



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE



ESTUDOS SISTEMÁTICOS E ATUALIZAÇÕES EM SENSORIAMENTO REMOTO

Frederico Celestino Barbosa

Estudos sistemáticos e atualizações em sensoriamento remoto

1ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

1ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Frederico Celestino
B238E Estudos sistemáticos e atualizações em sensoriamento remoto
/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2024

54 f.: il

DOI: 10.37423/2024.edcl875

ISBN: 978-65-5367-450-9

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. superfície-terrestre 2. radiação-eletromagnética 3. sensores I. Barbosa, Frederico Celestino II.
Título

CDU: 550

<https://doi.org/10.37423/2024.edcl875>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORIA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

MSc Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Wesley Pacheco Calixto

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Frederico Celestino Barbosa

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc. Plínio Ferreira Pires

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

MSc Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Gabriela Cristina Borborema Bozzo

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

MSc Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	5
GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF BITUMINOUS SHALES FROM THE IRATI FORMATION, PARANÁ BASIN, BRAZIL BASED ON HYDROUS PYROLYSIS EXPERIMENTS	
Tais Freitas da Silva	
Gustavo C. Collares	
Marleny B. González	
Simone Barrionuevo	
Wolfgang Kalkreuth	
DOI 10.37423/240108664	
 CAPÍTULO 2	 33
ANÁLISE DA COBERTURA FLORESTAL EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E RESERVA LEGAL DE PROPRIEDADES RURAIS FAMILIARES DO NORTE DO MATO GROSSO.	
Diogo Feistauer	
Luiza Martins Turcatto	
Janize Augusta Ferro de Medeiros	
Paulo Emilio Lovato	
DOI 10.37423/240108667	
 CAPÍTULO 3	 44
PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NA ZONA URBANA DE PAU DOS FERROS– RN	
WESLEY DE OLIVEIRA SANTOS	
MANOEL JANUÁRIO DA SILVA JÚNIOR	
JOSÉ ESPÍNOLA SOBRINHO	
JANAÍNA CORTÊZ DE OLIVEIRA	
MARCOS ELIAS DE OLIVEIRA JÚNIOR	
OTÁVIO FLORIANO PAULINO	
DOI 10.37423/240108672	

Capítulo 1



10.37423/240108664

GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF BITUMINOUS SHALES FROM THE IRATI FORMATION, PARANÁ BASIN, BRAZIL BASED ON HYDROUS PYROLYSIS EXPERIMENTS

Tais Freitas da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Gustavo C. Collares

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Marleny B. González

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Simone Barrionuevo

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Wolfgang Kalkreuth

Universidade Federal do Rio Grande do Sul



Abstract: The Irati Formation has been object of many studies due the fine-grained rocks which have levels of total organic carbon contents (TOC) with potential of generation of hydrocarbons (oil and gas). The present study correlates petrological and geochemical aspects of Irati shale samples collected at three locations, identifying possible variations in TOC, depositional environments, organic matter composition and maturity, to point out levels with potential for oil and gas generation and storage along the Irati interval and its regional variations. The samples were collected at São Matheus do Sul, Paraná (1-SM); Pouso Redondo, Santa Catarina (2-PR); and Chico Lomã, in Rio Grande do Sul (3-CL). To evaluate the potential of samples for hydrocarbon generation open-system pyrolysis was performed on the original samples prior to hydrous pyrolysis showing that sample 3-CL has a good potential, and samples 1-SM and 2-PR have excellent potential for hydrocarbon generation. The Hydrogen Index (IH) and Oxygen Index (OI) indicate type I kerogen in the 2-PR and 1-SM samples, and type III for the 3-CL sample. The reflectance of Vitrinite (R_{random}) indicate immaturity in samples 1-SM and 2-PR, while the sample 3-CL is mature. Biomarker ratios indicate differences in source and depositional environments. The biomarker distribution in sample 3-CL points to terrigenous contribution, suggesting a possible deposition in a deltaic environment, whereas biomarker distribution in samples 1-SM and 2-PR suggest a lacustrine environment. Hydrous pyrolysis experiments applying different times (0, 16 and 72h) at same temperature (350°C) were performed to characterize the behavior of the organic matter during thermal maturation. The products of experiments (expelled oil and bitumen) showed different concentrations of saturated, aromatic and polar compounds. The concentration of heavy compounds predominates in the bitumen of samples 1-SM and 2-PR. The expelled oil showed a higher concentration of saturated compounds in samples 1-SM and 3-CL. The biomarker ratios analysis also showed a positive correlation with the increase in time of experiments.

Keywords: Irati Formation, biomarkers, hydrous pyrolysis, maturity

1.INTRODUCTION

The Paraná Basin is a sedimentary region of the South American continent with an area close to 1.500.000 km² located in the southern portion of Brazil (Figure 1). It covers the states of Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. It also extends into the northeast region of Argentina, northern Uruguay and eastern Paraguay, where it becomes the Chaco-Paraná Basin (Zalan et al., 1990). In the basin rocks rich in organic matter occur in the Devonian Ponta Grossa Formation, and in the Permian age Rio Bonito and Irati formations (Santos et al, 2006).

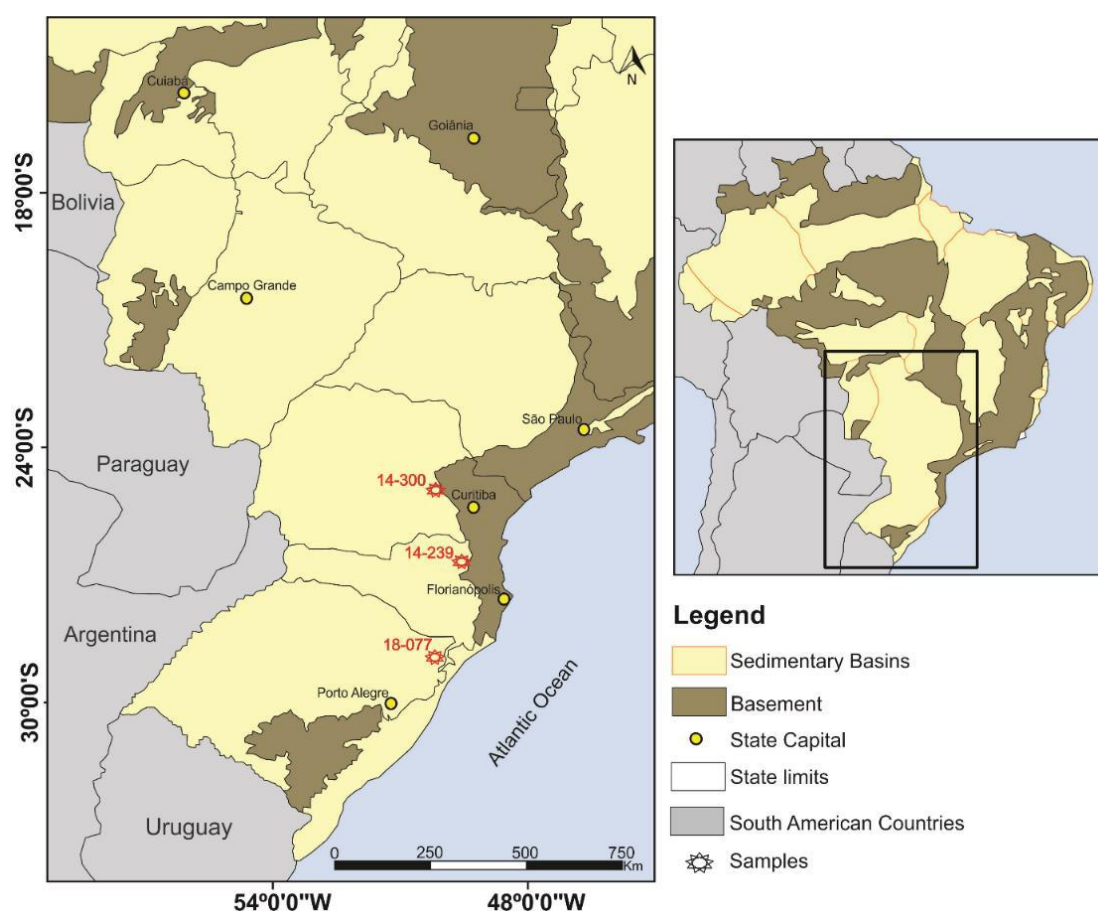


Figure 1. Location of Parana Basin, with geographic locations of the collected samples.

The Irati Formation bituminous shale is considered to have the highest potential for hydrocarbon generation within the basin, due to the high organic carbon content (TOC) in the rock. A profile of Irati Formation from the south to the north of the Parana Basin was studied by Araújo (2001), showing that the organic matter content of the shale presents good parameters for hydrocarbon generation. This is evidenced also by the fact that the national oil company, PETROBRAS, started the exploitation of the oil shale in the 80's (Milani et al, 2007). Although the TOC content of the Irati shale is very positive for oil and gas generation, there are other characteristics that are important to evaluate the potential of

a source rock, such as the maturity of the organic matter. In case of the Paraná Basin, most of the organic matter present in the shales is immature along the basin. However, in some places the Irati Formation is in contact with intrusive rocks of Mesozoic age, providing a secondary thermal alteration of the organic matter, reaching a maturation level needed for the generation of hydrocarbons (Araújo et al, 2000).

The objective of the present study was to correlate geological, petrographical and geochemical aspects of Irati shale samples collected at three locations, identifying possible variations in TOC, organic matter composition and maturity, depositional environments, in order to point out levels with potential for oil and gas generation and storage along the Irati interval and its regional variations. Also, this paper characterizes variations of the geochemical composition with increasing thermal maturity by hydrous pyrolysis experiments. The results will help to understand the effect of secondary thermal alteration on hydrocarbon generation, changes in the chemical composition and in the main geochemical parameters with the increase in maturity.

2.GEOLOGICAL SETTING

2.1 PARANÁ BASIN

The stratigraphic chart of the basin (Figure 2) shows that the strata is composed of a sedimentary-magmatic regime, where the maximum thickness is around 7000 m in its depocenter, which coincides with the Paraná river gutter (Milani et al., 2007). The sedimentary input in the basin was controlled by tectonic and sea level variations cycles, related with Gondwana evolution during the Paleozoic and Mesozoic. Milani (1997) separated the stratigraphic chart registration into six large-scale units or supersequences (Vail et al., 1977). The supersequences Rio Ivaí (Ordovician- Silurian), Paraná (Devonian) and Gondwana I (Carboniferous – Eotriassic) represents sediments related to transgressive- regressive cycles resulting from relative sea level oscillation in Paleozoic. Already the Gondwana II (Mid to Neotriassic), Gondwana III (Neojurassic – Eocretaceous) and Bauru (Neocretaceous) supersequences correspond to continental sediment packages associated with igneous rocks.

The Irati shale (Permian) is inserted in supersequence Gondwana I, that begins with the Itararé Group, which is marked by marine and continental glacial sediments, up to 1.400m thick, dominating the transgressive system tract. The Guatá Group (Figure 2), has the Rio Bonito formation at the base, a sandy deltaic front with alternate pelitic packages. The overlying Palermo Formation marks the

maximum flooding surface of Gondwana I and has a siltic – pelitic composition. Above this formation comes the Passa Dois Group, with the Irati Formation at the base, consisting of pelites, marl and bituminous shales in the southern portion of the basin, and sporadic limestones and evaporites in the northern portion. The Irati formation is overlain by the Serra Alta Formation (Figure 2), with fined grain sediments, that represents the last marine incursion into Paraná Basin. The overlying Teresina Formation (Figure 2) has neritic and coastal deposits marking a strong continentalism of the basin. The overlying Rio do Rastro Formation closes the supersequence, and its composed of fluvio-lacustrine sandstones and shales, located in the central region of the remaining basin.

