

## CARACTERIZAÇÃO DO CARSTE ARENÍTICO DE FONTAINEBLEAU (ÎLE DE FRANCE, FRANÇA)

*CHARACTERIZATION OF FONTAINEBLEAU SANDSTONE KARST (ÎLE DE FRANCE, FRANCE)*

Rubens Hardt (1,2), Joël Rodet (2) & Sergio dos Anjos Ferreira Pinto (1)

(1) Universidade Estadual Paulista (UNESP).

(2) Université de Rouen (França).

Contatos: [rubens.hardt@gmail.com](mailto:rubens.hardt@gmail.com); [joel.rodet@univ-rouen.fr](mailto:joel.rodet@univ-rouen.fr); [sanjos@rc.unesp.br](mailto:sanjos@rc.unesp.br).

### Resumo

A região de Fontainebleau (Île de France) apresenta diversos elementos cársticos em arenitos, associados à evolução geomorfológica da área, condicionada por controle estrutural e dissecação dos vales. O presente trabalho descreve os elementos cársticos encontrados na área, com formas pretéritas e atuais, mostrando tratar-se de um processo iniciado no passado e ainda ativo.

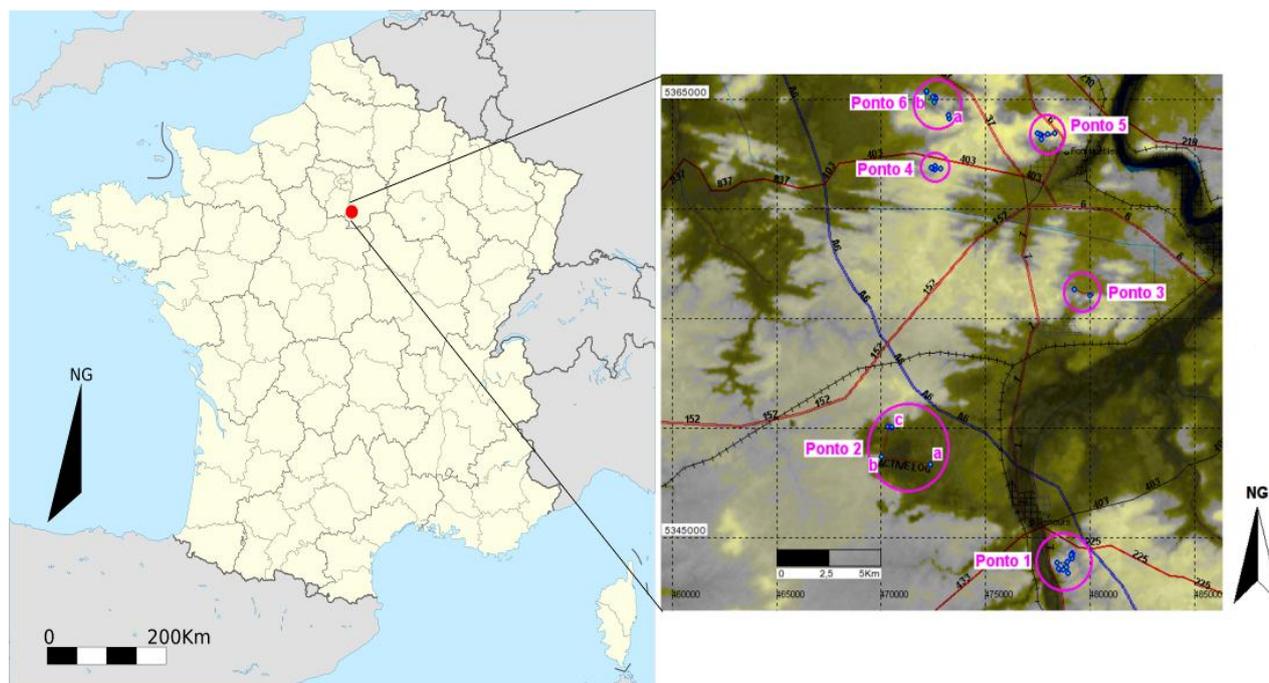
**Palavras-Chave:** Relevo cárstico, Carste em arenito, Fontainebleau.

