno de 100 anos.

Detalhamento da solução escolhida

Mapa

O novo traçado sinuoso começa 40 m à jusante da passarela Champ Charrier e se estende até a Ponte de Brigaudière, abrangendo um trecho de rio de 782 m, conforme Anexo 8.

Seções transversais

A Figura 20 mostra a seção transversal típica da solução adotada pelo Sindicato do Lavanchon, que retoma os diques marginais já existentes na margem direita, com uma inclinação estável de taludes (quociente 1,5) e uma crista que varia entre 3 e 4 metros. Os drenos de pé nas margens direita e esquerda serão mantidos, e a altura dos diques já existentes foi conservada.

O leito médio foi dimensionado para uma cheia com período de retorno de 100 anos (42 $m^3.s^{-1}$), tendo em conta a hipótese de que o leito menor é totalmente preenchido por um aporte sedimentar vindo de montante. O leito menor do curso d'água foi dimensionado para assegurar proteção contra uma cheia com período de retorno de cinco anos (14 $m^3.s^{-1}$).

A largura do leito médio varia de acordo com o espaço disponível na margem esquerda.

O critério de segurança para o tipo de seção de conservação do leito atual do Lavanchon é altura máxima da carga de energia cinética, que equivale a 2,3 m.

A seção transversal, considerando a conservação do traçado atual, é ilustrada na Figura 16.

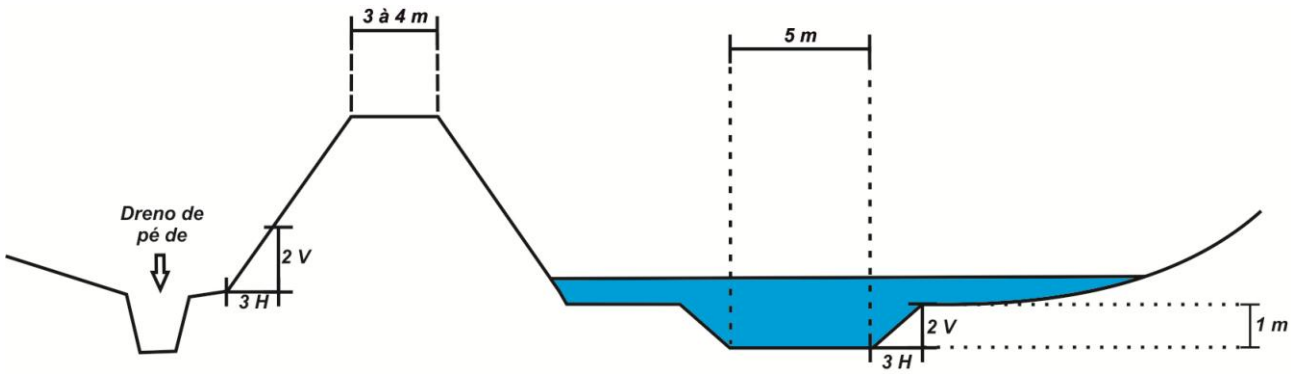


Figura 19 - Seção transversal típica escolhida pelo Sindicato do Lavanchon.

Fonte: elaboração própria.

Perfil longitudinal

A Figura 20 mostra o perfil longitudinal da combinação entre a soluções S1 e S2, de maneira que a inclinação de equilíbrio é fixada em 1,9% entre as barragens S5 e S8. As alturas dos diques são mais elevadas do que os valores da carga de energia cinética ao longo de todo o comprimento da área de estudo, exceto para a passagem da passarela Champ Charrier.

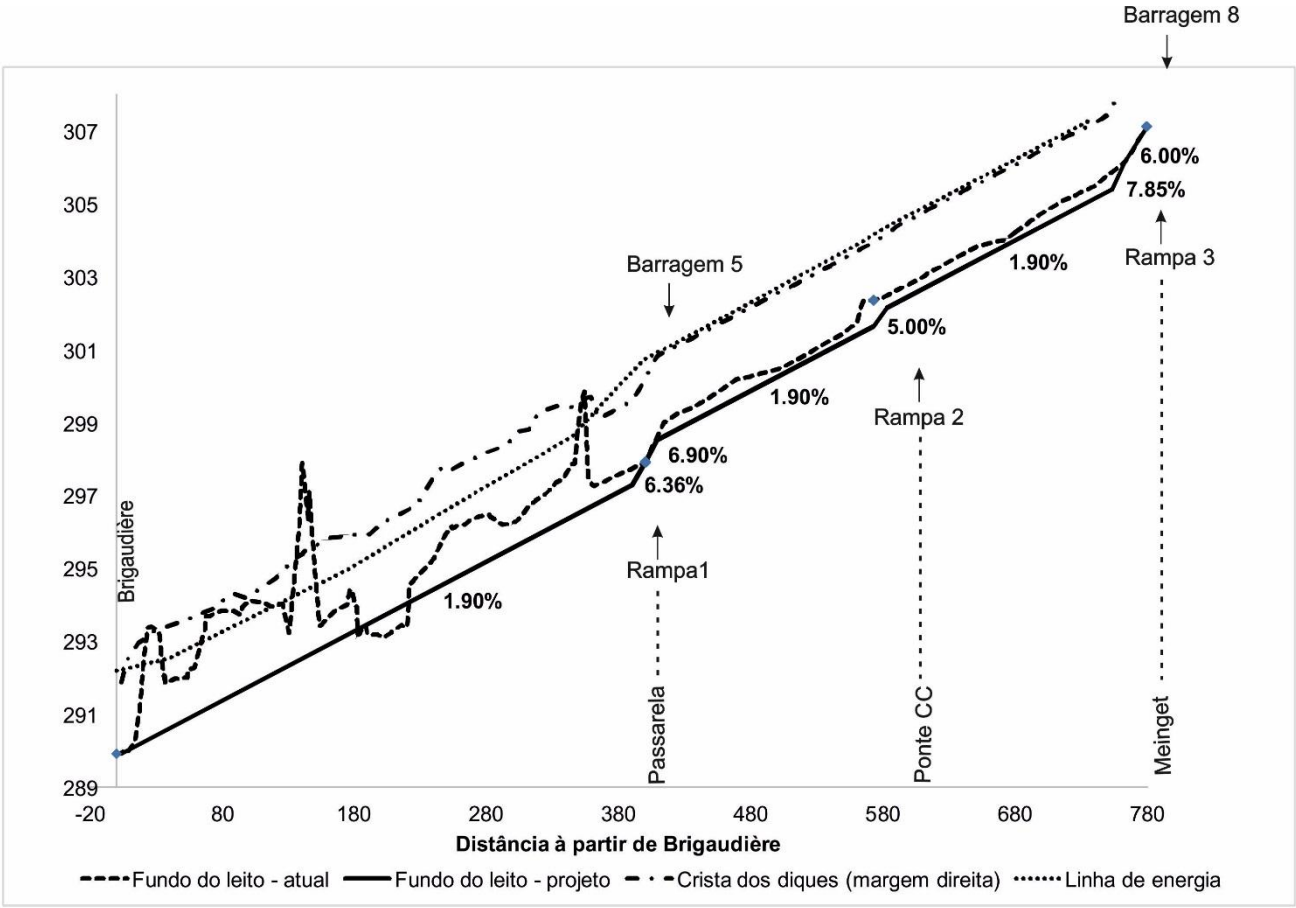


Figura 20 - Perfil longitudinal da solução escolhida pelo Sindicato do Lavanchon.
Fonte: Service RTM 38, elaboração própria.

e) Validação hidráulica da solução escolhida

A Figura 24 apresenta os resultados obtidos por intermédio da modelagem com o HEC-RAS, sem transporte de sedimentos, que representa a evolução da altura e da carga de energia cinética sobre o perfil longitudinal do curso d'água. Os depósitos sedimentares foram ignorados, considerando que eles vão ser regulados à montante.

As principais conclusões estão resumidas a seguir: o dimensionamento da obra é conservador e seguro, considerando que os valores obtidos com a altura do espelho d'água estão sempre abaixo da carga de energia cinética correspondente. Nenhum transbordamento foi detectado na modelagem do setor de estudo.