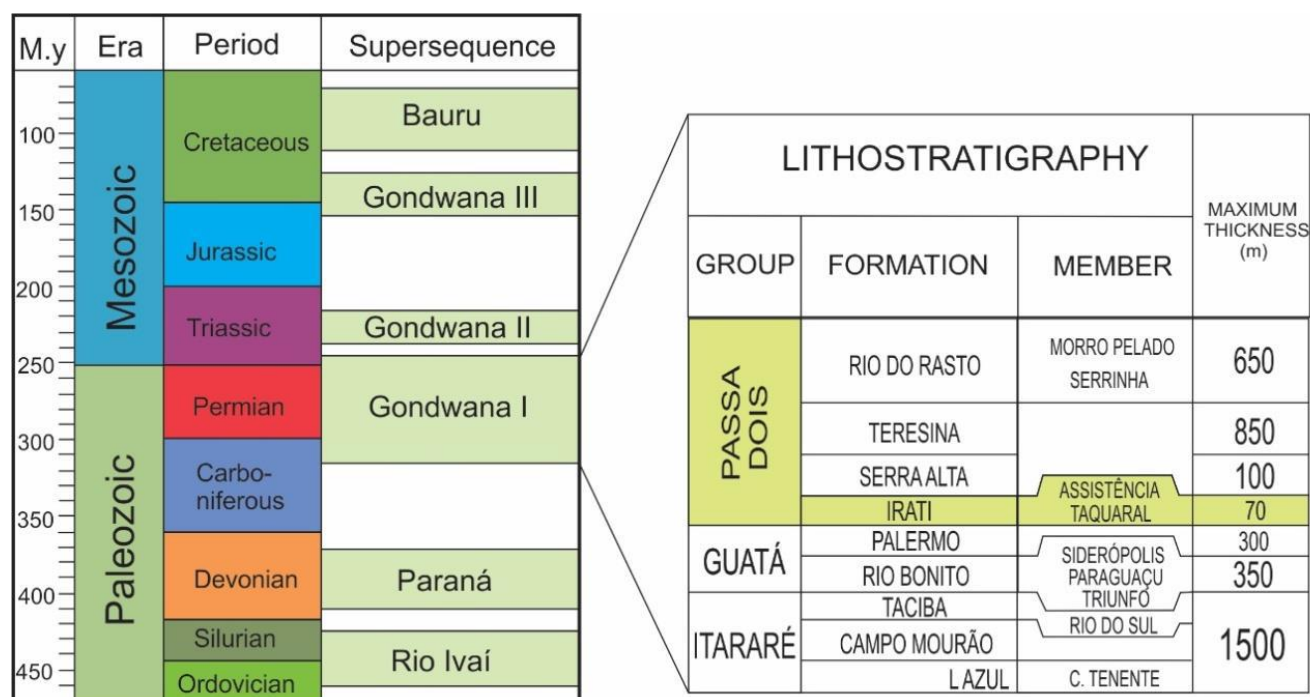


Figure 2. Simplified stratigraphic chart of the Paraná Basin with emphasis on supersequence Gondwana I and the Irati Formation (modified from Milani 1997).

2.2 IRATI FORMATION

The term Irati was first used by White (1908), when proposing the stratigraphic column of the Paraná Basin, to designate a thick sequence of black shales, which contained *Mesosaurus Brasiliensis* fossils in the type section near the city of Irati in Paraná State. Mendes et al (1966), describing the *Mesosaurus* for the White Report, correlated these fossils with other equivalents founds in the basins of the African Continent, thus attributing to the Irati shale the Permian Age. Santos et al. (2006), using the U-Pb SHRIMP dating method, obtained the age of 278 Ma to the base of the Irati Formation, placing it in the middle to upper Artinskian.

This formation is composed of fine-grained sediments, such as siltstones, clay stones and shales, carbonate rocks, subordinate conglomerates, and according to Araujo (2001) the sediments were deposited under intermittent anoxia conditions, with a variation of oxygen levels, with an average thickness of 40 m and the maximum of 70 m (Mendes et al., 1966). According to Schneider et al. (1974), Irati Formation can be divided in two members: Taquaral and Assistência, which can be recognized throughout practically the entire Paraná Basin. The Taquaral Member, the basal portion of the formation, is composed of siltstones and shales, which represents a deposition in low energy and marine environment (Scheneider et al., 1974). Assistencia Member, top of the formation, consists of shales, sometimes bituminous, interspersed with horizons of rocks with dolomitic limestone composition and siltstones deposited mostly in a restricted marine environment (dos Reis et al., 2018) (Figure 2).

2.3 SOURCE ROCK

The bituminous shales of the Assistencia Member have been targeted by many studies (Mendonça Filho, 1994; Araujo et al., 2000; Santos et al., 2006; Collares, 2015, Dos Reis et al., 2018; Lopez et al., 2019) due to its high content of organic matter, being potentially an oil and gas source rock. The maturity level of organic matter is in most cases immature and not sufficient for the transformation to hydrocarbons. Mature stages of the Irati formation have been reported for portions near the depocentre, or in regions with igneous rock intrusions (Mendonça Filho, 1994; Araujo et al., 2000; Santos et al., 2009; Dos Reis et al., 2018). In the Rio Grande do Sul State, the organic matter levels show large variations over the formation, with lower levels in northeast (Souza et al., 2008; Collares, 2015; Lopez et al., 2019) and high levels at the south (Dos Reis et al., 2018).

3.MATERIAL AND METHODS

3.1 SAMPLES

Three Irati shale samples were collected based on the TOC content from different locations in the southern portion of Paraná Basin (Fig. 1). The samples were characterized as black bituminous shales. Sample 1-SM (14-300) was collected in an open pit mine of PETROBRAS, in São Matheus do Sul city, Paraná State. Sample 2-PR (14-239) is from Santa Catarina State, collected near the city of Pouso Redondo from borehole SRPR-01 at 35 m depth. 3-CL (18-077) is located in northeast of Rio Grande

do Sul, in Chico Lomã coalfield, and was obtained from borehole CBM001-CL-RS at a depth of 303,60 m, with an igneous intrusion above it, at a depth of 288 to 295 meters.

3.2 OPEN-SYSTEM PROGRAMMED PYROLYSIS

To obtain the geochemical properties from both original samples and residual rocks after hydrous pyrolysis experiments, a HAWK equipment from Wildcat Technologies was used, according to the Espitalie' et al. (1977) procedure. In this process 100 mg of powdered bulk rock were placed in crucibles and heated to 600 °C, at a rate of 25 °C/min. The following parameters were determined: S1 (mg HC/g rock), S2 (mg HC/g rock), S3 (mg CO₂/g rock), and T_{max} (°C). Hydrogen index (HI) (mg HC/g COT) and oxygen index (OI) (mg CO₂/g COT) were also calculated. The HI is determined as the yield of reduced products of pyrolysis (S2) relative to the total organic carbon (mg HC/g TOC) and is a function of relative H/C in the organic matter.

3.3 VITRINITE REFLECTANCE (RRANDOM %)

The samples were ground to 1-2 mm size and embedded in resin. A single plug was prepared for each sample. The particulate blocks had their surfaces ground down using progressively 45 µm and 9 µm diamond plates, and 0.3 µm and 0.05 µm alumina polishing on pellaon polishing cloth and silk cloth, respectively. The analyses were performed using a Leica DM6000M microscope equipped with white light and fluorescence illumination. An Yttrium–Aluminum–Garnet reflectance standard of %Rr = 0.895 (ISO 7404/5, 1984) was used to calibrate the microscope, while the measurements were performed using the immersion oil Imersol 518F. The analyses were performed at 50× magnification at room temperature of ± 23 °C.

3. 4 HYDROUS PYROLYSIS EXPERIMENTS

Hydrous pyrolysis experiments were performed in a stainless-steel reactor (250 mL), which was loaded with 45 g of sample, and 86 mL of distilled water. These amounts of sample and water were calculated based on the approximate density of the sample and the volume of the reactor, to ensure that the sample remains submerged in a liquid water phase throughout the experiment. Then the sealed reactor was filled with 100 psi of He to check for leaks. When no leaks were detected, the system was purged three times with He in order to remove the remaining air. The final He pressure was reduced to an average of 27 psi. An artificial maturation was achieved by isothermal heating of the sample at 350 °C during 0h, 16h and 72h, applying a heating rate of 3.7 °C/ min.

After the experiments were completed, the reactor was cooled down overnight to room temperature. Afterwards, the reactor was vented and opened to collect the liquid products and solid residue. Immiscible oil floating on the water surface, designed as free oil, was generated during hydrous pyrolysis experiments. Free oil was recovered using a separatory funnel and transferred into a pre-weighed glass vial, the water was removed with a volumetric pipette and the solid residue was collected with a large spatula and placed into a pre-weighed Petri dish.

The recovered solid residue was dried in a fume hood until the constant weight is obtained, then it was crushed and the residual bitumen extracted in Soxhlet for 48 hours (dichloromethane/ methanol). After the removal of the free oil, water, and the solid residue from the system, the reactor was rinsed with dichloromethane to recover any adsorbed oil film, designed as rinse oil. The rinse oil was transferred into a pre-weighted glass vial and weighed after solvent evaporation under a fume hood. Total expelled oil represents the sum of free oil and rinse oil.

3.5 MOLECULAR ANALYSES

The original samples and residual bitumen from hydrous pyrolysis experiments were extracted with dichloromethane and methanol (1:1) using a Soxhlet system. The extracts were fractionated using open-column liquid chromatography of activated silica gel. The saturated, aromatic and polar fractions were collected by the successive elution of solvents with increasing polarity, such as n-hexane, followed by hexane/toluene (8:2) and toluene/methanol (1:1), respectively. Saturated hydrocarbons were analyzed using an Agilent Technologies (Palo Alto, CA, USA) instrument comprising a 7890 A model gas chromatograph equipped with a 7693-auto sampler and coupled to a single quadrupole 5973 mass spectrometer. The GC was used with a 30 m fused-silica column (0.25 mm i.d.) coated with 5% phenyl methyl siloxane. Helium was used as the carrier gas at a flow rate of 1.2 mL/ min. The oven temperature programmed was 80 °C (5 min) to 310 °C at 4 °C/min with a hold at 310 °C for 20 min. The samples were injected in the split/spitless mode with an injector temperature of 290 °C. The ion source in the MS was operated at 290 °C in electron ionization mode (70 eV ionization energy), and analyses were conducted in full scan (scanning from 50 to 650 Da) and in selected ion mode (SIM) with an acquisition time of 50 ms for the compounds, ions of m/z 191, m/z 217 and m/z 218. The compounds were identified by retention time, mass spectra and data from the literature.

4.RESULTS AND DISCUSSIONS

4.1 SAMPLE CHARACTERIZATION

Table 1 shows the values obtained from the petrological and geochemical analyses of the original samples, and residual rocks after hydrous pyrolysis experiments at 350°C in different times: 0, 16 and 72 hours.