### Abstract

*The region of Fontainebleau (Île de France) has several karstic elements in sandstones associated with the geomorphological evolution of the area, conditioned by structural control and dissection of the valleys. This paper describes the karstic elements found in the area, past and present forms, showing that this is a process initiated in the past that remain active.*

**Key-words:** Karst formations, Karst in sandstone, Fontainebleau.

### Localização



**Figura 1** – Localização. Organizado por Rubens Hardt, 2011, a partir de Mapa digital disponível em [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:France\\_location\\_carte-Regions\\_and\\_departements.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:France_location_carte-Regions_and_departements.svg), consultado em 23 de março de 2011, modificado com dados de campo, e de imagem SRTM trabalhada em SIG. O ponto vermelho indica a localização em território francês. As áreas estudadas são apresentadas em rosa.

## Caracterização regional

Constitui-se de um complexo envolvendo um relevo cuestasiforme em rochas de idade que variam do Eoceno ao Mioceno, expostas, erodidas e trabalhadas pelos processos intempéricos, sobretudo no Quaternário, recoberta por uma densa cobertura vegetal (floresta), e com condicionantes estruturais bem marcados.

Tem em sua região central a cidade de *Fontainebleau*, que dá nome ao conjunto, estando situado na região administrativa de *Île de France* (região de Paris), no departamento francês de *Seine-et-Marne* e uma pequena parte no setor oeste já no departamento de *Essonne*, situando-se cerca de 50 km ao sul de Paris.

A hidrografia regional pertence a bacia do rio Sena, sendo este a principal drenagem que corta a região. A parte sul do maciço é drenada pelo rio *Loing* e seus afluentes, desaguando no Sena nas proximidades de *Moret*, e o setor noroeste é drenado pelo rio *Ecole*, que se encontra com o Sena já ao norte, nos limites da região do Maciço de *Fontainebleau* (LOISEAU, 1970).

Do ponto de vista hidrológico, as alternâncias de camadas de rochas permeáveis e impermeáveis determinam aquíferos diferentes. (LABOURGUIGNE & TURLAND, 1974).

Muitas drenagens secundárias (afluentes) tem suas nascentes no maciço de *Fontainebleau*, onde uma competição entre o gradiente hidráulico (sentido que a água tende a seguir em função da gravidade) e a estrutura rochosa (a maior porosidade da rocha, em função de tectonismo) competem pelo canal de drenagem, com os canais se estabelecendo, sobretudo em seu início no controle estrutural WNE-ESE, migrando pouco a pouco para o sentido Norte (gradiente hidráulico).

A ocupação humana vem desde a pré-história, como atestam as inscrições rupestres e outros vestígios arqueológicos encontrados na área, e a principal atividade econômica foi a extração de rochas (mineração) com a finalidade de utilização na construção civil. Também já foi uma área de caça (AAFF, 2006).

Trata-se ainda de um importante refúgio da vida animal, sendo o habitat de diversas espécies de mamíferos e répteis, constituindo-se uma região a ser protegida, pertencendo ao governo francês desde 1957 (LOISEAU, 1970).

Terrenos silicosos, muito ácidos, impróprios para a cultura, a muito são ocupados pelas florestas,

embora em suas vizinhanças, platôs calcários recobertos por húmus, férteis e completamente tomados pelos cultivos (MICHEL, 2005).

## Contexto geológico

Após os últimos depósitos marinhos da greda Senoniana, datados do Campaniano (Cretáceo superior), um longo período de imersão se instala, modelando a superfície da greda e conferindo-lhe uma forma irregular. É sobre este substrato que os sedimentos do Terciário irão se depositar. Na região, os primeiros depósitos conhecidos são atribuídos ao Ipresiano, caracterizado pela sedimentação de um material detrítico arenoso-argiloso, de origem fluvio-lacustre. Este período é seguido por um regime laguno-lacustre, com o depósito de calcários, mames e dolomitos do Luteciano. O topo deste estágio é caracterizado por uma incursão marinha de fraca amplitude, vinda do N-NW que não recobriu o conjunto todo. Sobreveio um novo período laguno-lacustre que corresponde ao Bartoniano: Areias de Beauchamp e Calcários de Saint-Ouen. O regime se torna então francamente lacustre no Ludiano, com o depósito dos Calcários de Champigny. O Eoceno termina pela instauração de um novo regime laguno-lacustre (margas supra-gipsosos) que se prolonga até o Oligoceno com o depósito dos margas verdes e da Formação de Brie.