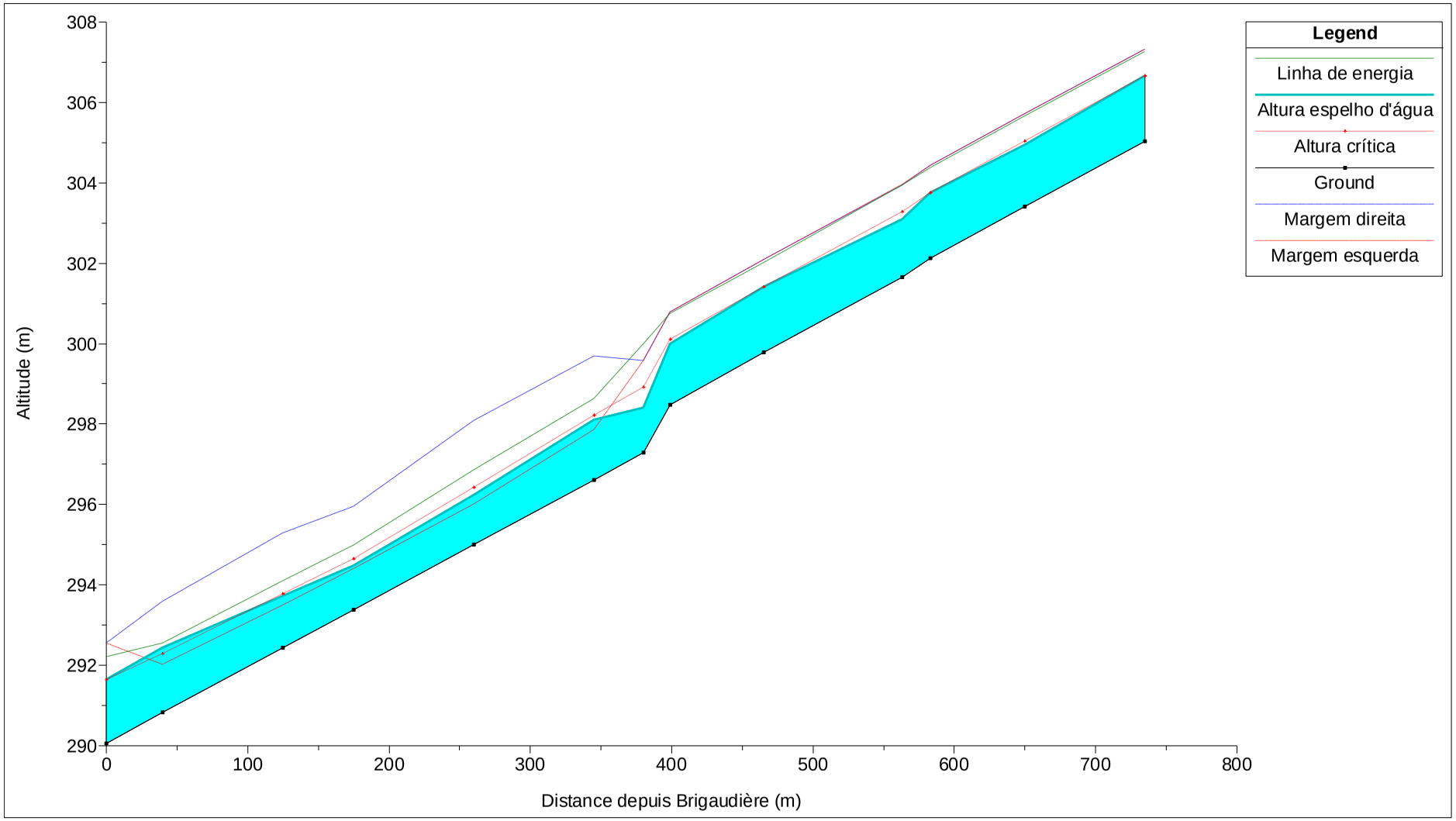


Figure 21 - Resultados da modelagem sem considerar o transporte de sedimentos - solução escolhida pelo Sindicato do Lavanchon.

Fonte: Service RTM 38, elaboração própria.

f) Custos da solução escolhida

Estão incluídos nos custos orçados a mão de obra e os serviços que serão prestados, sem precisar com exatidão as quantidades utilizadas. Para a remodelagem das seções transversais foi considerado serviços de terraplenagem sem aplicação de concreto, nem enrocamentos, sendo que os taludes dos diques terão inclinação suficiente para permitir sua estabilidade e o crescimento de vegetação.

A legislação francesa aplicável a este caso (Loi sur l'eau), é uma regulamentação obrigatória, que dita os procedimentos e regras a serem respeitados para a realização de trabalhos nos rios em território francês. Como este projeto modifica bastante seu estado inicial, será necessário providenciar a documentação para solicitar a autorização para intervenção neste trecho do rio Lavanchon. Essa documentação detalha qual o escopo da obra efetuada, os impactos sobre os recursos hídricos e o meio ambiente. Uma vez que a solicitação é aprovada pelo órgão responsável, uma autorização é dada com as regras a serem respeitadas durante a realização dos trabalhos.

Tabela 10 - Estimativa dos custos da solução escolhida (continua)

Item	Preço Unitário € (sem encargos)	Preço Total € (sem encargos)
Ponte Meingets à Ponte Brigaudière		
Desflorestamento do linear do setor de estudo	3 000	3 000
Tratamento em técnica vegetal dos taludes dos diques por semeadura e plantio – Margem direita 3500m² - Margem esquerda 2200m² - Plantio : 2 unidades/m²	30 000	30 000
Tratamento em técnica vegetal dos taludes dos diques por plantio: 2 unidades/m²	23 000	23 000
Pont Meinget à Passarela Champ Charrier – L=550ml		
Remodelagem das seções transversais para uma cheia de T=100 anos – perfil longitudinal considerado: Comprimento fundo do leito = 3m Inclinação dos taludes à 3H/2V	25 000	25 000

Tabela 11 - Estimativa dos custos da solução escolhida (conclusão)

Supressão da pequena barragem da passarela Champ Charrier e criação de uma rampa de regularização de velocidade.	5 000	5 000
Passarela à Ponte Brigaudière – L=380ml		
Adequação do dique na margem direita: Comprimento de crista 3 à 4m inclinação dos taludes 3H/2V	10 000	10 000
Criação de uma área de divagação do rio compreendendo: - Remoção do dique na margem esquerda; - Desflorestamento no local de implantação do novo leito; - Terraplenagem do novo leito conforme o perfil transversal da área de estudo; - Criação de uma barragem em enrocamentos para a estabilização do perfil longitudinal em 1,9%.	15 000	15 000
Diversos		
Estudo, levantamento topográfico, atendimento da legislação francesa (loi sur l'eau) e empresa de consultoria.	24 000	24 000
TOTAL OPERAÇÃO		**135 000**

Fonte: Cécile Bertrand, Responsable Territorial Nord Isère, Chartreuse Ouest, Vercors du Service RTM (Restauration des Terrains en Montagne de l'Isère)

4.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo foi concebido pelo Sindicato Intercomunal do Lavanchon, que agrupa representantes dos municípios de Claix, Varces e St. Paul de Varces, objetivando a proteção de bens e pessoas contra as inundações geradas pelas cheias do Rio Lavanchon. O Service de Restauration des Terrains en Montagne - *Service RTM* - responsável pela gestão das florestas do departamento de l'Isère, é um dos atores principais desta bacia no que tange à prevenção e à luta contra os riscos naturais. Desta maneira, o *Service RTM* apoiou tecnicamente a realização deste estudo, levando em consideração as limitações técnicas e financeiras do município de St. Paul de Varces.

A bacia hidrográfica do Lavanchon possui a particularidade de combinar formações montanhosas extremamente dinâmicas e instáveis (os contrafortes do Vercors) e um meio urbano em pleno desenvolvimento (a planície do rio Lavanchon, afluente do rio Drac). Desta maneira, as infraestruturas e as atividades desenvolvidas em áreas no fundo de vale, sobre os cones de dejeção e a parte baixa das encostas, são mais vulneráveis. Também é importante considerar que a população do município de St. Paul de Varces quadruplicou em um intervalo muito curto de tempo, entre os anos de 1968 e 1999 (ASTRADE et al.; 2007). Assim, a tomada de decisões por parte dos gestores deve levar em consideração os riscos naturais e o potencial de urbanização destas áreas.

A maior parte dos cursos d'água raramente apresenta um traçado retilíneo; quando isso ocorre geralmente sugere a realização de intervenções humanas (ou seja, retificação), normalmente sinônimo de alterações hidrogeomorfológicas e ecológicas (BRAVARD, J.; MALAVOI, J.; 2010). Conforme apontado na fase de diagnóstico deste estudo, à montante do rio Lavanchon, no trecho entre o rio Brigagier e o rio Charbonniers, é possível discernir diferentes níveis de terraços e a existência de meandros. Isto indica que a configuração natural do Lavanchon se aproxima mais de um leito sinuoso do que retilíneo. Porém, também é importante considerar a impossibilidade de supressão de diques na totalidade do setor de estudo, devido à existência de estruturas a serem protegidas nas margens direita e esquerda.

Considerando este contexto, a solução que foi escolhida pelo Sindicato do Lavanchon é uma combinação das soluções S1 e a S2 (solução mista). Esta solução considera como inundável a área na margem esquerda, no trecho à jusante da passarela Champ Charrier até a ponte Brigaudière, devido ao aumento progressivo da declividade do terreno natural no sentido dos contrafortes do Vercors e a ausência de elementos a serem protegidos (tais como residências e áreas agrícolas). Sendo assim, neste trecho, os diques serão implementados somente na margem direita do Lavanchon, onde foi considerada pelo Sindicato do Lavanchon zona de potencial urbanização.

Existe também a possibilidade de aquisição de terrenos agrícolas subutilizados na margem esquerda do T2, a montante da passarela Champ Charrier, ampliando a zona de supressão de diques; porém, esta opção foi considerada inviável economicamente pelo Sindicato do Lavanchon, devido a sua restrição orçamentária. Nos setores T1 e T2, com exceção da área anteriormente citada, não é possível a supressão de diques, visto a existência de locais importantes a serem protegidos, como residências e terrenos agrícolas.