Evaluating the concentration of TOC is the first step when characterizing source rocks (Peters and Cassa, 1994). Values greater than 1% are considered good for hydrocarbon potential, whereas values smaller than 0.5% indicate little to no potential to yield economic concentrations of hydrocarbons (Table 1). The TOC content of the original samples shows values between 1.58 to 19.38 wt% which means that the samples have good (sample 3-CL) and excellent (samples 1-SM and 2-PR) potential for hydrocarbons generation.

The progressive effects of increasing thermal maturity with the time of hydrous pyrolysis experiments is demonstrated by increase vitrinite reflectance values (Table 1). It was also observed that sample 3-CL shows value of vitrinite reflectance of 0.7 and HI of 204 mg HC/g rock, which means that this sample already reached the “oil window”, maybe to its proximity to the diabase intrusion.

In the present study the samples shown S1 values of 1.02, 4.78 and 7.45 mg HC/g rock to original samples 3-CL, 2-PR and 1-SM, respectively (Table 1). These values correspond to the quantity of free hydrocarbons (oil and gas) contained in the rock. It also observed that S1 decrease with increased of thermal maturity.

The S2 peak corresponds to the hydrocarbon compounds originating from kerogen cracking (pyrolysis of the kerogen up to 530 °C). High values of S2 were observed for samples 1-SM and 2-PR, 136.22 and 88.79 mg HC/g rock, respectively (Table 1).

Nevertheless, the Hydrogen Index (HI) is a parameter used together with IO in the classification of kerogen type, it also could be used for determination of the potential of hydrocarbon generation. In the present study, the HI values (Table 1) are high to samples 1-SM and 2-PR (702 and 717 mg HC/g TOC, respectively) indicating high oil generating potential and low thermal maturity of organic matter, which it is in agreement with T_{max} values (Table 1). According to literature, the HI of the samples above the “oil window” mainly fall in the range 100 ± 200 mg HC/g TOC; within the "oil window" the HI is gradually reduced due to the progressive generation of bitumen from the kerogen. It was observed in our results the value to HI parameter decrease with increase of time of the pyrolysis experiments to

all samples. And the original sample 3-CL shows values of 204 mg HC/g TOC (Table 1) indicating high maturity degree compare to the other samples, which was also in agreement with vitrinite reflectance results.

The $T_{\max}$ °C as an indicator of the thermal maturity of the kerogen shows values below 430°C for all original samples indicating immature source rocks considering that hydrocarbons generation as the early oil generation window typically starts at a $T_{\max}$ around 435°C (Peters and Cassa, 1994). Sample 3-CL is mature according vitrinite reflectance level, which means that the $T_{\max}$ value of 427 °C could be affected by the relatively low S2 peak of that sample. Several studies have shown that $T_{\max}$ values may vary and should not be used for exact thermal maturity determination (e.g. Snowdon, 1995), but in this study could be useful for relative comparisons between hydrous pyrolysis experiments. As we can see in Table 1, $T_{\max}$ values increased with artificial maturation and that samples reach the oil window at 16 hours (1-SM and 2-PR) and at 72 hours (3-CL) hydrous pyrolysis. But the $T_{\max}$ values do not have a positive correlation with vitrinite reflectance values, which indicates that samples at 0 hours (1-SM and 2-PR) are in peak maturity and sample 3-CL was already mature before experiments.

Table 1. Results of geochemical and petrological analyses of the original samples and residual rocks after hydrous pyrolysis experiments.

Sample	Time (hours) HP at 350°C	TOC (wt %)	Vitrinite Reflectance			$T_{\max}$ (°C)	S1 (mg HC/ g Rock)	S2 (mg HC/ g Rock)	HI mg HC/g TOC	OI mg CO ₂ /g TOC	PI
			Rr (%)	S	N°						
1-SM	Original	19.38	0.45	0.07	32	421	7.45	136.22	702	3	0.05
	0	19.54	0.53	0.07	6	425	0.36	139.89	715	3	0.00
	16	12.24	0.83	0.11	15	441	0.45	26.21	214	5	0.02
	72	12.11	1.30	0.14	19	451	1.29	10.64	87	4	0.11
2-PR	Original	12.38	0.45	0.04	15	421	4.78	88.79	717	3	0.05
	0	13.57	0.75	0.08	17	423	0.41	96.52	711	3	0.00
	16	5.66	0.87	0.09	10	439	0.16	9.98	176	8	0.02
	72	6.33	1.03	0.15	9	448	0.19	4.46	70	5	0.04
3-CL	Original	1.58	0.7	0.18	20	427	1.02	3.23	204	37	0.24
	0	1.16	0.82	0.08	10	429	0.10	1.76	151	55	0.05
	16	1.08	1.11	0.26	33	428	0.27	0.77	71	49	0.26
	72	0.93	1.30	0.19	23	446	0.27	0.33	35	65	0.45

HP: Hydrous pyrolysis; **TOC (wt %):** Total Organic Carbon; **Rr (%):** vitrinite reflectance random; **S:** standard deviation; **N°:** number of particles measurements; **$T_{\max}$:** temperature in which there is a maximum hydrocarbons generation; **HC:** Hydrocarbons **S1:** free hydrocarbons present in the rock; **S2:** hydrocarbons released by cracking of the kerogen during pyrolysis; **HI:** Hydrogen Index; **OI:** Oxygen Index; **PI:** Production Index = $(S1/(S1+S2))$.

4.2 SOURCE OF ORGANIC MATTER

To identify the kerogen type and provide further insights into maturity according hydrous pyrolysis experiments, HI and OI data were plotted in a modified Van Krevelen diagram (Fig. 3). The original sample 3-CL appear to be a mix of Type II and III kerogen related to deltaic environments. In the original samples 2-PR and 1-SM the results are related to Type I kerogen and associated to lacustrine depositional environment.

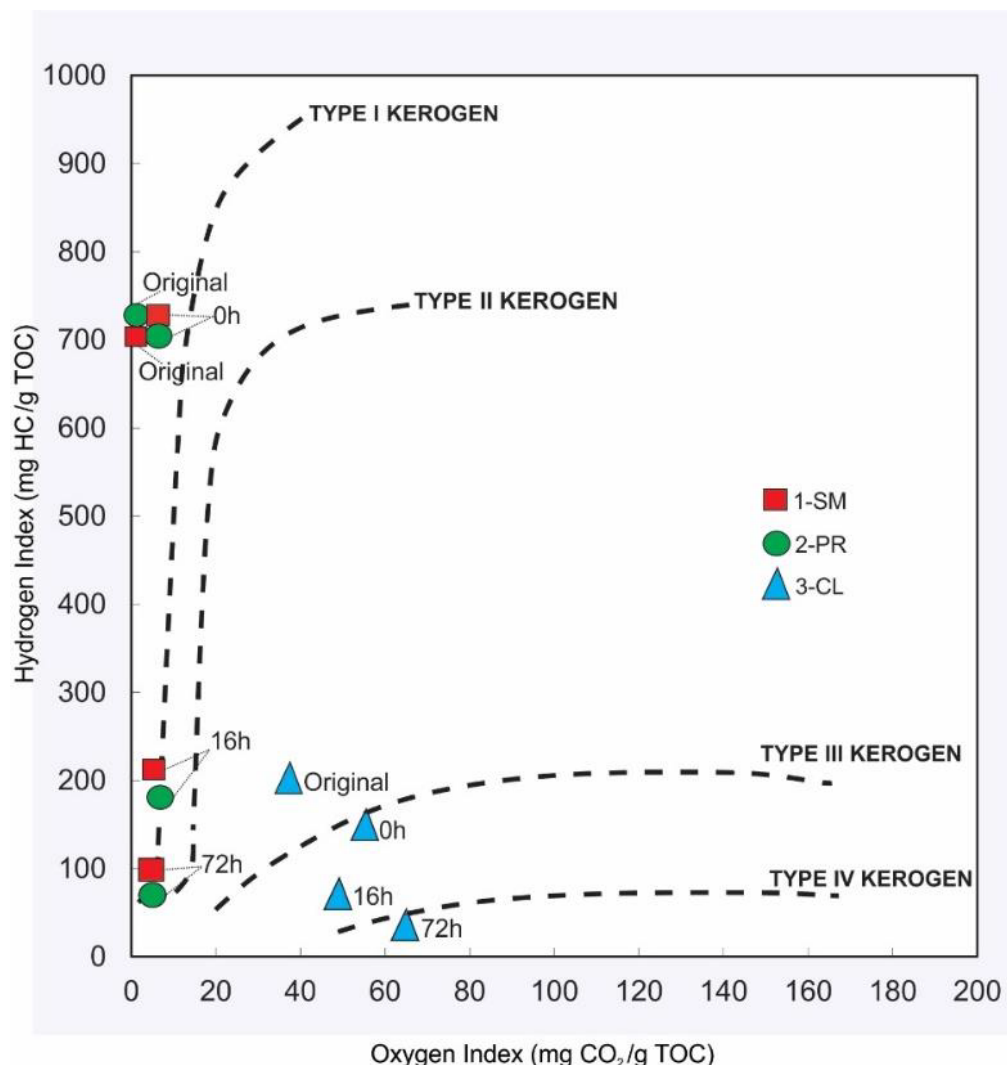


Figure 3. Hydrogen Index and Oxygen Index plotted on modified Van Krevelen diagram.

4.3 HYDROCARBONS

4.3.1 BULK COMPOSITION

The percentage of saturated hydrocarbon, aromatic and polar compound (NSO) fractions in the original samples and products generated after hydrous pyrolysis experiments are shown in the Figure 4.

These results indicated that expelled oils are enriched in saturated hydrocarbons while in the residual bitumen there is predominance of polar compounds. This characteristic is due the thermal cracking of hydrocarbon molecules with maturation of the organic matter. And, by the fact that during oil expulsion the saturated hydrocarbons migrated easily than polar compounds.

In relation to the composition of the sample 1-SM, it was observed an increase of concentration of saturated compounds in the oils generated in all experiments compared to the original sample, while the bitumen showed an increase of polar compounds (Fig. 4A). In the sample 2-PR a higher concentration of saturated compounds was observed in the 0-hour experiment (around 38%), with an 30% difference from the original sample. For this sample, it was also observed an enrichment of the polar compounds in bitumen fractions with an increased time of experiments (Fig. 4B).

Figure 4C shows the behavior of the organic matter in sample 3-CL, considered mature. The oil shows an increase of saturated compounds concentration up to 26% compared to the original sample, where the 0-hour sample showed a concentration of 44% of saturated and 56% of aromatic compounds. As for bitumen, the concentration of saturated fraction increase, where there was a 14% increase in relation to the original sample in the 16- and 72-hours experiments, which showed an almost similar composition.