É no Estampiano (*Stampien* – nome associado a região vizinha de *Étampes*, em *Essonne*, recebe também a denominação de *Rupeliano*), que ocorre uma importante transgressão marinha que recobre toda a área e deposita os arenitos de *Fontainebleau*. Um golfo marinho ocupava o centro da bacia parisiense, com aberturas para o Canal da Mancha e para o Atlântico. A origem dos grãos de areia provinha, particularmente, da erosão dos granitos que compõem o Maciço Central, ao sul. Na medida em que os depósitos se constituíam, as áreas emersas foram retrabalhadas pelo vento. Posteriormente, uma parte dos arenitos foi consolidada pela circulação de água no nível superior do lençol freático (MICHEL, 2005). No Estampiano superior, acontece a retração do mar, e a instalação de um regime lacustre que permite o depósito dos Calcários de *Étampes*.

Os arenitos de *Fontainebleau* constituem uma camada geológica que se estende sobre o centro da bacia de Paris. Pode atingir até 60 m de espessura em alguns locais. Afloram em grandes superfícies, e constituem o sub-solo da floresta de *Fontainebleau*.

Trata-se de um arenito silicoso, homogêneo e muito puro, em alguns casos, até 99,9% de sílica, com frequência apresenta uma coloração avermelhada, devido a presença de óxido de ferro, apresentam ao microscópio, formas polidas e brilhante, associada ao transporte em meio aquático. Próximo ao topo da camada, grãos raiados indicam transporte e deposição pelo vento. Apresentam poucos fósseis, ligados a um ambiente marinho de pouca profundidade, mas que permitem datar a camada de 35 milhões de anos (MICHEL, 2005).

### Relevo local

Thiry *et al.* (1984) e Thiry (2007), demonstram a natureza cárstica das formas por estarem associadas ao processo de dissolução da sílica. A evolução do relevo, no entanto, é complexa, possuindo formas cársticas pretéritas e atuais.

Entre o fim do Oligoceno e a época atual, a região é submetida a erosão, que contribui, em um primeiro momento com a fragmentação do Calcário de Brie. A partir do Plioceno e sobretudo no Quaternário, efetua-se a abertura dos vales que vai resultar na morfologia conhecida hoje. Os períodos mais calmos produzem os aluviamentos pelos rios, conduzindo a importantes depósitos de materiais, cujos diferentes terraços são os testemunhos.

O platô de *Fontainebleau* constitui uma antiga superfície de aplainamento, que trunca diversos estratos rochosos. Devido a um processo de silicificação do relevo, este se mostra resistente a erosão, permitindo que, quando os rios passaram a escavar os vales, tenha ocorrido uma inversão de relevo.

Tal inversão permite que a antiga superfície de erosão, outrora baixa no relevo, fique elevada em relação à topografia atual, implicando em uma lenta migração do freático de um nível mais alto aos níveis atuais.

Este lento rebaixamento do freático permite que diversos processos geoquímicos atuem na rocha, sendo o veículo que produz a migração da sílica, provocando o aparecimento de condutos horizontais referentes a um fluxo lateral em direção a um nível de base local, e condutos verticais, que se associam ao rebaixamento do freático, conduzindo a capturas de níveis freáticos superiores para inferiores.

Atualmente, o relevo se mostra como um platô sobre uma superfície rebaixada, sendo que a

conexão deste platô com a superfície se faz de forma abrupta, na forma de escarpas, com o acúmulo de blocos na base da vertente.

É nas formas residuais do platô, ou em rocha exposta na superfície cimeira, que são encontradas às evidências de uma evolução cárstica pretérita no que se refere ao endocarste, e, sobre o maciço rochoso, as evidências superficiais de carstificação atual ou sub-atual.

### Pontos visitados

Diversos pontos foram visitados, visando ter uma cobertura aproximada da área e buscando uma visão tão completa quanto possível no período de tempo disponível para o trabalho. Tais pontos são apresentados no mapa de referência (em rosa, na figura 1).