A montante da passarela Champ Charrier o traçado atual será conservado com uma seção hidráulica suficiente para uma cheia com período de retorno de cem anos. Nesta solução, considera-se que os aportes sedimentários serão regulados a montante, com a criação futura de uma zona de regulação de sedimentos, trazendo maior segurança a obra proposta neste estudo.

Quanto aos custos estimados da solução escolhida, estes representam um montante aceitável, visto que o Sindicato do Lavanchon pode obter subsídio de aproximadamente 50%. Além disso, o orçamento anual do Sindicato varia em torno de 100.000 euros, sendo que essa operação pode ser programada para ser feita em 2 ou 3 anos. O problema mais significativo a ser considerado não é a realização das obras nem seu custo, mais sim obter a permissão dos proprietários dos loteamentos que serão atingidos pelos trabalhos para intervenção, caso contrário, o processo de desapropriação tende a ser moroso e oneroso.

Os resultados da modelagem mostram que o dimensionamento da obra para essa solução é conservador, visto que a altura do espelho d'água fica sempre inferior às cotas da crista dos diques, havendo pouca probabilidade de transbordamentos.

5. CONCLUSÕES

Este estudo exemplifica uma tendência comum de ocupação das várzeas dos rios, aumentando a vulnerabilidade das populações ribeirinhas quanto aos riscos naturais. O risco natural depende das características de cada região; no caso da região dos Alpes franceses, o grande aporte de carga sólida dos cursos d'água é extremamente relevante, principalmente para o dimensionamento de obras hidráulicas, diferindo bastante neste aspecto do contexto brasileiro. Porém, o risco de alagamento é comum em ambos os casos, devido à ocupação de áreas que são naturalmente inundáveis.

Nota-se que na região metropolitana de Grenoble, na qual se encontra o município de St. Paul-de-Varces, a disponibilidade de áreas urbanizáveis é muito limitada, pois grande parte dos terrenos são irregulares e instáveis, com uma grande diversidade e complexidade de fenômenos ocorrendo concomitantemente.

A modelagem hidrológica é uma ferramenta importante para a validação do dimensionamento de obras hidráulicas, considerando as condições limites impostas e as restrições da cada modelo, que permite a realização de simulações de situações extremas.

Em conclusão, obras que visam dar ao curso d'água um aspecto mais próximo ao natural encontram fortes restrições quanto ao atendimento das exigências legais, tendo em vista as margens de segurança elevadas que devem ser adotadas para zonas residenciais (como por exemplo, T=100 anos, somado a uma margem de erro). Isto pode gerar graves restrições quanto ao orçamento disponível para realização das obras, muitas vezes tornando inviável sua implementação, havendo a possibilidade dos trabalhos serem superestimados e não adaptados ao contexto local. Como o exemplo do rio Lavanchon, não existem inundações no setor de estudo desde a década de 60 e a barragem de contenção de sedimentos tem se mostrado eficaz.

Assim, acaba se tornando viável a supressão de diques somente nos casos onde não existem estruturas próximas à região de alagamento, principalmente residências. Aproveitam-se assim estas áreas para a preservação das várzeas dos rios, que possuem extrema importância para manutenção da qualidade e da quantidade das águas, proteção da fauna e flora locais.

Além disso, é um desafio para este tipo de obra a questão fundiária, pois para a intervenção nos loteamentos privados, o processo de negociação com seus proprietários pode se estender por um longo período de tempo, e em alguns casos, onde não se entre em acordo, pode exigir a desapropriação da área, processo custoso e demorado.

Desta maneira, conclui-se que a decisão de suprimir os diques marginais de um trecho de rio deve se basear nas perspectivas futuras de urbanização da área de várzea, se é interessante deixar aquele trecho disponível para construção de novas moradias, ou não, visto que uma possível ruptura de diques pode acarretar em consequências desastrosas para a comunidade. Também deve-se considerar a melhoria da qualidade ambiental que uma área florestada pode gerar, tanto quanto seus serviços ecossistêmicos.

6. REFERÊNCIAS

ALP'GEORISQUES. **Etude hydraulique du Lavanchon**. Domène: 1993. Estudo do Service RTM - Isère/ França.

ASTRADE, L. et al. **Interfaces entre dynamisme des versants et peri-urbanisation dans les bassins versants de l'agglomeration grenobloise**: le bassin versant du lavanchon (st-paul-de-varces, varces, claix). Revue de Géographie Alpine, Journal of Alpine Research, 95-2. 2007. Disponível em: http://rga.revues.org/125. Acesso em: 12 out. 2015.

CANEPARO, S. C.; PASSOS, E.; PINTO, R. C. **Classificação dos movimentos de massa ocorridos em março de 2011 na Serra da Prata, estado do Paraná**. Geoingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Maringá, v. 4, n. 1, p.3-27, nov. 2012. Disponível em: <http://novo.more.ufsc.br/artigo_revista/inserir_artigo_revista>. Acesso em: 01 nov. 2015.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos fluidos:** fundamentos e aplicações. 3. ed. Porto Alegre: Amgh, 2015.

CIDEE INGENIEURS CONSEILS. **Contrat de rivière Gresse Drac aval Lavanchon à l'ensemble du bassin du Drac**. Grenoble: 2007.

COL. In: LAROUSSE DICTIONNAIRE FRANÇAIS. Disponível em: < http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/col/17072>. Acesso em: 05/11/2015.

FOLTON, C; MERIAUX, P.; ROYET, P. **Surveillance, entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations**: guide pratique à l'usage des propriétaires et des gestionnaires. 2 ed. Bondoufle: Cemagref editions, 2004. 181 p.

GARCEZ, L.; ALVAREZ, G. **Hidrologia.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1988. 291 p.

GEO+. **Etude hydraulique du Lavanchon**. Grenoble: 2007. Estudo do Service RTM - Isère/ França.

INTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE ET DES ÉTUDES ÉCONOMIQUES. **Commune de Saint-Paul-de-Varces (38436):** résumé statistique. RP2007 et RP2012 exploitations principales. 2012. Disponível em: < http://www.insee.fr/fr/themes/comparateur.asp?codgeo=com-38436>. Acesso em: 10/12/2015.

INSTITUT DES RISQUES MAJEURS. **La Restauration des Terrains en Montagne**: 1860 - 2010, 150 ans de lutte contre les risques naturel. 2015. Disponível em: <http://www.irma-grenoble.com/05documentation/03phototheque_diaporamaRTM.php>. Acesso em: 03 ago. 2015.

LANG, M.; LAVABRE, J. (Comp.). **Estimation de la crue centennale pour les plans de prévention des risques d'inondations.** Versailles: Éditions Quae, 2007. (Collection Update Sciences & Technologies).

LIÉBAULT, F.; PETEUIL, C.; REMAÎTRE, A. **Approches géomorphologiques de la production sédimentaire des torrents**. Sciences Eaux Et Territoires: Risques Naturels em Montagne, Grenoble, n. 2, p.128-134, 08 set. 2010. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00537554/document>. Acesso em: 20 set. 2015.

Palmer, A.N. **Origin and morphology of limestone caves**. Geological Society of America Bulletin, v. 103, p 1-21. 1991. Disponível em: <http://users.clas.ufl.edu/jbmartin/website/classes/Surface_Groundwater/Class%2011%202012/Palmer%201991,%20origin%20of%20caves.pdf>. Acesso em: 03 set. 2015.

PESSOA, M.; LUCHIARI, A.; FERNANDES, E.; LIMA, M. **Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas**. Jaguariúna: EMBRAPA, CNPMA, 1997. 83p.

PROTEÇÃO DE DEFESA CÍVIL DE SÃO BERNARDO DO CAMPO. **Enchente, Inundação, Alagamento ou Enxurrada?** Disponível em: < http://dcsbcsp.blogspot.com.br/2011/06/enchente-inundacao-ou-alagamento.html>. Acesso em: 09 dez. 2015.

RECKING, A.; RICHARD, D.; DEGOUTTE, G. **Torrents et rivières de montagne**: dynamique et aménagement. Lyon: Quae, 2013. 336 p. (Savoir faire).

TUCCI, C. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. da Universidade : Abrh: Edusp, 1993. 4 v. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos).

TUCCI, C.; MARQUES, D. M. (Comp.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade/ufrgs, 2000. 558 p.

TUCCI, C. **Modelos Hidrológicos**. 2o. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS ABRH GWP, 2005. v. 1. 678p .