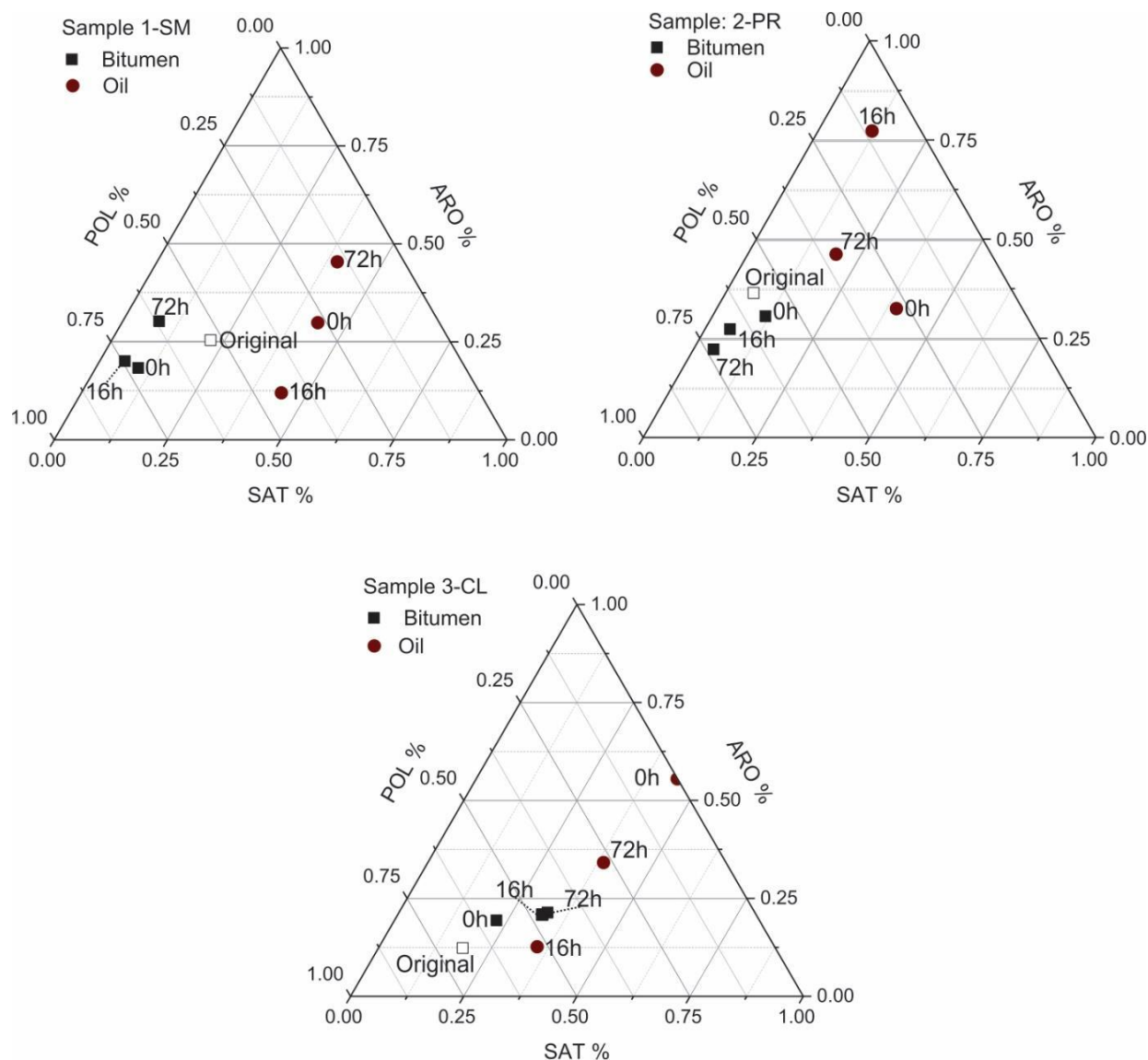


Figure 4. Ternary diagrams of the saturated (SAT), aromatic (ARO) and polar compounds (POL).

4.3.2 BIOMARKER DISTRIBUTION

Saturate biomarkers comprising terpanes and hopanes were selected to explore their alterations with different temperature during hydrous pyrolysis experiments. The mass chromatograms of the hopanes (m/z 191) and steranes (m/z 217) of the original samples are showed in the Figure 5 and the biomarker parameters in the Table 2. It can be observed that samples 2-PR and 1-SM exhibit very similar distribution of biomarkers with predominance of 17α (H), 21β (H)-hopane (H30), and $\alpha\alpha\alpha$ -C27 and $\alpha\alpha\alpha$ -C29 steranes while the sample 3-CL shows high abundance of gammacerane (Gam) and predominance of $\alpha\alpha\alpha$ -C29 sterane (Fig. 5). These results also reveal the differences in source organic matter and paleodepositional environment.

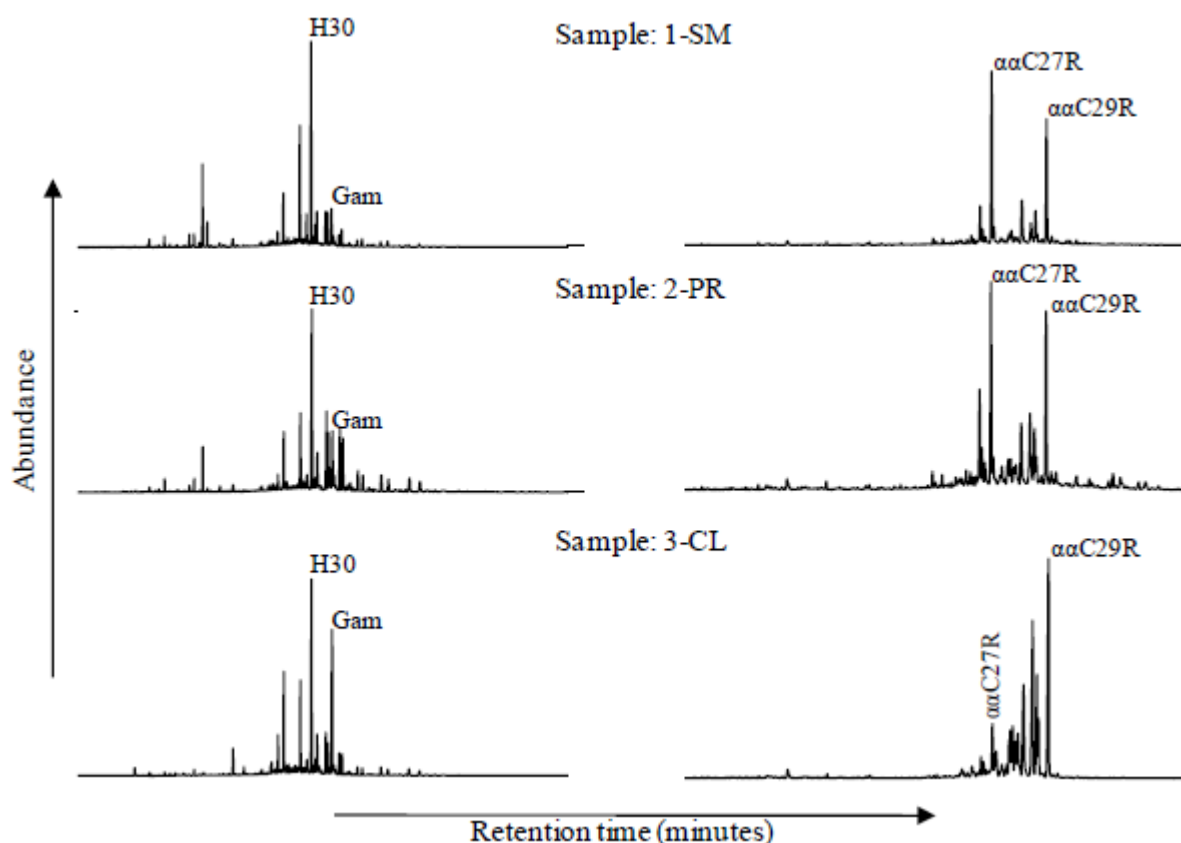


Figure 5. Chromatograms m/z 191 and 217 showing the hopanes and steranes distributions of the original samples. H30: 17α (H), 21β (H)-hopane; Gam: gammacerane.

According to Sinninghe Damsté et al. (1995) gammacerane indicates a stratified water column of a marine and/or non-marine source rock depositional environment resulting from hyper salinity at depth of the water column. In our samples the gammacerane/hopane ratios (Gam/H30, Table 2) show values of 0.24 and 0.34 for samples 1-SM and 2-PR, respectively. However, sample 3-CL shows the highest value (0.97), which could be related to hypersaline paleo-depositional environment (Ten Haven et al., 1987, 1988; Volkman et al., 1998; Yangming et al., 2005) or stratification of the water column during deposition of the Chico Lomã sample. Furthermore, the sample 3-CL shows lower value to isoprenoids Pristane/Phytane ratio (Table 2), which could also be related to salinity of the paleoenvironment, according to Jiamo et al. (1986).

The relation between tricyclic and pentacyclic terpanes (Tric/H30) (Table 2; Fig. 5) shows values of 0.53, 0.32 and 0.14 to samples 1-SM, 2-PR and 3-CL, respectively. The predominance of pentacyclic terpanes in the sample 3-CL could be due a lower marine organic matter input (Peters et al., 2005). It also observed that the proportion of diasteranes/steranes ratio in sample 3-CL is high compared to

the other samples (Table 2), reflecting the difference in the depositional environment of the organic matter.

The ratios of C27/C29 steranes showed a wide variation (Table 2), with values from 0.14 to 0.92 for samples 3-CL and 2-PR, respectively, and highest ratio 1.20 for sample 1-SM (1.20). High proportions of C29 have been interpreted as rock-generated organic extracts in green algae dominated Paleozoic oceans (Grantham and Wakefield, 1988; Schwark and Emt, 2006). Compound C27 has its origin related to red algae (Kodner et al., 2008). Also, the predominance of C29 sterane may indicate a higher terrestrial contribution in the sample (Moldowan et al., 1985). Thus, the data point to a contribution of green algae and marine organic matter to samples 1-SM and 2-PR, while sample 3-CL showed a predominance of terrestrial organic matter.

Table 2. Biomarker parameters for saturated hydrocarbons of the original samples and expelled oils after hydrous pyrolysis experiments.

Sample	HP time (hours) at 350°C	20S/ (20S+20R) (C ₂₉)	$\beta\beta/ (\alpha\alpha + \beta\beta)$ (C ₂₉)	H30/ (H ₃₀ +M ₃₀)	Ts/ (Ts+Tm)	H31 22S/ (22S+22 R)	Hop/Est	Gam/H ₃₀	Tric/H ₃₀	H ₃₅ /H ₃₄	C ₂₇ /C ₂₉	Dia/ St	Pr/Ph	Pri/nC17	Ph/nC 18
1-SM	Original	0.11	0.19	0.86	0.20	0.51	3.54	0.24	0.53	0.55	1.20	0.07	2.56	2.92	5.82
	0	0.19	0.22	0.85	0.19	0.49	2.29	0.18	0.78	-	1.65	0.08	0.03	2.15	4.32
	16	0.25	0.50	0.75	0.12	0.51	1.5	0.15	1.3	-	7.02	0.04	1.46	1.70	1.94
	72	0.33	0.35	0.59	0.36	0.50	0.19	0.35	4.61	-	25.04	0.04	1.32	1.0	1.04
2-PR	Original	0.31	0.23	0.87	0.21	0.56	8.86	0.34	0.32	1.11	0.92	0.19	1.22	1.66	4.29
	0	0.28	0.22	0.85	0.20	0.56	3.83	0.28	0.46	-	2.40	0.10	0.03	1.42	4.14
	16	0.38	0.38	0.82	0.10	0.54	1.49	0.31	0.66	-	10.28	0.04	1.46	2.01	2.02
	72	0.47	0.43	0.83	0.13	0.56	0.78	0.36	1.08	-	32.67	0.06	0.05	1.6	1.26
3-CL	Original	0.41	0.21	0.87	0.28	0.49	3.44	0.97	0.14	0.56	0.14	0.24	0.37	2.74	10.92
	0	0.45	0.23	0.82	0.25	0.55	1.04	0.72	0.4	-	0.48	0.14	0.25	3.91	7.78
	16	0.45	0.26	0.83	0.24	0.54	3.47	0.64	0.45	-	0.10	0.43	0.41	1.99	6.72
	72	0.43	0.25	0.84	0.25	0.57	2.91	0.87	0.28	-	0.07	0.8	0.41	1.44	6.67