#### Ponto 1 – Nemours

Neste local, alvéolos, tubos horizontais e verticais foram encontrados em profusão nos blocos rochosos fragmentados a meia encosta. Tais sistemas de condutos, horizontais e verticais, por estarem desconectados do relevo, nos permitem dizer que se trata de um sistema antigo, que se desenvolveram quando o aquífero se encontrava acima do nível atual.

As conexões encontradas entre os níveis de tubos superiores com níveis inferiores demonstram um sentido de fluxo e diversas capturas pela evolução do sistema de nível inferior. Estas migrações de pontos mais altos para pontos mais baixos dentro de um mesmo bloco rochoso, demonstram que o sistema acompanhou o rebaixamento do freático, conforme os rios da região escavavam os vales.

No topo do maciço, formas de dissolução na rocha exposta puderam ser observadas. Tais formas, de origem química, indicam que a carstificação de superfície continua ativa. As formas mais comuns são as kamenitzas, mas também se observaram formas de pavimentos tessalônicos, e microformas de dissolução.

Foram ainda observadas algumas formas deprimidas que se poderiam denominar de dolinas. No entanto, como a região serviu durante muito tempo como fornecedora de rocha para a construção, tais formas podem estar associadas a antigas áreas de mineração. Algumas, no entanto, parecem ser autênticas dolinas. A presença de neve

durante os trabalhos de campo pode ter encoberto evidências que poderiam retirar esta dúvida.

Complementando a visita neste local, visitou-se a *Grotte des Troglodytes*. Tal gruta, embora possua algumas formas de dissolução e evidências de capturas de níveis superiores, é formada por grandes blocos abatidos, e, portanto, a sua origem não pode ser atribuída à atividade química unicamente.

### Ponto 2a – Larchant

Existe referência no mapa regional de uma perda em plena área deprimida. Esta informação é importante pois evidencia a possibilidade de um desenvolvimento do endocarste na atualidade. Em função disso, foi feita uma incursão ao local da referida perda.

A dificuldade encontrada na área está relacionada ao uso antrópico. Além de ser uma área alterada, com a instalação de uma floresta de exploração de madeira, vários canais artificiais foram abertos no sentido da perda. Em alguns casos é difícil determinar se um canal é natural ou antrópico.

A perda encontrada no local é do tipo difusa, com a água desaparecendo em meio aos sedimentos. No momento da visita, se encontrava seca.

### Ponto 2b - Roche au Diable

Este local apresenta um conjunto bastante significativo de dutos e formas de adaptação às condições de drenagem de um antigo freático. Em alguns blocos rochosos, organizações de alvéolos, dutos verticais e horizontais, e formas de adaptação indicam uma evolução complexa conforme houve o rebaixamento do freático.

Impressiona a observação de formas que se desenvolveram independentes umas das outras, com o desenvolvimento de condutos que acaba interceptando algumas destas formas, enquanto outras parecem desconectadas do sistema. Foram identificados em uma mesma rocha, pelo menos cinco diferentes níveis horizontais, com conexões verticais entre eles. Considerando-se que a altura da rocha aproximava-se dos 10 m, a densidade de condutos demonstra que a atividade química foi intensa, e que o freático parece ter decido a uma velocidade constante no local, uma vez que a distribuição dos condutos é razoavelmente homogênea no sentido vertical.



Figura 2: Roche au Diable: Tubos horizontais e verticais, com formas de adaptação, indicam o rebaixamento do freático e a atuação da dissolução química e mecânica na rocha. (Ressaltadas em vermelho na segunda foto.)

Também neste local, foi visitada uma gruta verdadeira, ou seja, elaborada por dissolução da rocha, uma vez que esta se encontra no interior do maciço rochoso. Esta gruta sofreu forte impacto antrópico, tendo servido de moradia. No entanto, pode-se observar alguma conexão com a tectônica, mostrando que o desenvolvimento principal pode ter seguido uma linha de fraqueza, mas também se observou, em partes internas, o desenvolvimento de alvéolos, totalmente desconectados da tectônica, portanto de origem puramente química.

### Ponto 2c - Dame Jouanne

Neste setor do maciço de Fontainebleau, novamente se pode observar formas de dissolução como alvéolos e dutos. Da mesma forma que em pontos anteriores, é possível observar diversos níveis, com formas de adaptação que levam de um nível a outro.