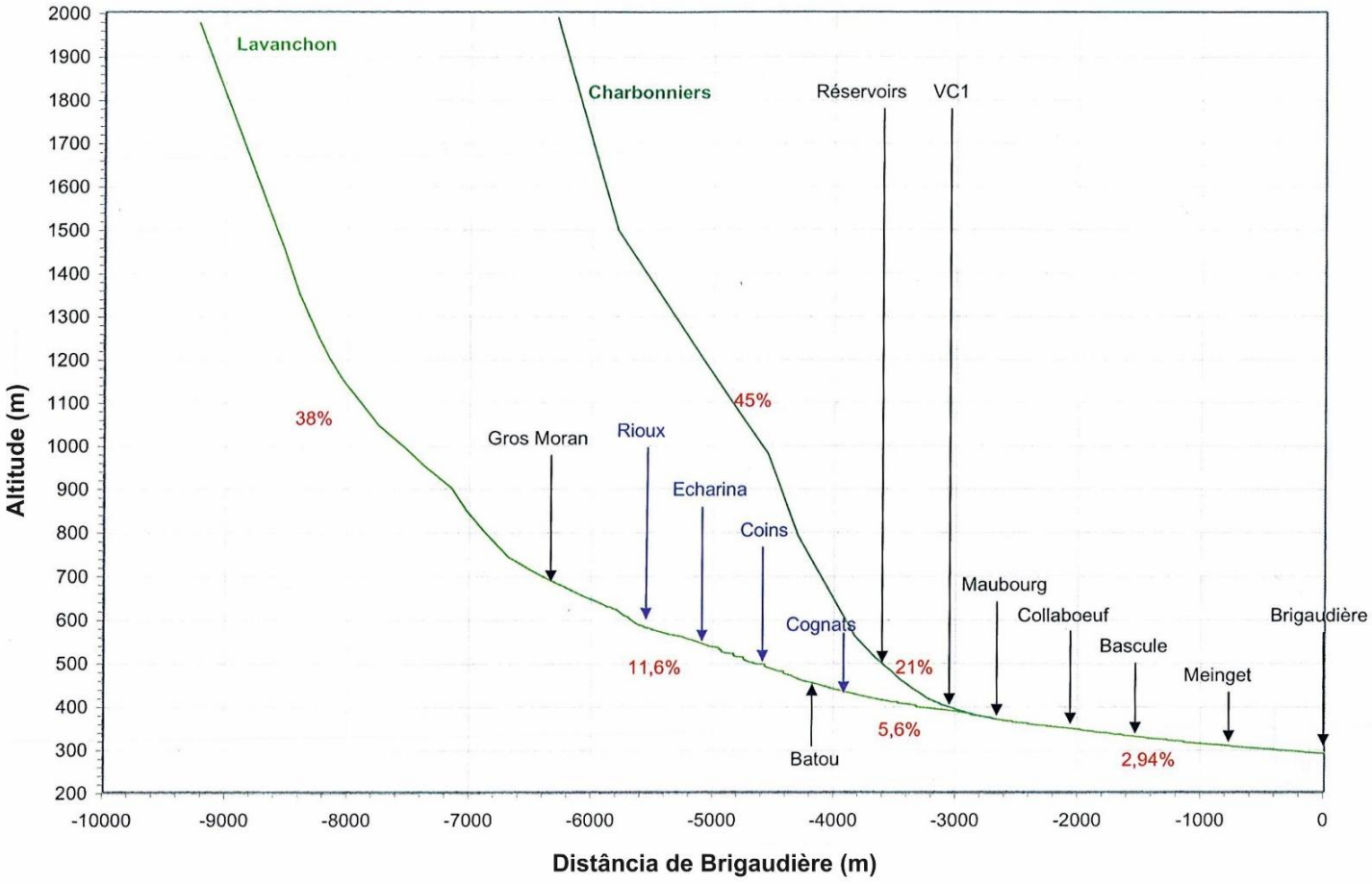
USACE. **HEC-RAS river analysis system**, hydraulic reference manual. US Army Corps of Engineers Hydrologiv Engineering Center, Davis CA, 2010.

WATSON, I.; BURNETT, A. **Hydrology:** Theory and applications of ground water and surface water for engineers and geologists. Florida: Boca Raton Crc/lewis, 1995. 702 p.

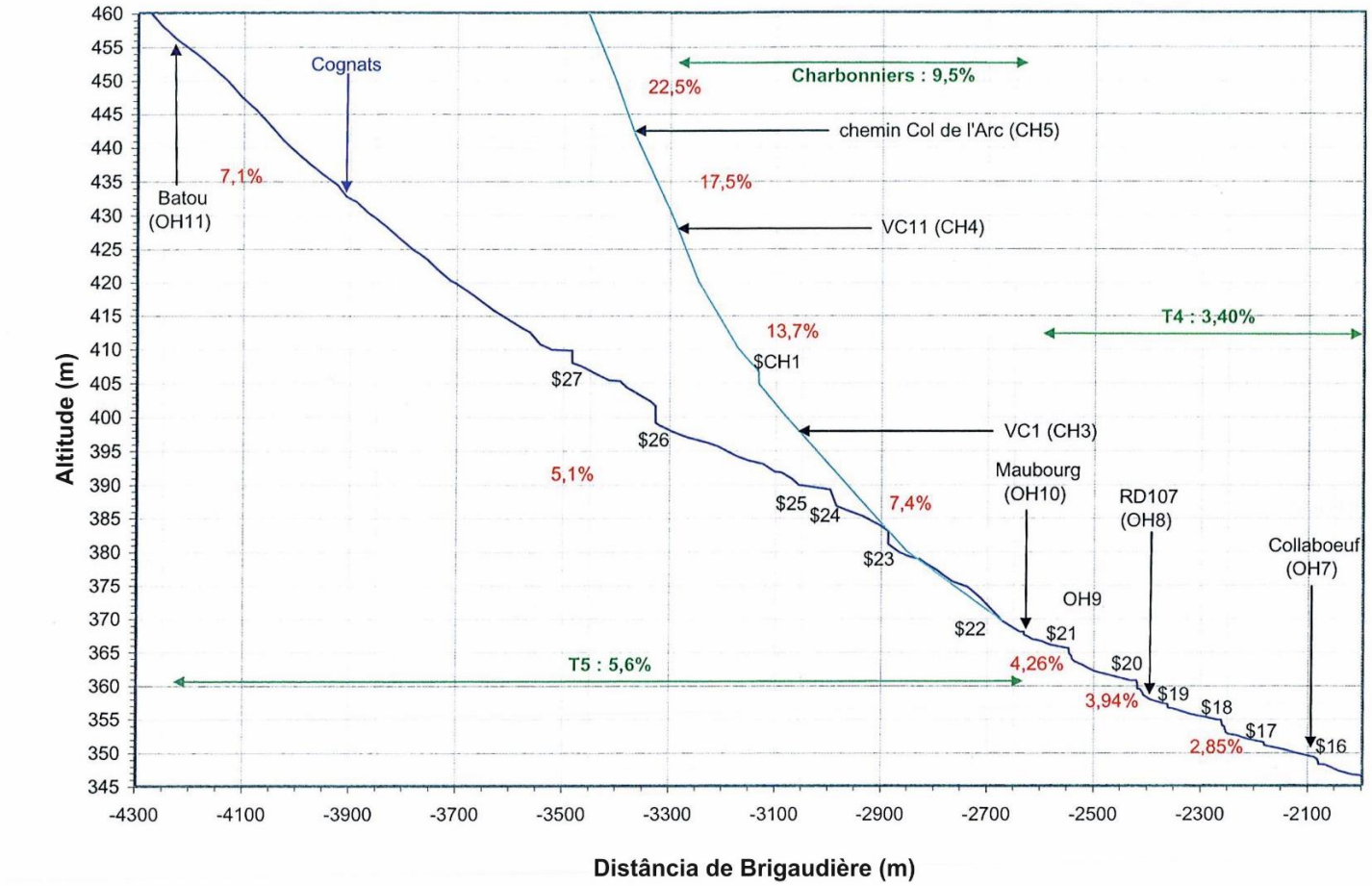
WISLER, C. O.; BRATER, E. F.. **Hidrologia.** Rio de Janeiro: Usaid, 1967. 484 p. Tradução de: Leonino Júnior.