Dia/St: diasteranes C₂₇ $\alpha\beta\beta$ / C₂₇ $\alpha\alpha\alpha$; Pr/Ph: Pristane/ Phytane; Pri/n-C₁₇: Pristane/n-C₁₇; Ph/ n-C₁₈: Phytane/ n-C₁₈; C₂₉ $\alpha\beta\beta$ S: 24-Etil-5 α (H)14 β (H)17 β (H) 20S-colestane; C₂₉ $\alpha\alpha\alpha$ R: 24-Etil-5 α (H)14 α (H)17 α (H) 20R- colestane; S/(S+R): razão 24-Etil-5 α (H)14 α (H)17 α (H) 20S-colestane (S) and 24-Etil-5 α (H)14 α (H)17 α (H) 20R-colestane (R); M₃₀/H₃₀: calculated with moretane C₃₀ and hopano C₃₀; Ts/ Tm: triterpanes 18 α (H)-trisorhopane (Ts) related to 17 α (H)trisorhopano (Tm); H₃₁S/S+R: ratio between 17 α (H)21 β (H) 22S- homohopane (S) and 17 α (H)21 β (H) 22R- homohopane (R); Hop/Est: concentration of Hopanes (Hop) related to concentration of Esteranes (Est); Gam/H₃₀: ratio between Gamacerane (Gam) related to 17 α (H)21 β (H)-hopane; Tric/H₃₀: ratio between tricyclic terpanes (Tric) related to 17 α (H)21 β (H)-hopane; H₃₅/H₃₄: 17a(H),21b(H)-pentakishomohopane (22S + 22R)/ 17a(H),21b(H)-tetrakishomohopane (22S + 22R); C₂₇/C₂₉: C₂₇ cholestane/ C₂₉ ethylcholestane ; Tric/H₃₀: tricyclic terpanes/C₃₀-Hopane.

4.3 MATURATION

Artificial maturation has been extensively used to simulate hydrocarbon generation and mineral diagenesis occurring in source rocks (Lewan et al., 1986; Lewan, 1989; Franco et al., 2010; Rodriguez and Philp, 2010; Bernard et al., 2012). The progressive effects of increase thermal maturity with the time range of the hydrous pyrolysis experiments can be observed by increasing values of vitrinite reflectance (Table 1) for all samples reaching maximum of 1.30 % R_{random} in both samples 1-SM and 3-CL; and a maximum of 1.03% R_{random} for sample 2-PR, which indicated the samples reached the oil generation (Peter and Cassa, 1994).

Based on T_{max} values, the sample 3-CL is immature until the 16 hours of hydrous pyrolysis experiment, and at 72 hours reaches the peak of maturation, with T_{max} of 446 °C. Sample 2-PR is mature with 16 hours of hydrous pyrolysis experiment, where it is early mature with 439 °C, and evolves to peak mature at 448 °C T_{max} in 72 hours of experiment. The sample 1-SM shows a similar behavior, reaching maturation at 16 hours with T_{max} 441 °C as early mature, and evolves to late mature at 72 hours, with 451°C.

By molecular analyses it was observed that the artificial thermal maturation of organic matter seems more effectively on the formation of n-alkanes, in order to increase the concentration of compounds nC_{17} and nC_{18} compared to isoprenoid pristane and phytane, respectively, with increasing maturity. Figures 6, 7 and 8 show the evolution of the Pr/ nC_{17} and Ph/ nC_{18} ratios for expelled oils during hydrous pyrolysis experiments.

Sample 1-SM (Figure 6) showed a decrease in the Pr/ nC_{17} ratio from 2.92 in the original sample to 1.03 in the 72-hours experiment. The Ph/ nC_{18} ratio decreases from 5.82 to 1.04 throughout the experiments. Sample 2-PR (Figure 7) showed lower ratios for these parameters and more stable behavior, with the Pr/ nC_{17} ratio of 1.42 (0 hours) similar to original samples, and after increase to 2.01 (16 hours) and reach 1.60 with 72-hours of experiment. Nevertheless, the Ph/ nC_{18} ratio ranging from 4.29 in the original sample to 1.26 in the sample within 72 hours of hydrous pyrolysis. The sample 3-CL (Figure 8) showed high values ratios to Ph/ nC_{18} compared to 1-SM and 2-PR samples, which can be related to organic matter source, although maturation behavior was similar, with ratios Pr/ nC_{17} decreasing from 3.91 to 1.44, and Ph/ nC_{18} decreasing from 10.92 to 6.67 in the longest experiment.

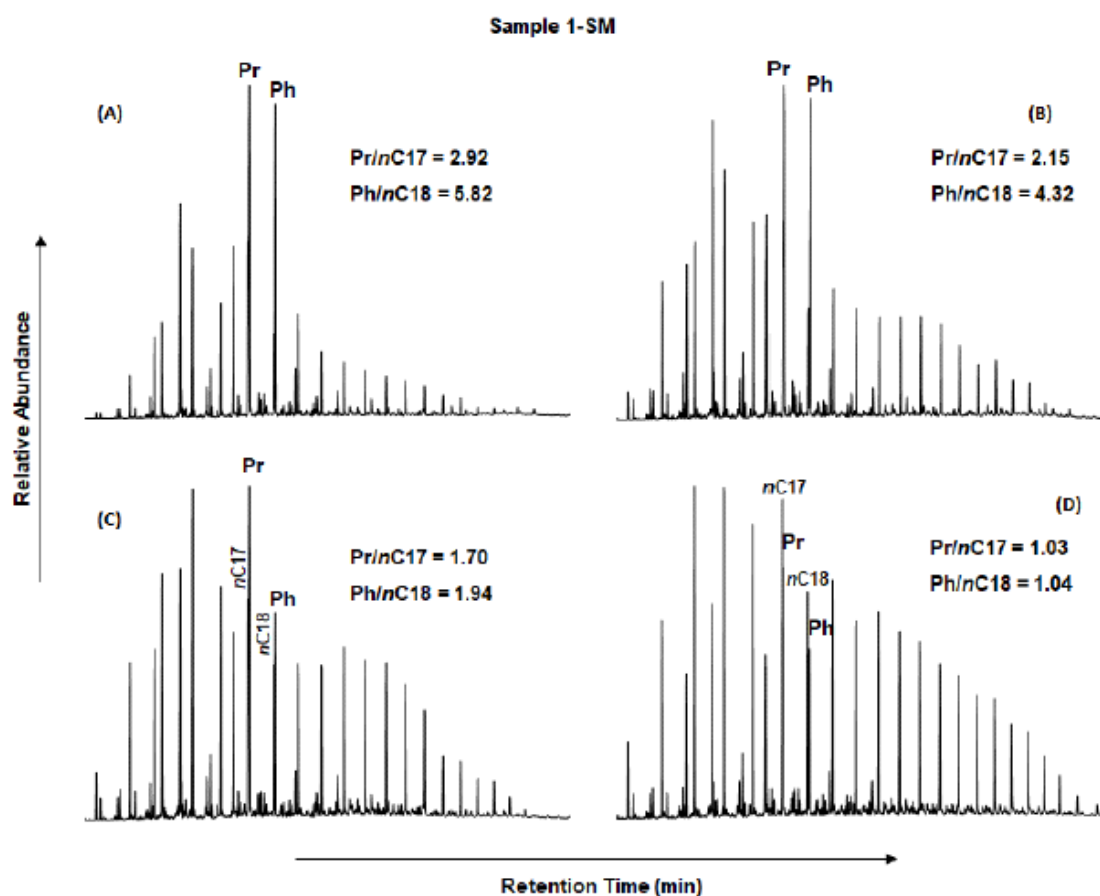


Figure 6. Mass chromatogram of m/z 85 showing n-alkane distribution to 1-SM original sample (A), and expelled oils after hydrous pyrolysis experiments at 0-hour hydrous pyrolysis (B), 16 hours (C) and 72 hours (D).

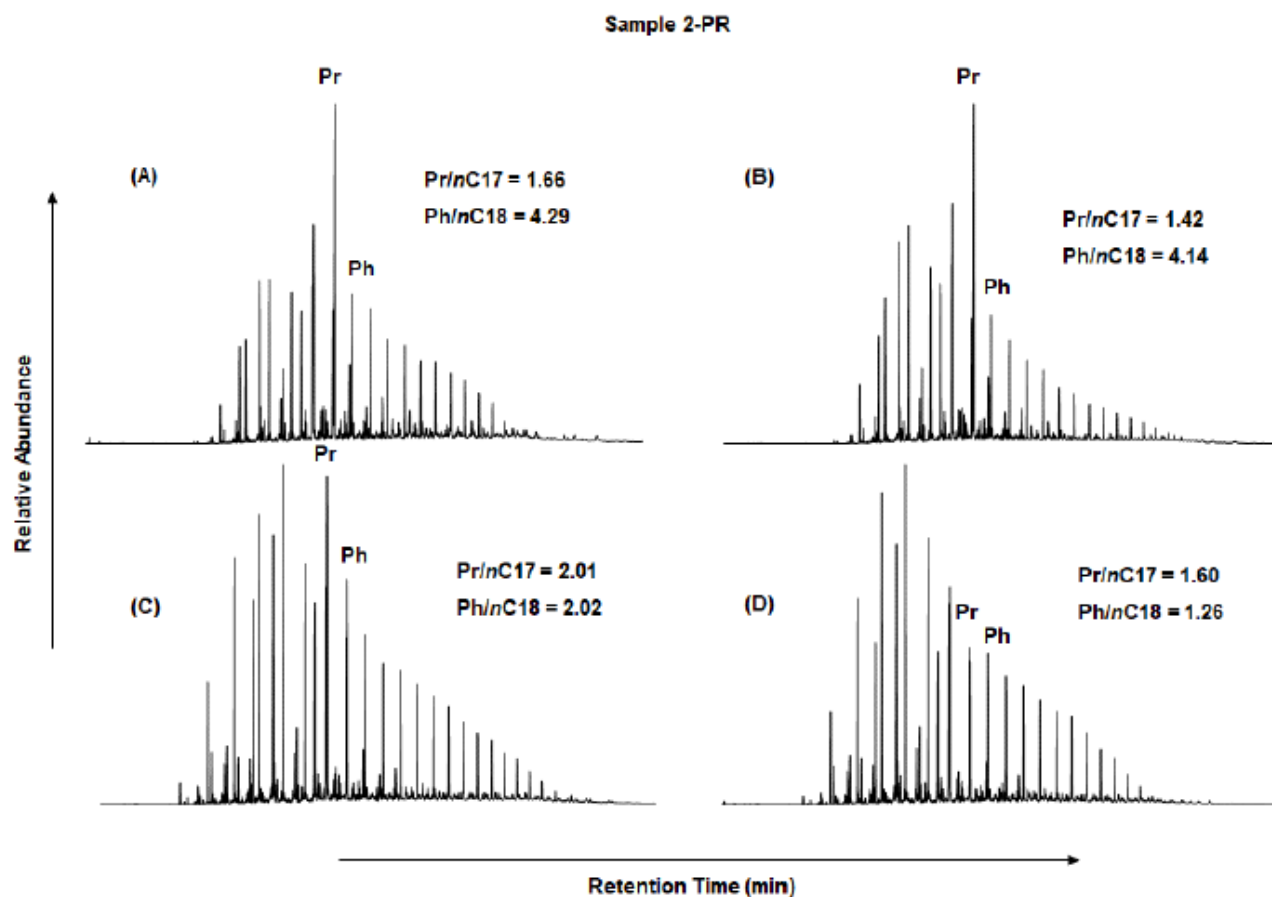


Figure 7. Mass chromatogram of m/z 85 showing n-alkane distribution to 2-PR original sample (A), and expelled oils after hydrous pyrolysis experiments at 0-hour hydrous pyrolysis (B), 16 hours (C) and 72 hours (D).