Também foram observadas umas poucas formas de superfície. A tentativa de chegar na *Grotte Dame Jouanne* não foi bem sucedida.

### Ponto 3 - Grotte Beatrix

Esta gruta se caracteriza por um amplo salão, com rupturas no teto que permitem a penetração da

água de superfície, formando estalactites de gelo, o que pode auxiliar a dismantelar o teto da gruta, na forma de uma ação mecânica. Tal parece ser a situação da área central à frente da gruta, onde aparentemente, um salão existia e o teto cedeu, em blocos fragmentados.

O interior da gruta, no entanto, apresenta um conduto rente a solo da mesma, no sentido do eixo maior do salão, característico de dissolução, na forma de três (ou mais) alvéolos conjugados. De teto baixo, mais largo que alto, o solo é formado por sedimento arenoso. Estima-se superior a 4 metros de extensão. O teto do salão principal apresenta vestígios de abatimento, talvez ligado a penetração da água e subsequente congelamento. Várias estalactites de gelo foram observadas onde havia fendas, podendo ser submetidas a um "stress" mecânico, que resultará na queda do teto.

Em superfície, foram observadas kamenitzas muito bem formadas, arredondadas ou alongadas, inclusive com um visor lateral. A presença de gelo no interior das kamenitzas permite mostrar claramente a depressão formada por estas. Também se encontram na área, alguns lapiás semi-arredondados. A natureza da rocha pode explicar as diferenças observadas em relação aos lapiás típicos do calcário.



**Figura 3:** Superior esquerda: Kamenitza nas proximidades da Grotte Beatrix. Superior direita: Kamenitza em Franchard. Inferior: Lagoa cárstica, com características de uma kamenitza, com dimensões de dolina.

#### **Ponto 4 – Franchard**

Na área do maciço denominada Franchard, novamente, vestígios de dutos estavam presentes nos blocos rochosos, mas as principais formas observadas foram as kamenitzas. Havia kamenitzas em profusão, demonstrando uma variação local, que permite o desenvolvimento destas formas de superfície.

Na parte superior do maciço, uma impressionante lagoa cárstica, que poderia perfeitamente ser denominada kamenitza, não fosse a sua dimensão, mostra um processo de dissolução ativa nas rochas de superfície, o que corrobora a constatação anterior de que o local deve possuir alguma variação que permite o aparecimento destas formas com bastante frequência.

#### **Ponto 5 - Mont Ussy**

Nas proximidades de Mont Ussy, existe um cruzamento denominado de "*Croix de Aujas*". Neste cruzamento havia uma gruta que, segundo relatos antigos, teria por volta de 100 m. Esta gruta foi fechada pela construção do viaduto do cruzamento.

No Mont Ussy propriamente, volta a se encontrar formas de tubos, horizontais e verticais, aparentemente característicos em toda a região, mas também se encontram belos exemplos de "*honey combs*" e pavimentos tessalônicos. Uma estranha forma de disco também foi identificada na área. Algumas depressões fechadas foram observadas entre os blocos, não aparentando se tratar de mineração para a retirada de rocha.

#### **Ponto 6a-Apremont**

Trata-se de uma área bem no topo do platô, onde além das kamenitzas, pode-se observar formas de erosão lateral, demonstrando que o freático esteve em alguns níveis específicos por um longo tempo, erodindo quimicamente pelas laterais e desenvolvendo uma base plana. O processo de formação se assemelha a de kamenitzas ou de poljes, mas em escala maior para o primeiro, e menor para o segundo.

Estas formas estão espalhadas na área, sem um sentido preferencial, circundando algumas rochas, indicando um ambiente de águas paradas ou de movimento lento, descartando-se assim, a erosão mecânica como sua origem.

#### **Ponto 6b – Barbizon**

Novamente, tubos verticais e horizontais, com formas de adaptação entre estes, estão presentes nos blocos rochosos. Também em superfície se encontram verdadeiros sistemas de kamenitzas com até cinco níveis.

Aqui também foram observadas formas de erosão lateral similares as encontradas em Apremont (ambas as áreas estão distantes poucos km entre si), mostrando que o fenômeno teve uma expressão regional.