7. ANEXOS

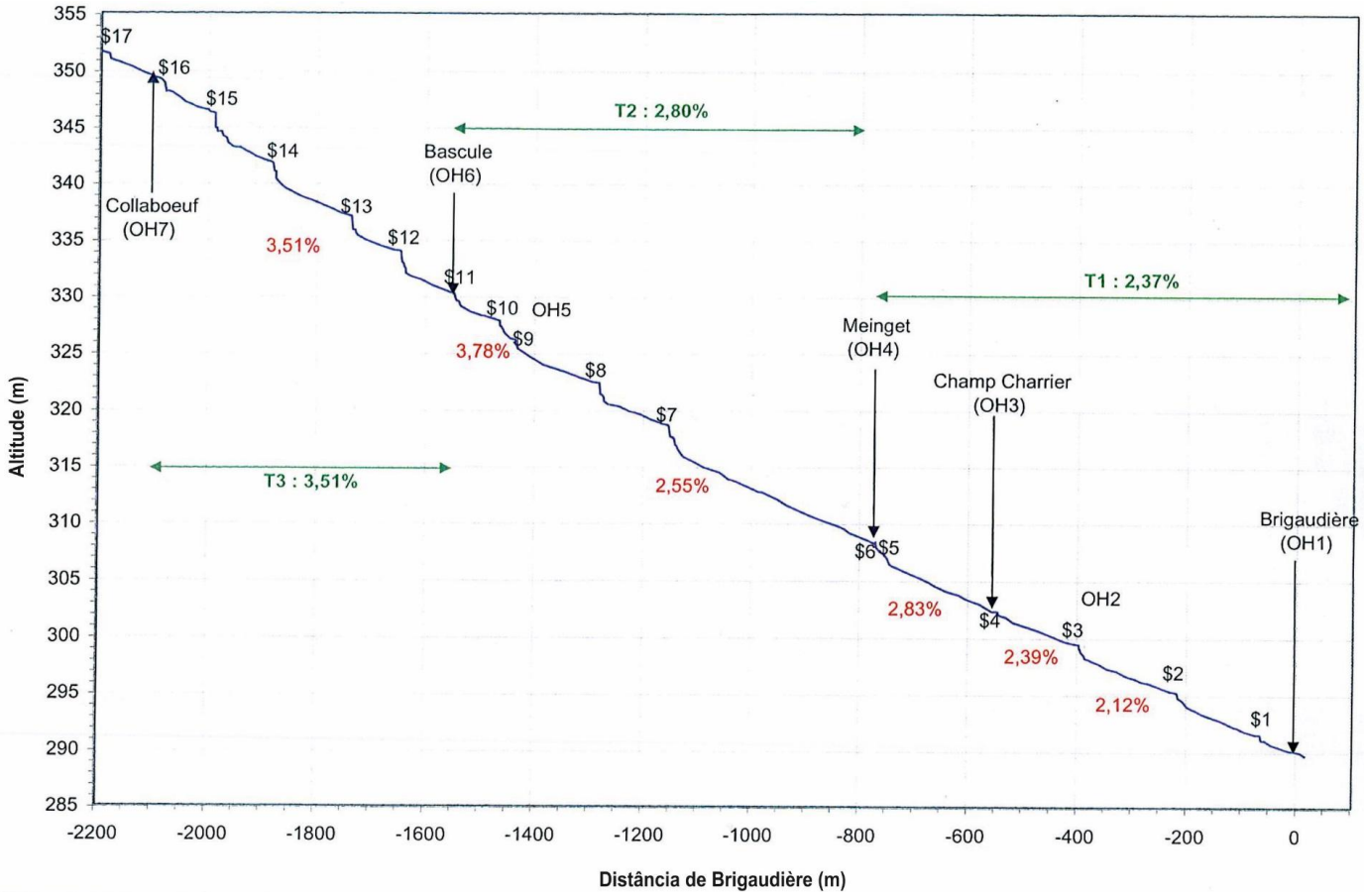
ANEXO 1 Perfis longitudinais das zonas de estudo detalhados por setor



Fonte: GEO + (2007)



Fonte: GEO + (2007)



Fonte: GEO + (2007)

ANEXO 2 Características geométricas detalhadas das seções

Tabela 12 - Características geométricas detalhadas das seções

(continua)

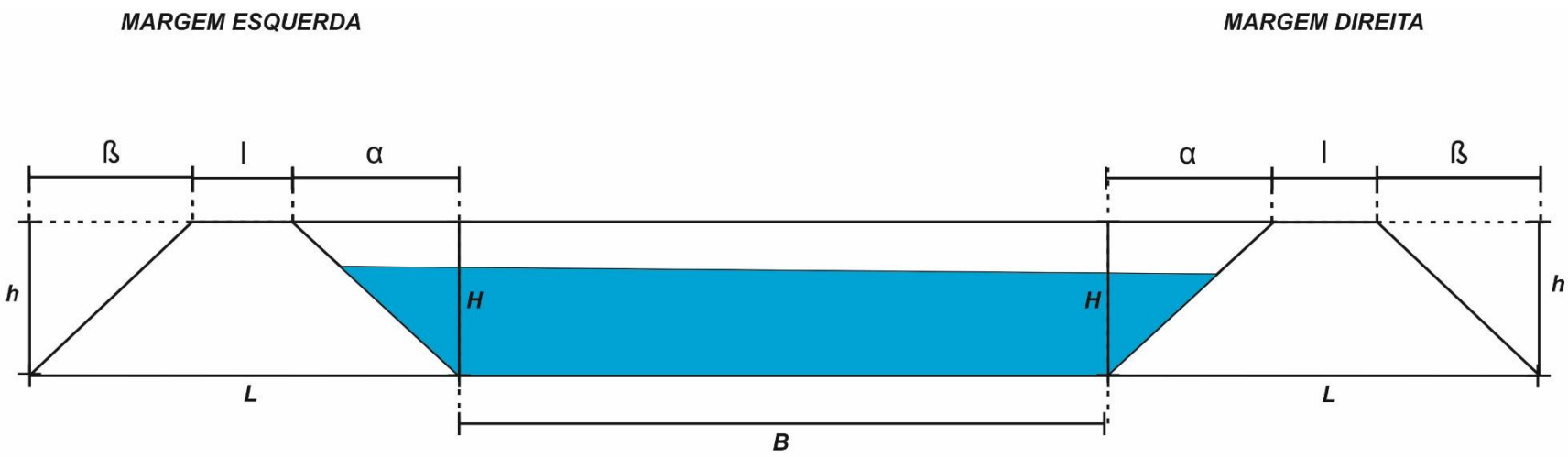
Perfil Transversal		Taludes voltados para curso d'água						Crista dos diques (m)			
		Altura/ fundo do leito - H (m)		**α**		**Inclinação (m/m)**		**Comprimento da crista - l (m)**		**Comprimento dos taludes - L (m)**	
		RD	**RG**	**RD**	**RG**	**RD**	**RG**	**RD**	**RG**	**RD**	**RG**
T3	**Brigaudière**	2.62	2.46	0.50	0.33	5.22	7.99	..	..	..	..
	S1	2.60	2.62	4.11	3.85	0.63	0.68	2.40	6.26	13.42	12.15
	S2	2.46	2.50	3.01	3.62	0.82	0.68	3.02	2.26	10.12	8.14
	PT10	2.69	2.69	3.40	3.73	0.79	0.72	5.09	1.82	12.54	9.61
	S3	2.23	2.62	2.95	3.83	0.76	0.58	1.92	1.60	9.41	11.94
	PT9	2.59	2.20	2.68	3.11	0.97	0.83	0.00	0.51	7.01	8.57
	S4	2.13	2.28	1.69	3.44	1.26	0.62	2.75	0.00	9.04	9.20
	PT8	2.47	2.23	1.70	2.81	1.45	0.88	1.29	0.70	6.06	7.86
T2	**Passerelle**	1.89	1.79	0.06	0.20	31.50	9.45	..	..	..	..
	S5	1.67	1.04	0.51	1.79	3.27	0.93	3.35	2.97	6.38	8.33
	PT7	1.24	1.58	0.94	1.35	1.32	0.92	4.81	1.13	10.15	5.95
	PT6	1.22	2.34	1.65	4.33	0.74	0.28	1.01	0.74	4.86	7.46
	PT5	1.75	2.38	4.54	2.34	0.39	0.75	0.00	1.76	12.15	6.88
	PT4	2.85	1.85	4.54	3.66	0.63	0.78	1.60	0.96	15.16	7.59
	PT3	3.06	2.97	3.54	3.50	0.86	0.87	2.35	4.63	7.30	13.48
	S6	1.92	2.28	1.65	2.54	1.16	0.76	1.30	4.05	7.45	8.35
T1	**Pont**	2.06	2.16	0.592	0.768	3.48	2.68	..	..	..	..
	PT2	2.44	5.34	2.86	3.36	0.85	0.73	1.23	5.72	9.58	10.15
	S7	2.77	3.32	1.82	3.25	1.52	0.85	0.00	0.91	5.07	7.00
	PT1	2.04	2.93	2.44	1.88	0.84	1.09	4.28	1.95	10.05	10.40
	S8	2.29	2.62	1.63	-	1.40	-	..	..	..	..
	Meinget	2.00	2.00	-	-	...	...	..	..	..	..

Tabela 13 - Características geométricas detalhadas das seções
(conclusão)

Perfil Transversal		Taludes voltados para o Terreno Natural						Leito	
		Altura/ TN - h (m)		β		Inclinação (m/m)		Dist. acumulada (m)	Comprimento fundo do leito - B(m)
		RD	RG	RD	RG	RD	RG		
	Brigaudière	..	..	..	..	..	..	759.82	3.88
	S1	2.88	1.21	6.91	2.04	0.42	0.59	693.90	2.32
	S2	2.56	0.62	4.09	2.26	0.63	0.27	657.32	2.43
T3	**PT10**	1.81	2.69	4.05	4.06	0.45	0.66	603.27	3.13
	S3	2.60	2.90	4.54	6.51	0.57	0.45	535.32	3.12
	PT9	1.95	2.46	4.33	4.95	0.45	0.50	508.82	2.81
	S4	2.67	2.50	4.60	5.76	0.58	0.43	476.33	2.93
	PT8	1.83	2.34	3.07	4.35	0.60	0.54	421.50	3.27
	Passerelle	..	..	..	..	..	..	379.39	3.29
	S5	2.00	1.62	2.52	3.57	0.79	0.45	364.96	3.75
	PT7	0.97	0.80	4.40	3.47	0.22	0.23	355.75	3.72
T2	**PT6**	1.13	1.48	2.20	2.39	0.51	0.62	342.90	1.75
	PT5	2.33	1.27	7.61	2.78	0.31	0.46	310.22	3.51
	PT4	1.68	0.42	9.02	2.97	0.19	0.14	277.53	2.03
	PT3	1.00	1.23	1.41	5.35	0.71	0.23	231.19	2.95
	S6	0.15	0.54	4.50	1.76	0.03	0.31	214.54	2.66
	Pont	..	..	..	..	..	..	206.64	3.35
	PT2	1.40	0.66	5.49	1.07	0.26	0.62	129.51	3.52
	S7	0.57	1.38	3.25	2.84	0.18	0.49	84.64	2.76
T1	**PT1**	0.92	0.39	3.33	6.57	0.28	0.06	41.26	3.25
	S8	..	..	..	..	..	..	16.26	3.66
	Meinget	..	..	..	..	..	..	0.00	3.88

Fonte: elaboração própria. Nota: Sinal convencional utilizado: - Dado numérico igual a zero não resultante de arredondamento; .. Não se aplica dado numérico; ... Dado numérico não disponível.