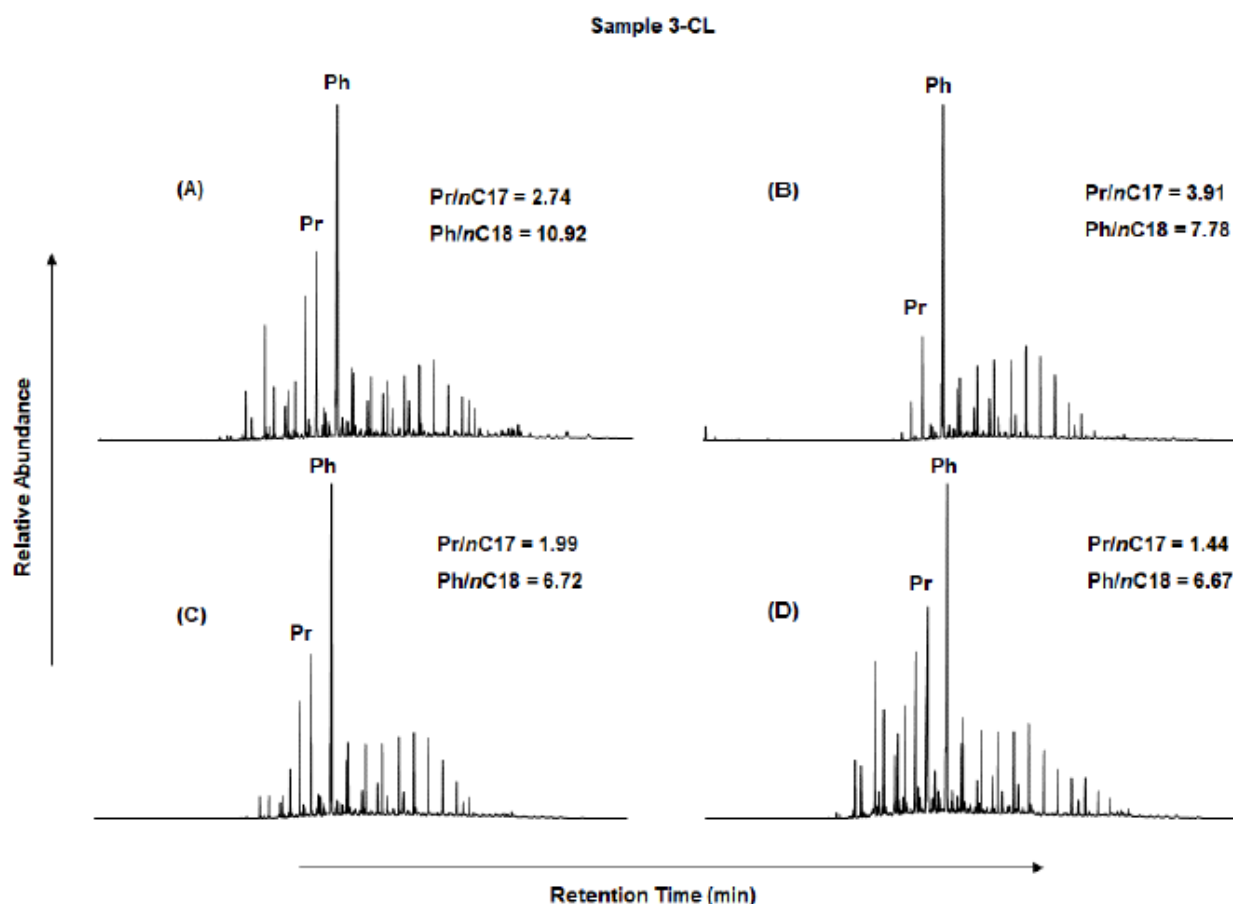


Figure 8. Mass chromatogram of m/z 85 showing n-alkane distribution to 3-CL original sample (A), and expelled oils after hydrous pyrolysis experiments at 0-hour hydrous pyrolysis (B), 16 hours (C) and 72 hours (D).

The $22S/(22S+22R)$ H31 ratio is widely applied as hopane maturity parameter, and records the relative enrichment of the more thermally stable 22S isomer (e.g. Kolaczowska et al., 1990) compared to the biologically-derived 22R stereochemistry. The results showed that there is no variation of the value increasing the time of the hydrous pyrolysis experiments (Table 2). It is because the equilibrium for this parameter occurs at vitrinite reflectance of $\sim 0.5\%$ (Peters et al., 2004). However, samples that show $22S/(22S+22R)$ ratios between 0.50-0.60 indicate that main phase of oil generation has been reached.

The $20S/(20S+20R)$ ratio, measured using the C29 $\alpha\alpha\alpha$ steranes, is one of the most widely applied molecular maturity parameters in petroleum geochemistry, and is based on the relative enrichment of the 20S isomer compared with the biologically- 20R stereochemistry, to reach an equilibrium endpoint of $ca. 50\pm 55\%$ (e.g. Mackenzie et al., 1980). In this study it was observed that both samples 1-SM and 2-PR showed an increase in the ratio $20S/(20S+20R)$ to expelled oils with an increase of

hours to hydrous pyrolysis experiments indicating an increase of thermal maturity. However, the 3-CL sample showed similar values in all expelled oils whatever the increase of hours in the hydrous pyrolysis experiments, but in this case the original sample already is in the oil window and this parameter reach the equilibrium in samples with 0.7 Ro% (e.g. Lewan et al., 1986; Bishop and Abbott, 1993; Peters et al., 2004).

Cross-plotting the C29 sterane isomerization ratios (Fig. 9) it is possible observed that the samples 1-SM and 2-PR showed a high degree of maturation in the 72-hour experiment compared to the original sample. In contrast sample 3-CL shows a very low thermal evolution of organic matter, and at 16 and 72-hours experiments did not show variation in the degree of maturation ratios, possibly because the sample had already reached maturity before hydrous pyrolysis.

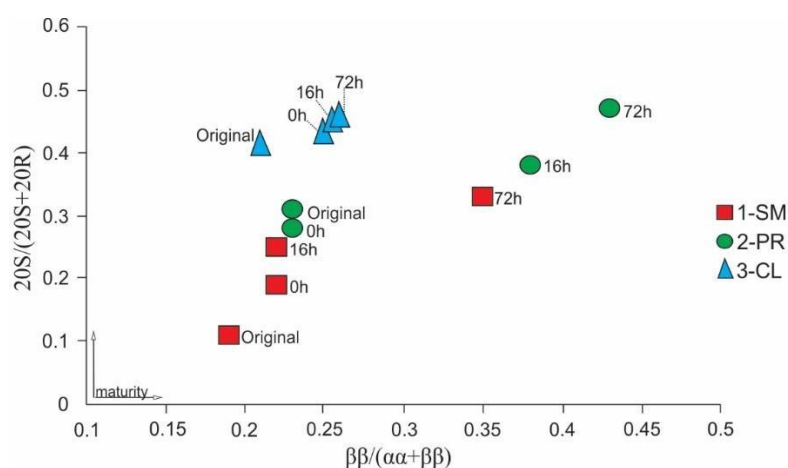


Figure 9 - Cross-plot of regular C29-sterane isomerization ratios for the original samples and expelled oils from hydrous pyrolysis experiments.

It is also observed that $T_s/(T_s+T_m)$ ratio (Table 2) shows the variation with increase of hydrous pyrolysis time, where the sample 1-SM showed an increase from 0.2 to 0.36 with the increase of experiment time, and 2-PR sample showed a decrease in the ratio from 0.21 to 0.13. However, as observed to sterane isomerization, there is no variation in this ratio to the sample 3-CL, but source, litology and oxicity of the depositional environment could also affect these results (Peters and Moldowan, 1993).

The ratio Tric/Hop show high levels in the experiments with 72h, except to 3-CL sample (Table 2). According to literature (Seifert and Moldowan, 1978; Peters et al., 2004), tricyclic terpanes are released from kerogen at higher maturation levels, leading to an increase in the ratio as increased maturity, and/or hopanes can be thermal degraded in high maturity degree. As an example, Figure 10

shows the chromatograms obtained from original sample 1-SM and the expelled oils after hydrous pyrolysis experiments, with the respective Tri/ H30 ratios (Table 2). And can be observed that the Tric/Hop ratio increase with time of pyrolysis, where the original sample showed 0.53 and evolved to 4.61 in the 72 hours experiment. Sample 2-PR increased from 0.32 to 1.08, while sample 3-CL showed a less value of Tri/ H30 ratio from 0.14 to 0.45, possibly because the original sample was already mature before the hydrous pyrolysis experiments.