Das grutas visitadas, no entanto, a "*Caverne des Brigands*" apresenta um desenvolvimento complexo, com a existência de diversas fases evolutivas, parte freática, parte vadosa.

Aproveitou-se também para visitar "*L'Eléphant*", famoso rochedo turístico regional com uma das principais manifestações de pavimento tessalônico da área.

#### **Considerações finais**

Os trabalhos em Fontainebleau confirmaram o que Thiry *et al.* (1984) e Thiry (2007) já haviam dito em seu trabalho. Trata-se de um carste. Nossas pesquisas mostram que, durante a evolução da paisagem, um carste se desenvolveu acompanhando o rebaixamento do freático. Isto fica evidente quando, em todos os locais visitados, encontram-se tubos horizontais e verticais. Os horizontais em diversos níveis, enquanto que os verticais apresentam ligações entre estes níveis e formas de adaptação, mostrando tratar-se de uma evolução de um nível ao outro.

Se os tubos apresentam as características de um endocarste, em superfície encontram-se, com muita frequência, kamenitzas, demonstrando que o processo de carstificação continua ativo em nível superficial. Alguns exemplos de kamenitza são significativos, mostrando sistemas complexos em evolução, podendo auxiliar a entender como se formam grandes depressões fechadas.

Também foram encontradas formas de dolinas. Enquanto algumas parecem ter origem antrópica, ligadas a retirada de rocha para construção, outras são claramente formadas naturalmente, implicando em atividade cárstica.



**Figura 4:** Superior esquerda: Conjunto de kamenitzas escalonadas. Superior direita: Pórtico de acesso à *Caverne des Brigands*. Inferior esquerda: Forma de erosão lateral típica de freático estacionado por um longo período. Inferior direita: Planta estimada da *Caverne des Brigands*.

Entre os locais visitados, observa-se que, embora exista uma certa constância de determinadas formas (tubos e kamenitzas principalmente), existem locais em que os tubos predominam, ou há a predominância de kamenitzas, ou ainda, alguma forma específica se faz presente em abundância, não existindo ou existindo em pouca quantidade em outros locais. Estas variações localizadas, se bem compreendidas, pode auxiliar a entender a evolução morfológica regional.

Dentre as formas cársticas encontradas, a presença de cavernas, algumas nitidamente associadas à dissolução, destaca a dinâmica de carstificação. A "*Caverne des Brigands*" é o melhor

exemplo dos visitados de uma evolução complexa, passando por uma fase freática, e pelo menos duas vadosas, mostrando que ainda existe muito a ser investigado no setor.

Finalmente, a presença de zonas de alteração nas rochas, demonstra que a atividade química se faz presente e é significativa para a evolução do relevo.

Em conclusão, embora ainda se tenha muito a estudar para se obter uma compreensão do sistema cárstico local, a presença deste é incontestável, e carece de uma maior dedicação por parte de carstólogos, pois trata-se de um importante exemplo de carste não carbonático.

## BIBLIOGRAFIA

AAFF. **Guide des sentriers de promenade dans le massif forestier de Fontainebleau**. 6ème édition. Fontainebleau: 2006.

- BRANAGAN, D. F. Tesselated Pavements. In: YOUNG, R. W.; NANSON, C. G. **Aspects of Australian Sandstone Landscapes**. Australian and New Zealand Geomorphology Group Special Publication No. 1. Wollongong: University of Wollongong, 1983.
- LABOURGUIGNE & TURLAND. **Carte géologique de France - Merlun et Fontainebleau**. IGN, Paris: 1974. Reimpressão 2007.
- LOISEAU, J. **Le massif de Fontainebleau**. (2 volumes) Vigot Frères, Éditeurs. Paris: 1970.
- MICHEL, F. **Roches et paysages**. BRGM Éditions, Orléans: 2005.
- THIRY, M. PANZIERA, J-P; SCHMITT, J. M. Silicification et désilicification dès grés et dès sables de Fontainebleau. **BGBP, Vol. 21 (2)** Paris:1984.
- THIRY, M. Siliceous karst development in the Fontainebleau Sandstone (France). **Nature Conservation, 63**: 77–83. 2007.