Legenda:



ANEXO 3 Histórico detalhado das de cheias, do rio do Lavanchon

(continua)

Fonte	Data	Descrição
[1]	23/07/1914	Grande inundação do ribeirão de Charbonniers, ocasionando alagamentos das propriedades e residências. O Lavanchon também transbordou na planície de Risset.
[3]	1931	Grande inundação; ponte parcialmente demolida por uma súbita inundação; reconstrução necessária.
[1], [2]	11/07/1951	Aportes oriundos do rio dos Coins geram uma grande inundação súbita do rio Lavanchon e transbordamento no nível de Brigaudière e em Martinais-d'en-Haut.
[3]	Julho1952	Grande inundação do rio de Riondet, durante a qual 50 m^3 de terra e pedras foram depositados em uma propriedade.
[1], [2]	10/12/1953	Várias pequenas barragens são danificadas à jusante de St Paul-de-Varces e os terrenos ribeirinhos foram inundados entre Allières-Risset e o rio Drac.
[1], [2], [3]	09/02/1955	Lavanchon: rupturas de diques à jusante de St Paul-de-Varces (Martinais d'en Haut e Martinais d'en Bas); campos danificados pelo grande aporte de sedimentos (cerca de dez mil m^3 de material na planície de Risset); ponte do Meinget foi levada pela enxurrada. Charbonniers: inundação muito forte e súbita, carregada de sedimentos do braço do Rueffat, após destruição de um reservatório de água, à montante de uma obstrução no curso d'água. Houve transbordamento sobre a maioria das pontes, sendo algumas evacuadas como medida de precaução; várias propriedades e casas da vila foram inundadas.
[1]	Natal 1968	Última inundação particularmente significativa do Lavanchon em St Paul-de-Varces, em consequência de um período chuvoso de mais de uma semana. O rio não transbordou, mas foi necessária uma intervenção na maioria das pontes móveis ainda presentes na época, à partir de Brigaudière, antes que estas fossem levadas pela enxurrada.
[3]	26/06/1970	Inundação com grande aporte de sedimentos proveniente do rio de Coins e inundação no bairro denominado Mallets.

(continuação)

Fonte	Data	Descrição
[3]	1980	Grande inundação no bairro denomidado Combes, onde o ribeirão transbordou e uma grande quantidade de lama invadiu uma casa. Existem testemunhas da ocorrência de inundação nos bairros denominados Râcles e Bascule.
[1], [3]	Primavera de 1984	Corridas de massa[14] sucessivas sobre o rio de Coins devido a um desmoronamento de uma falésia em fevereiro. Zona de chegada: confluência do rio de Coins/Lavanchon e no bairro denominado Mallets.
[1]	Junho 1986	Corridas de massa sobre os rios Coins e Echarina.
[1], [3]	Verão 1987	Novamente ocorrência de corridas de massa sobre os rios Coins e Blanc.
[1], [3]	Primavera 1988	Ocorrência de corridas de massa consecutivas (maio) e desmoronamento de blocos de rocha (junho) sobre o rio Echarina, seguida de um desmoronamento de 1 a 3 milhões de m^3 que ocorreu no alto da bacia em 28 de abril.
[3]	Abril 1889	Desmoronamento rochoso nas ravinas do rio Charbonniers. Danos: duas casas no bairro de Balmets e de Devets seriamente ameaçadas. Queda de blocos de rochedos durante cerca de 25 minutos.
[1]	Dezembro 1992	Inundação forte causada por chuvas abundantes. Os diques foram danificados, mas nenhum transbordamento ocorreu. De acordo com os testemunhos recolhidos, essa inundação foi comparável a do mês de fevereiro 1955.
[3]	08/06/1996	Transbordamento dos rios Brise Tourte. Causa: tempestade violenta.

[14] Os movimentos de massa são definidos como o transporte coletivo de material rochoso e/ou de solo, onde a ação da gravidade tem papel preponderante, podendo ser potencializado, ou não, pela ação da água. Já a modalidade de movimentos de massa caracterizados pela relativa rapidez no processo de escoamento de solo ou composto de solo e rocha com massa de aspecto viscoso são denominadas corridas de massa, que “abrangem uma gama variada de denominações na literatura nacional e internacional (corrida de lama, mudflow, corrida de detritos, corrida de blocos, debrisflow, laves torrentielles etc.), principalmente em função de suas velocidades e das características dos materiais que mobilizam (CANEPARO; PASSOS; PINTO, 2012).

(continuação)

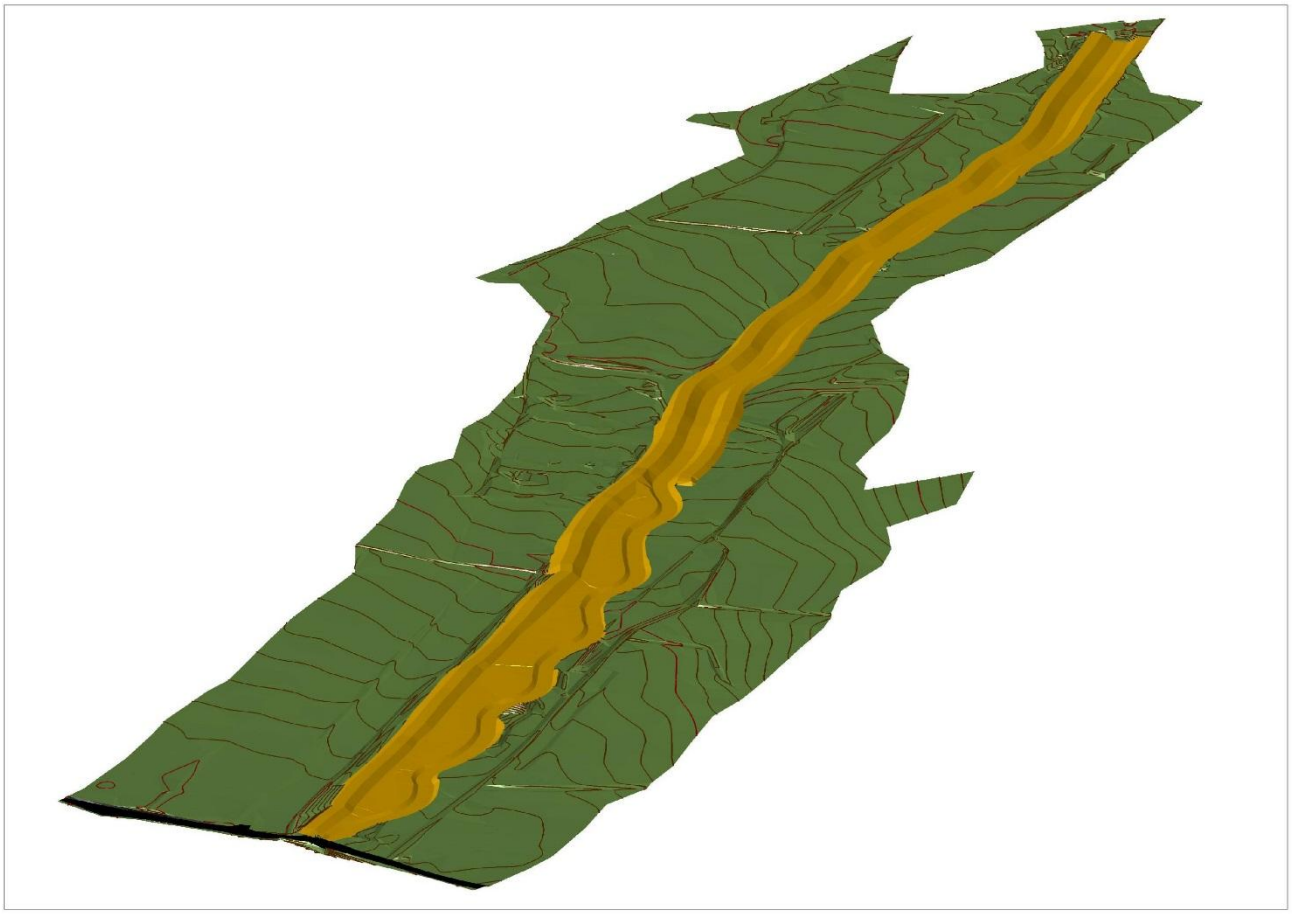
Fonte	Data	Descrição
[3]	Julho 1997	Erosão devido a más práticas culturais à montante de Meinget. Local: Chabertière - Meinget. Zona de partida: 430 à 345m. Zona de chegada: 345 à 330m. Danos e vítimas: lama e pedras no nível de uma propriedade à montante da estrada de St. Paul à Combes e no muro de contenção no limite de um pomar. Quanto às terras cultivadas, parcela de milho (~4,5 ha) apresentou ravinas. Causas: tempestade muito violenta em 10 julho. Cultura de milho à montante cultivada no sentido da inclinação do terreno e sem cobertura herbácea; erosão superficial generalizada.
[1]	12/08/1998	Inundação do bairro de Maubourg por transbordamento do rio Brise-Tourte. Causa: tempestade violenta de duração de 30 minutos. Danos e vítimas: cerca de vinte casas inundadas. Sem impacto sobre o Lavanchon e o Echarina (tempestade bem localizada).
[3]	24/12/2000	Deslizamento na margem direita da ravina de Charbonniers. Causas: desprendimento de rochas muito fraturadas.
[1]	Novembro 2002	Forte cheia depois de um longo período de chuvas, que gerou prejuízos significativos para as obras de estabilização do perfil longitudinal do Lavanchon nos limites de St Paul-de-Varces.
[1]	16/08/2003	Tempestade importante provocando uma cheia sobre o rio de Charbonniers: sem transbordamento, porém com aportes de materiais sólidos significativos na margem direita.
[1]	Primavera 2004	Grande inundação de dois afluentes da margem direita do rio Charbonniers à jusante da nascente de Mousses, seguido da queda de rochedos na cota de 840 m sobre as falésias (outono de 2003 e após a primavera de 2004).
[3]	01/06/2007	Cheia dos rios Cognat/Saunier; ocorrência de corridas de masse no bairro Saunier. Causas : chuvas abundantes durante a notie de 31 maio de 2007. Transporte de matériais sólidos com erosão do fundo do leito. Depósito de materiais nas curvas do rio. Transbordamento na margem esquerda à montante do bairro após deslizamento ao longo da via que atravessa a estrada.