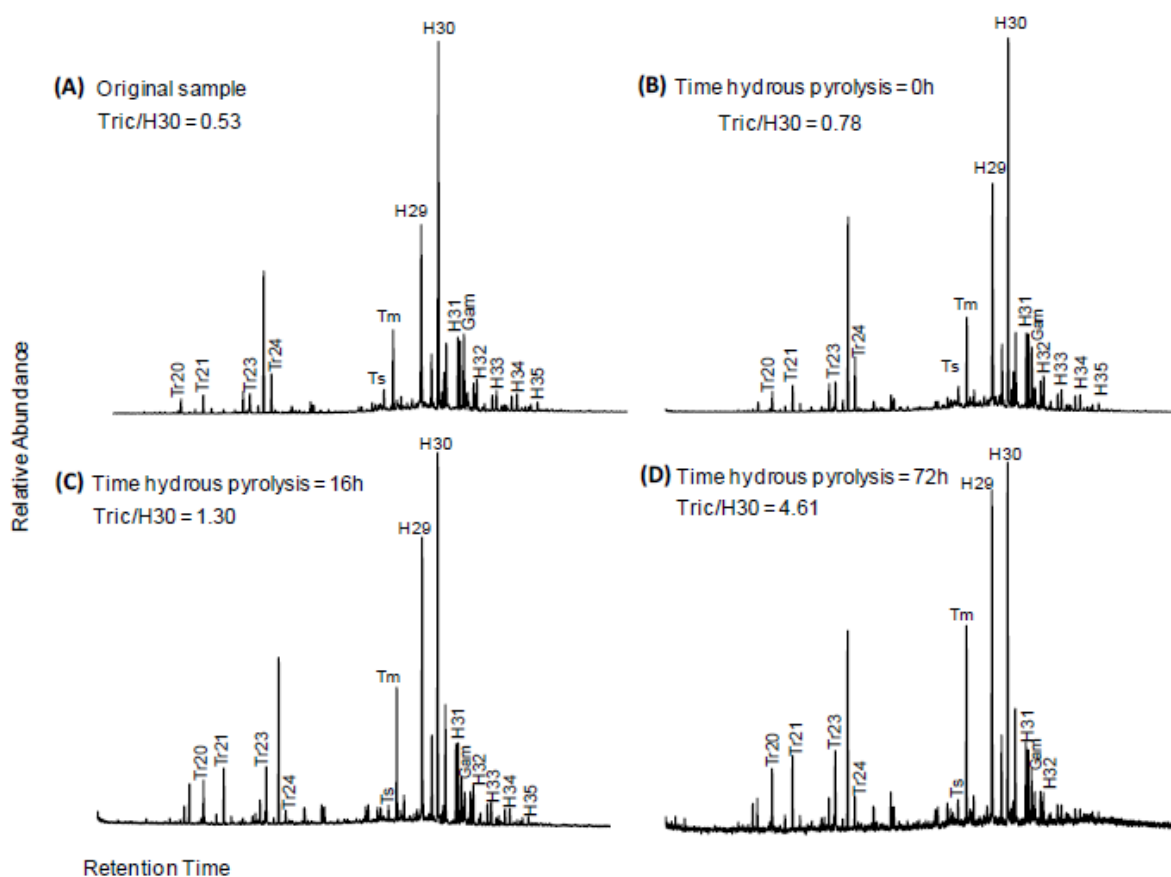


Figure 10. Mass chromatogram (m/z 191) of original sample and oil expelled after hydrous pyrolysis experiments of the sample 1-SM. Tr: tricyclic compounds with the number of carbons; H29-H35: series of $\alpha\beta$ hopanes with numbers of carbons from 29 to 35. The values of Tric/H30 ratio are highlight and was calculated by sum of tricyclic compounds in the range from 20 to 30 carbons divided by $\alpha\beta$ -hopane.

4.4 QUANTITY OF GENERATED PYROLYSATES

Hydrous pyrolysis is useful to evaluate pyrolysate yields, composition, and evolution of hydrocarbons (Teerman and Hwang, 1991; Mishra et al., 1996; Koh et al., 2008; Spigolon et al., 2015; Wu et al., 2018). Table 3 shows the yields of bitumen and expelled oils of the samples with increase of time of the

hydrous pyrolysis experiments. The yields of expelled oil increase with increasing time range of hydrous pyrolysis for the samples 2-PR and 1-SM. The maximum bitumen yield was 0.51 g for the 2-PR sample with 16h (%Ro = 0.87, peak of oil window); and 0.92 g for the 1-SM sample with 72h (%Ro = 1.30, end of oil window). The yields of bitumen and expelled oils are extremely low for sample 3-CL, which could be related to the thermal maturity of the original sample and/or due the contribution of terrestrial source of organic matter. According to Tissot and Welte (1984), this type of kerogen has a low potential of oil generation but can generate gas with high temperature.

Table 3 - Expelled oil generated and bitumen from the Irati Shale in hydrous pyrolysis temperature- and time-series experiments.

Sample	Ro (%)	Time (hours) of the hydrous pyrolysis experiments at 350°C	Expelled oil (g)	Bitumen (g)
1-SM	0.53	0	0.19	0.18
	0.83	16	2.39	0.51
	1.30	72	2.61	0.92
2-PR	0.75	0	0.13	0.36
	0.87	16	1.82	0.51
	1.03	72	2.65	0.15
3-CL	0.82	0	0.01	0.02
	1.11	16	0.02	0.01
	1.30	72	0.02	0.03

5. CONCLUSIONS

The vitrinite reflectance measurements showed that original samples 1-SM and 2-PR are immature, while the sample 3-CL already reached the “oil window”, maybe to its proximity to the igneous intrusion. After hydrous pyrolysis experiments all samples show a decrease of the TOC content with time of thermal maturation. And the progressive effects of increasing thermal maturity with the time of hydrous pyrolysis experiments was also observed by increase vitrinite reflectance values. The S1 and S2 parameters for samples 1-SM and 2-PR increased at 0 hours hydropyrolysis, and decrease after 16 hours of experiments, whereas the mature sample 3-CL show a decrease right from the first experiment. The biomarkers analyses showed that the Ts/(Ts+Tm) ratio pointed to immature to early mature samples, and the relation between $\alpha\beta\beta$ - and $\alpha\alpha\alpha$ -steranes (C₂₉) showed a positive correlation with the increase in time of experiments. The same effect was also observed to Pr/nC₁₇ and Ph/nC₁₈ and Tric/Hop ratios. To evaluated the source of organic matter the samples were plotted in a Van

Krevelen type diagram indicating that the samples 1-SM and 2-PR have characteristics of Type I kerogen and sample 3-CL have characteristics of Type III kerogen. These differences were also observed by biomarkers analysis, where Gam/H₃₀ and Pr/Ph ratios are higher to sample 3-CL, which could also be related to salinity of the paleoenvironment. In addition, the predominance of pentacyclic terpanes and C₂₉ sterane over tricyclic and C₂₇ sterane respectively, in the sample 3-CL, points to terrigenous contribution, suggesting a possible deposition in a deltaic environment. Ternary diagrams showed a large variation in the bulk hydrocarbon composition, before and after the hydrous pyrolysis experiments, due the variation of the kerogen types and maturity of the samples.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge FINEP/FUSP for financially supporting a Master of Science thesis within the project “Apoio à Rede de P&D em Gás Não Convencional no Brasil (GASBRAS). PETROSIX/PETROBRAS is acknowledged for permission to collect sample material at their open pit mine in Sao Mateus do Sul. Terra Mineradora is thanked for sample material from the Pouso Redondo area in Santa Catarina. Thanks to the Geological Survey of Greenland and Denmark, in Copenhagen, for TOC and Rock Eval analysis. W. Kalkreuth thanks CNPq for a reseach grant (CNPq 302234/2018-7).

REFERENCES

- Araújo, L. M. (2001). *Análise da Expressão Estratigráfica dos Parâmetros de Geoquímica Orgânica e Inorgânica nas Sequências Irati*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Araújo, L. M., Trigüis, J. A., Cerqueira, J. R., & Freitas, L. C. D. S. (2000). The atypical Permian petroleum system of the Paraná Basin, Brazil. *AAPG Memoir*.
- Bernard, S., Horsfield, B., Schulz, H. M., Wirth, R., Schreiber, A., & Sherwood, N. (2012). Geochemical evolution of organic-rich shales with increasing maturity: A STXM and TEM study of the Posidonia Shale (Lower Toarcian, northern Germany). *Marine and Petroleum Geology*.
- Bishop, A. ., & Abbott, G. . (1993). The interrelationship of biological marker maturity parameters and molecular yields during contact metamorphism. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57(15), 3661–3668.
- Collares, G. C. (2015). *Perfil Estratigráfico Da Formação Irati Nas Jazidas De Santa Terezinha, Chico Lomã E Morungava No Estado Do Rio Grande Do Sul - Avaliação Preliminar Do Potencial De Gás De Folhelho Na Região. Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil. <http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000982883&loc=2016&l=93e52b3fe183b3fb>
- Dos Reis, D. E. S., Rodrigues, R., Moldowan, J. M., Jones, C. M., Brito, M., da Costa Cavalcante, D., & Portela, H. A. (2018). Biomarkers stratigraphy of Irati Formation (Lower Permian) in the southern portion of Paraná Basin (Brazil). *Marine and Petroleum Geology*, 95, 110–138.
- Espitalie, J., Deroo, G., & Marquis, F. (1985). Rock-Eval Pyrolysis and Its Applications (Part One). *Revue de L'Institut Francais du Petrole*. <https://doi.org/DOI: 10.2516/ogst:1985035>
- Franco, N., Kalkreuth, W., & do Carmo Ruaro Peralba, M. (2010). Geochemical characterization of solid residues, bitumen and expelled oil based on steam pyrolysis experiments from Irati oil shale, Brazil: A preliminary study. *Fuel*, 89(8), 1863–1871. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2009.11.018>
- Grantham, P. J., & Wakefield, L. L. (1988). Variations in the sterane carbon number distributions of marine source rock derived crude oils through geological time. *Organic Geochemistry*.
- ISO 7404/5. 1984. *Methods for the petrographic analysis of bituminous coal and anthracite*. First Ed. Part 5: Methods of determining microscopically the reflectance of vitrinite, 11 p.
- Jiamo, F., Guoying, S., Pingan, P., Brassell, S. C., Eglinton, G., & Jigang, J. (1986). Peculiarities of salt lake sediments as potential source rocks in China. *Organic Geochemistry*, 10(1–3), 119–126.
- Kodner, R. B., Pearson, A., Summons, R. E., & Knoll, A. H. (2008). Sterols in red and green algae: Quantification, phylogeny, and relevance for the interpretation of geologic steranes. *Geobiology*.
- Koh, K., Adachi, R., Murata, S., & Nomura, M. (2008). Hydrous pyrolysis of two kinds of low-rank coal for relatively long duration. *Fuel*, 87(3), 388–394.

- Kolaczowska, E., Slougui, N.-E., Watt, D. S., Maruca, R. E., & Michael Moldowan, J. (1990). Thermodynamic stability of various alkylated, dealkylated and rearranged 17 α - and 17 β -hopane isomers using molecular mechanics calculations. *Organic Geochemistry*, 16(4–6), 1033–1038.
- Lewan, M. ., Bjorøy, M., & Dolcater, D. . (1986). Effects of thermal maturation on steroid hydrocarbons as determined by hydrous pyrolysis of Phosphoria Retort Shale. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50(9), 1977–1987. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(86\)90253-X](https://doi.org/10.1016/0016-7037(86)90253-X)
- Lewan, M. D., & Buchardt, B. (1989). Irradiation of organic matter by uranium decay in the Alum Shale, Sweden. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53(6), 1307–1322. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(89\)90065-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(89)90065-3)
- López, L., Lo Mónaco, S., Kalkreuth, W., & Peralba, M. do C. R. (2019). Assessment of the depositional environment and source rock potential of permian shales, siltstones and coal seams from the Santa Terezinha Coalfield, Paraná Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 94, 102227.
- Mackenzie, A. S., Patience, R. L., Maxwell, J. R., Vandenbroucke, M., & Durand, B. (1980). Molecular parameters of maturation in the Toarcian shales, Paris Basin, France—I. Changes in the configurations of acyclic isoprenoid alkanes, steranes and triterpanes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44(11), 1709–1721.
- Mendes, J. C., Fulfaro, V. J., Estanislau do Amaral, S., & Landim, P. M. B. (1966). The Irati formation (Permian) and associated facies\ra formacao Irati (permiano) e facies associadas. *Boletim - Sociedade Brasileira de Geologia*.
- Mendonça Filho, J. G. (1994). Estudo Petrográfico e Organogeoquímico de amostras de folhelhos da Formação Irati, Permiano Superior da Bacia do Paraná. UFRGS.
- Milani, E. J.; Melo, J. H. G.; Souza, P. A.; Fernandes, L. A.; França, A. B. (2007). Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*. Rio de Janeiro.
- Milani, E., Azambuja Filho, N., & Ramos, V. (1997). Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental /.
- Mishra, C. S., Samanta, U., Gupta, A., Thomas, N. J., & Misra, K. N. (1996). Hydrous pyrolysis of a Type III source: fractionation effects during primary migration in natural and artificially matured samples. *Organic Geochemistry*, 25(8), 489–505. h
- Moldowan, J. M., Seifert, W. K., & Gallegos, E. J. (1985). Relationship Between Petroleum Composition And Depositional Environment Of Petroleum Source Rocks. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*.
- Peters, K E. Walters C C. Moldowan, J. M. (2004). *The biomarkers guide Second Edition*. Cambridge University Press.
- Peters, K. E., & Cassa, M. R. (1994). Applied source rock geochemistry. In *The Petroleum System - From Souce to Trap* (p. 93–117). Tulsa, OK.
- Peters, K. E., & Moldowan, J. M. (1993). *The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments*. Prentice Hall, London. p. 363.