(conclusão)

Fonte	Data	Descrição
[3]	09/08/2009	Chuva com grande aporte de sedimentos dos rios Cognat/Saunier, Coins/Blanc, Echarina , na parte à montante do Lavanchon. Causa: tempestade violenta na borda oriental do Vercors, entre a floresta de Gerbier e o pico St Michel, entre 16h30 e 17h. Duração do fenômeno: no nível do Cognat/Saunier as corridas de massa começaram às 17h, na parte à jusante; esta durou das 17h15 às 17h30. Zona de chegada: até a barragem de contenção de sedimentos, na altitude de 540m, para os aportes provenientes do Echarina, e mais à jusante para os rios Coins/Blanc e Lavanchon, na altitude de 500m, com obstrução parcial do curso d'água. A ponte da pist do Gros Moran foi preenchida 100% pelas corridas de massa, sem transbordamente na pista.
[3]	29/07/2013	Grande enchente (corridas de massa até a estrada da Lampe). Local: Brise Tourte/ Bairro de Maubourg. Causas: tempestade violenta e chuvas intensas em 28 e 29/07. Zona de chegada: primeiro depósito da pista florestal e segundo depósito nos campos próximo às residências.

Fontes: [1] Estudo Geo + 2007 / [2] Alp'Georisque 1993 / [3] Office National des Forêts. Ficha de registro de eventos.

ANEXO 4 Desenho estereoscópico da solução escolhida pelo Sindicato do Lavanchon



ANEXO 5 Inspeção visual dos diques - metodologia detalhada

A metodologia utilizada para a inspeção visual dos diques foi estabelecida pelo Irstea / Cemagref, no Guia prático para uso por proprietários e gestores - acompanhamento, manutenção e diagnóstico de diques de proteção contra inundações (P. Mériaux, P. Royet, C. Folton - Edições Cemagref 2001). Baseou-se também na metodologia preconizada no Estudo de diques em margem esquerda do *Var à Puget-Théniers* - diagnóstico aprofundado RTM Service de Nice.

As 3 partes das estruturais que foram inspecionadas foram as seguintes:

- Os taludes e pés dos diques na face orientada para o rio;
- A crista; e
- Os taludes e pés dos diques na face orientada para o terreno natural.

Cada seção identificada foi o objeto de uma Ficha de Restituição anexada neste estudo. As fichas compreendem uma primeira parte de informações gerais:

- Sobre os diques marginais e as seções: local, referência métrica de base e localização sobre o linear de estudo;
- Sobre as inspeções: data, responsável pelas vistorias, técnicos e senso da realização da inspeção.

Em seguida, realiza-se uma descrição das obras associadas ao setor de estudo e problemas observados em cada seção. Eles são referenciados de forma linear em relação ao início da seção e ao ponto de referência, e localizados sobre o mapa síntese sobre o estado estrutural dos diques (Figura 12). A parte da obra em questão é especificada, assim como o tipo de problema segundo os códigos a seguir:

Tabela 14 - Código de referência da parte da obra descrita

Código	**Parte da obra**
TAL	Taludes
PB	Proteção de taludes
COR	Corpo de dique
COU	Barragem de regularização de nível
OSG	Obras associados ao setor de estudo
AUT	Outra (a ser especificado)

Tabela 15 - Código de referência do tipo de problema identificado

Código	**Tipo de problema**
MVT	Movimento de terra (subsidência / compactação / deslizamento)
ERT	Erosão fluvial
INST	Instabilidade dos blocos / Risco de desmoronamento
AUT	Outra (a ser especificado)

Cada ficha de restituição é qualificada de acordo com o seguinte código risco:

Tabela 16 - Código de risco das fichas de restituição.

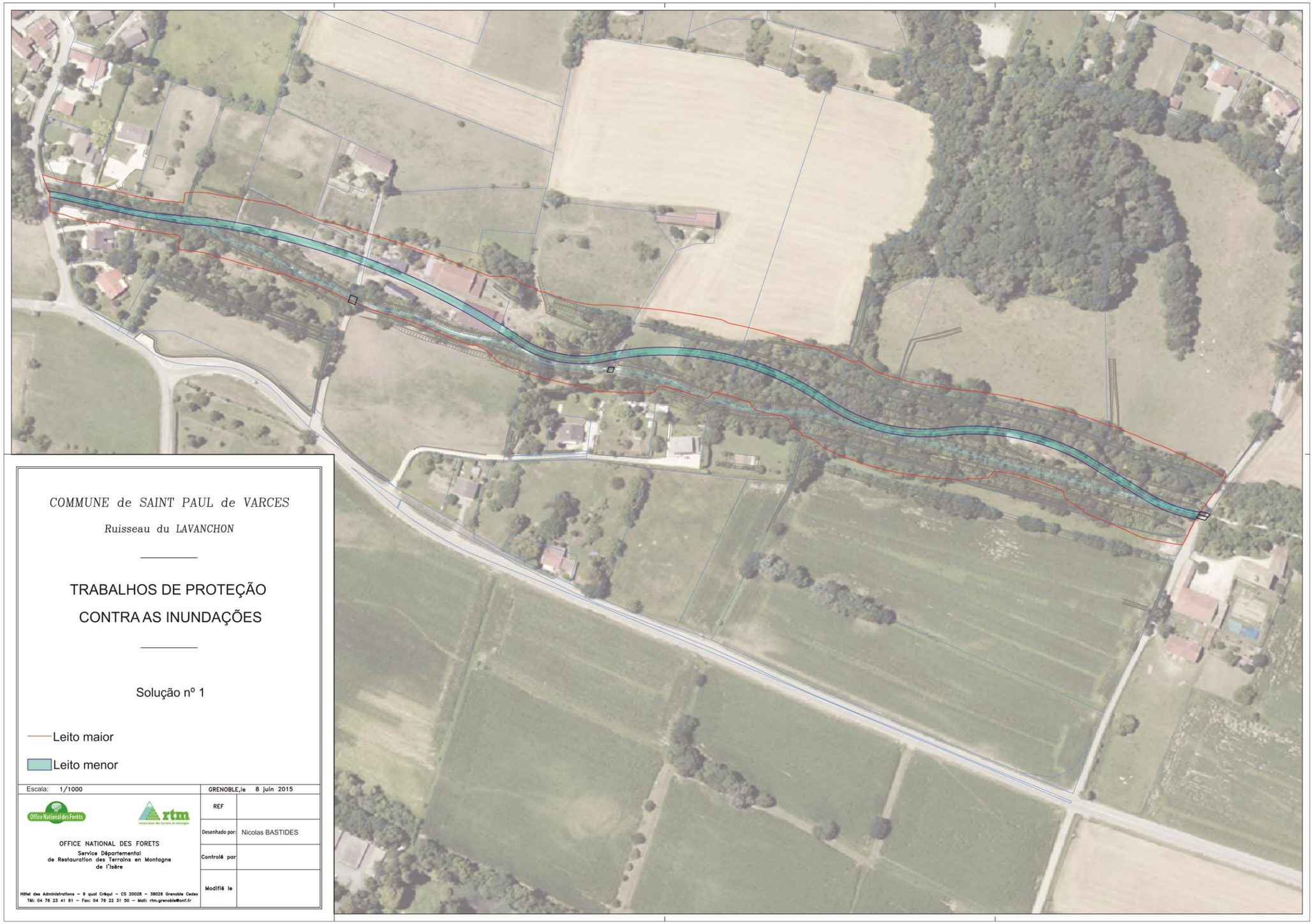
A	Ausência de risco com nenhuma necessidade de intervenção
B	Risco menor de ruptura
C	Risco médio de ruptura
D	Risco alto de ruptura

Cada problema identificado é classificado com um nível de gravidade de acordo com a seguinte legenda:

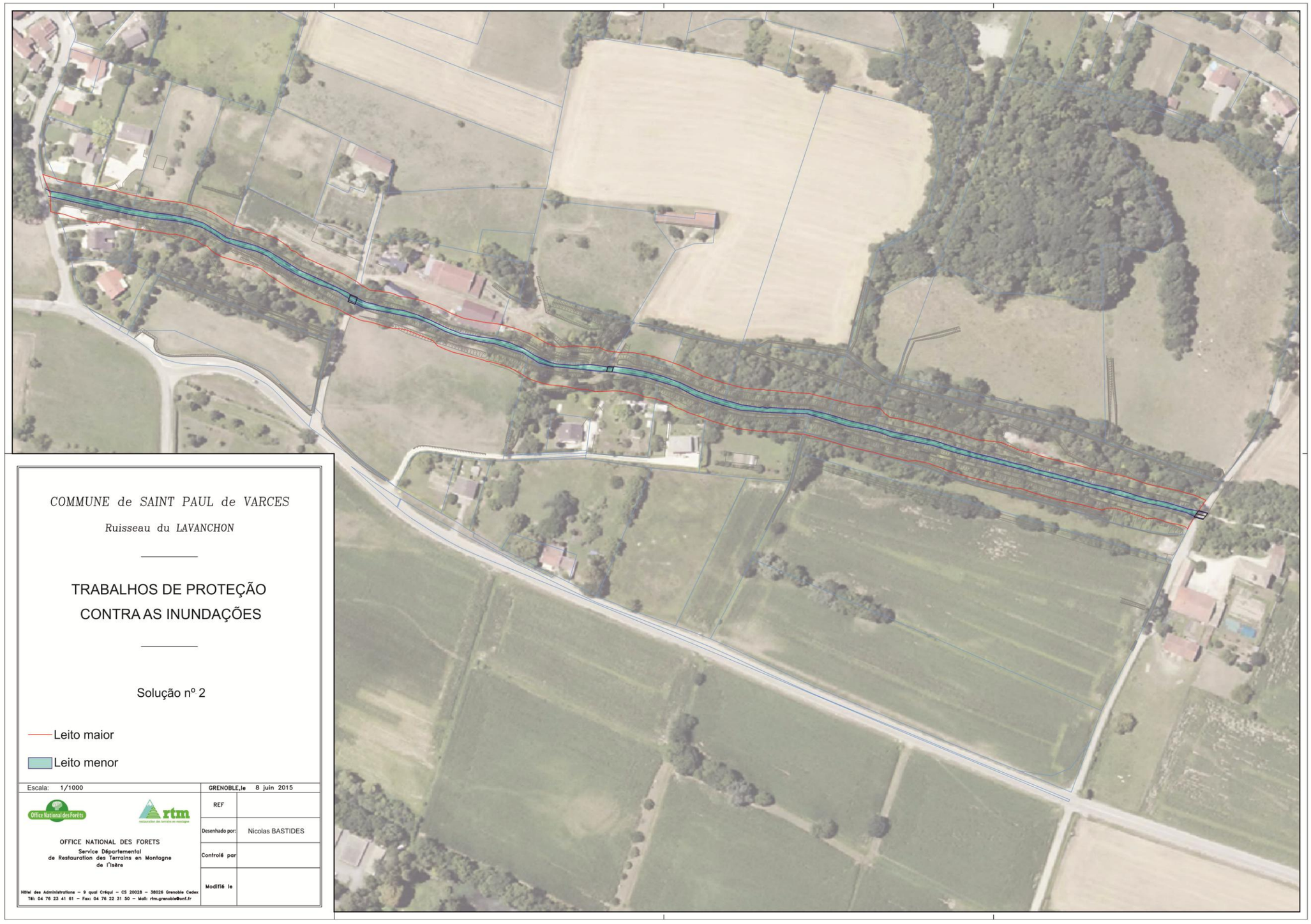
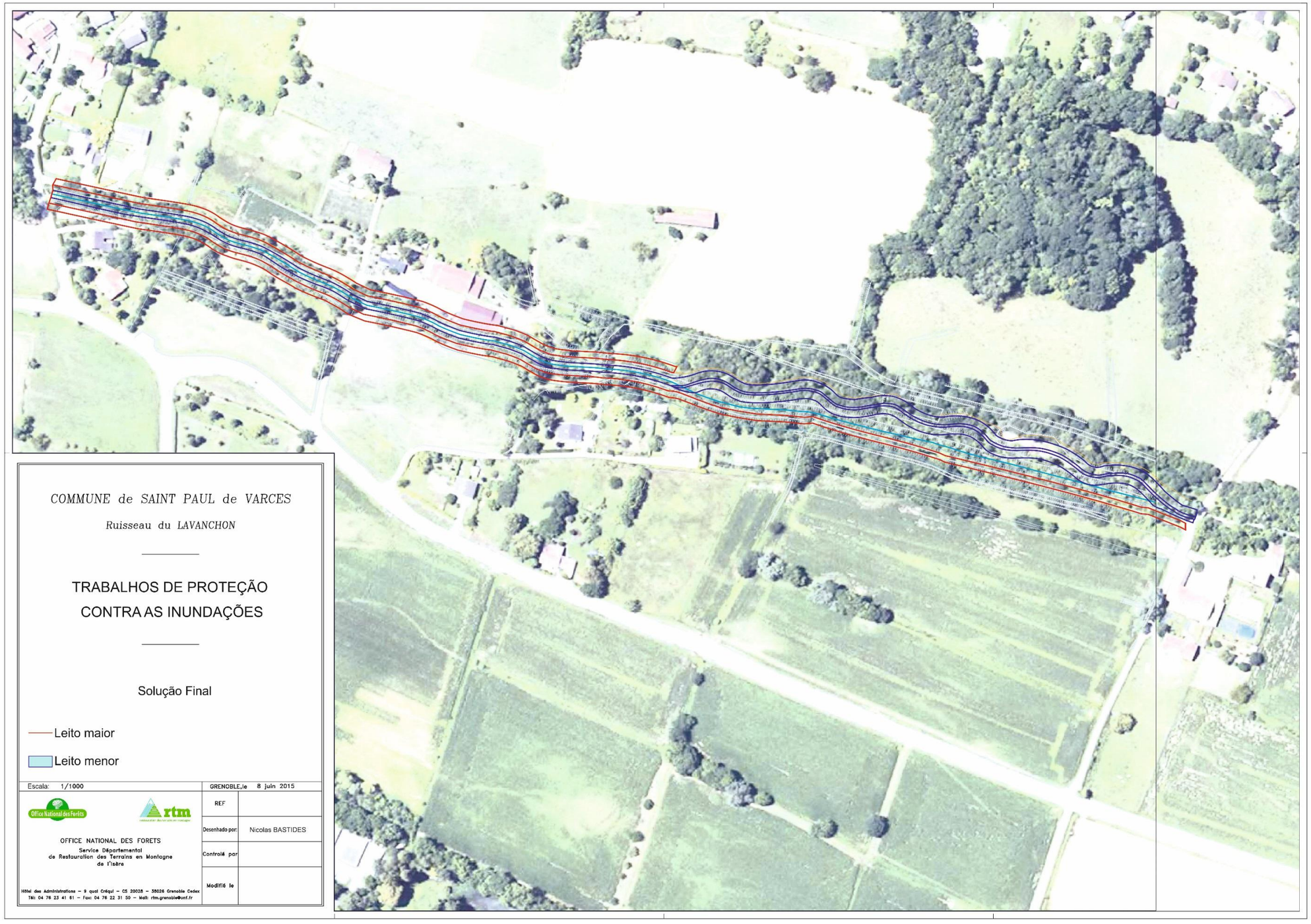
Tabela 17 - Índice de gravidade dos problemas observados.

0	Problema menor e sem gravidade, não sendo necessário de nenhuma intervenção até o momento - evolução à ser monitorada por visitas de rotina.
1	Problema de intensidade média que necessita de uma intervenção à médio prazo - evolução a ser monitorada particularmente após episódios de cheia.
2	Problema de intensidade alta, grande abrangência e/ou que afeta uma área particularmente estratégica, cuja deterioração poderá colocar em risco a aptidão funcional da obra.
3	Problema grave, de intensidade alta, tornando os diques marginais não funcionais e/ou os ameaçando de ruína.

ANEXO 6 Mapa com o traçado da solução 1 - S1, proposta para resolver os problemas detectados



ANEXO 7 Mapa com o traçado da solução 2 - S2; qual seja, manutenção do leito próximo ao atual.



ANEXO 8 Traçado da solução escolhida pelo Sindicato do Lavanchon