Rodriguez, N. D., & Paul Philp, R. (2010). Geochemical characterization of gases from the Mississippian Barnett Shale, Fort Worth Basin, Texas. AAPG Bulletin.

Santos, R. V., Souza, P. A., de Alvarenga, C. J. S., Dantas, E. L., Pimentel, M. M., de Oliveira, C. G., & Araújo, L. M. (2006). Shrimp U-Pb zircon dating and palynology of bentonitic layers from the Permian Irati Formation, Paraná Basin, Brazil. *Gondwana Research*, 9(4), 456–463.

Santos, Roberto Ventura, Dantas, E. L., Oliveira, C. G. de, Alvarenga, C. J. S. de, Anjos, C. W. D. dos, Guimarães, E. M., & Oliveira, F. B. (2009). Geochemical and thermal effects of a basic sill on black shales and limestones of the Permian Irati Formation. *Journal of South American Earth Sciences*, 28(1), 14–24. <https://doi.org/10.1016/J.JSAMES.2008.12.002>

Schneider, R. L., Mühlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R. A., Daemon, R. F., & Nogueira, A. A. (1974). Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. *Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia*.

Schwark, L., & Empt, P. (2006). Sterane biomarkers as indicators of palaeozoic algal evolution and extinction events. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.

Seifert, W. K., & Michael Moldowan, J. (1978). Applications of steranes, terpanes and monoaromatics to the maturation, migration and source of crude oils. *Geochimica et Cosmochimica Acta*.

Sinninghe Damsté, J. S., Kenig, F., Koopmans, M. P., Köster, J., Schouten, S., Hayes, J. M., & de Leeuw, J. W. (1995). Evidence for gammacerane as an indicator of water column stratification. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(9), 1895–1900.

Snowdon, L. R. (1995). Rock-Eval Tmax suppression: Documentation and amelioration. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 79, 1337–1348.

Spigolon, A. L. D., Lewan, M. D., de Barros Penteado, H. L., Coutinho, L. F. C., & Mendonça Filho, J. G. (2015). Evaluation of the petroleum composition and quality with increasing thermal maturity as simulated by hydrous pyrolysis: A case study using a Brazilian source rock with Type I kerogen. *Organic Geochemistry*, 83–84, 27–53.

Teerman, S. C., & Hwang, R. J. (1991). Evaluation of the liquid hydrocarbon potential of coal by artificial maturation techniques. *Organic Geochemistry*. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(91\)90019-G](https://doi.org/10.1016/0146-6380(91)90019-G)

Ten Haven, H. L., De Leeuw, J. W., Rullkötter, J., & Damsté, J. S. S. (1987). Restricted utility of the pristane/phytane ratio as a palaeoenvironmental indicator. *Nature* 330(6149): 641.

Ten Haven, H. L., de Leeuw, J. W., Sinninghe Damsté, J. S., Schenck, P. A., Palmer, S. E., & Zumberge, J. E. (1988). Application of biological markers in the recognition of palaeohypersaline environments. *Geological Society, London, Special Publications* 40, 123–130. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1988.040.01.11>.

Tissot, B. P., & Welte, D. H. (1984). Chapter 5 Petroleum Alteration. Second Revised and Enlarged Edition. <https://doi.org/10.1029/EO066i037p00643>

Vail P.R, Mitchum R.M Jr, Todd R.G, Widmier J.M, Thompson S III, et al. (1977). Seismic stratigraphy and global changes of sea level.

Volkman, J. K., Barrett, S. M., Blackburn, S. I., Mansour, M. P., Sikes, E. L., & Gelin, F. (1998). Microalgal biomarkers: A review of recent research developments. *Organic Geochemistry*, 29(5–7), 1163–1179.

WHITE, I. C. (1908). Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Rio de Janeiro.

Wu, Y., Zhang, Z., Sun, L., Li, Y., He, C., Ji, L., ... Zhang, D. (2018). Hydrocarbon generation and potential in continental organic-rich shales at the highly-mature stage, as determined by hydrous pyrolysis under supercritical conditions. *International Journal of Coal Geology*, 187, 83–93.

Yangming, Z., Huanxin, W., Aiguo, S., Digang, L., & Dehua, P. (2005). Geochemical characteristics of Tertiary saline lacustrine oils in the Western Qaidam Basin, northwest China. *Applied Geochemistry*, 20(10), 1875–1889.

Zalán, P. V., Wolff, S., Conceição, J. C. J., Marques, A., Astolfi, M. A. M., Vieira, I. S., Appi, V. T. & Z., & O. A. 1990. (org.: Raja Gabiglia, G. P. Milani, E. J. . (1990). Bacia do Paraná. In *Origem e Evolução de Bacias Sedimentares* (p. 681–708). PETROBRAS.

Capítulo 2



10.37423/240108667

ANÁLISE DA COBERTURA FLORESTAL EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E RESERVA LEGAL DE PROPRIEDADES RURAIS FAMILIARES DO NORTE DO MATO GROSSO.

Diogo Feistauer

Universidade Federal de Santa Catarina

Luiza Martins Turcatto

Universidade Federal do Mato Grosso

Janize Augusta Ferro de Medeiros

Universidade Federal de Santa Maria

Paulo Emilio Lovato

Universidade Federal de Santa Catarina



Abstract: The paper analyzed 17 rural properties in the Amazon Portal territory on quantifying the total of permanent preservation areas (APP) and legal reserves (RL) in 2011 compared to the year 2014, assessing their changes through High resolution satellite images. These small family farms were conducted in organic production system (SPO) or conventional (SPC), certified since 2004 by a certifying company registered in the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply (MAPA). They compared the results with what is required for the Amazon biome by the new Brazilian Forest Code (CFB) - Federal Law 12.651/2012. The effects of the new BFC were assessed for adequacy of family production units. Most of the properties evaluated did not present the minimum required in any of the years studied, both in the areas of RL and APP (water source springs and margin streams). The farms on SPO showed better results on 2011 to 2014 year evaluation, compared to SPC. As for the maintenance of native vegetation in the SPC, RL has presented higher percentages of forest regeneration. Considering consolidation of deforested areas before 22/07/2008, under the new CFB, all seventeen properties remedied its environmental liabilities from the perspective of current Brazilian law to RL. In the case of APP from small family farms, all nine (9/9) remedied its environmental liabilities, while in this SPC occurred in four (4/7).

Palavras-chave: environmental adequacy, brazilian forestry code, satellite images, Amazon, adequação ambiental, código florestal brasileiro, imagens de satélite, Amazônia.

1.INTRODUÇÃO.

Os processos de desmatamento no Brasil decorrem da pressão por abertura de novas áreas para a agricultura e pecuária (TOLLEFSON, 2010; ARVOR et. Al. 2011). A degradação ambiental ocorre em todas as regiões do Brasil, mas apresenta mais intensidade na região Amazônica, principalmente nos estados do Mato Grosso, Pará e Rondônia, onde o sistema de uso da terra está pautado na extração madeireira e no desflorestamento, seguido pelo cultivo de pastagens, arroz, soja e milho (COLSON et al. 2011).

Torna-se importante analisar sistemas de produção e uso da terra com foco não apenas na preservação dos recursos florestais, mas também voltados para a sustentabilidade econômica, social e ambiental do agroecossistemas em consonância com a aplicação da legislação ambiental, especialmente a partir da análise do novo código florestal. Uma estratégia de grande eficiência a ser usada para monitorar as florestas é o uso de geotecnologias e imagens de satélite de alta resolução espacial. A funcionalidade e eficácia desses procedimentos, integrada as informações produzidas por imagens de satélites de alta resolução espacial permitem produzir diagnósticos e fornecer subsídios capazes de identificar e mensurar a ocorrência de conflitos de uso da terra em áreas de preservação permanentes fortalecendo as ações ambientais de monitoramento, assim como facilita a criação de instrumentos jurídicos e fiscalização desses ambientes (MELCHIOR et al., 2005).

No presente trabalho foram utilizadas imagens de satélite de alta resolução espacial para analisar a cobertura florestal das áreas de preservação permanente (APP) e reserva legal (RL) de propriedades rurais conduzidas em sistemas de produção orgânico (SPO) e em sistemas de produção convencional (SPC).

O objetivo foi verificar o grau de adequação à legislação ambiental de pequenas propriedades rurais a partir da aprovação do novo Código Florestal Brasileiro (Lei Federal 12.651/2012), com imagens de satélite e comparações entre os anos de 2011 e 2014. A idéia foi verificar se houve regeneração florestal, desflorestamento ou mesmo se houve recomposição das áreas degradadas entre os anos avaliados.

2.METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada a partir do trabalho desenvolvido por Feistauer et al. (2012). As propriedades rurais foram percorridas *in loco* para registro e coleta de dados georreferenciados das Áreas de Preservação Permanentes e Reservas Legais. As coordenadas geográficas dos limites e demais pontos

de interesse foram analisadas posteriormente através de imagens de satélite para confirmar o que foi identificado em campo. Em 2014 as análises das áreas foram tomadas em laboratório com utilização do software ArcGis, versão 9.3. Foram utilizadas imagens de satélite de alta resolução espacial do satélite da série RapidEye (resolução espacial de aproximadamente 5,0 a 6,5 metros) para avaliar as áreas de Preservação Permanentes e as áreas de Reserva legal nas propriedades rurais.

A região em questão localiza-se no norte do Estado do Mato Grosso, mais precisamente nos municípios de Nova Santa Helena, Matupá, Terra Nova do Norte, e Guarantã do Norte, pertencentes ao território Portal da Amazônia-MT (GARBIN et. Al. 2006). (Figura 1). Todas as propriedades são enquadradas como agricultura familiar pela Lei Federal n.º 11.326 de 2006 (BRASIL, 2006), elas foram selecionadas em 2011 de acordo com o trabalho de Feistauer (2012), com classificação em dois grupos. O primeiro grupo foi formado por propriedades conduzidas no sistema orgânico de produção orgânica (SPO), certificadas desde 2004 por uma empresa certificadora registrada no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a partir das normas brasileiras de agricultura orgânica (BRASIL, 2003). As nove propriedades rurais avaliadas pertencentes ao SPO representam um universo amostral de 40% das propriedades rurais certificadas por uma cooperativa especializada em produção orgânica naquele ano de 2012. O segundo grupo foi formado por oito propriedades, conduzidas no sistema de produção convencional (SPC). Estas propriedades foram escolhidas pela localização próxima e adjacente ao grupo SPO, seguindo o método proposto por Kuiper (2000), que torna minimiza os erros aleatórios e torna mais precisos os resultados com esta estratégia de análise.

As principais atividades agrícolas presentes no SPO são o guaraná (*Paulinia cupania*), mandioca (*Manihot esculenta*), café (*Coffea canephora*), caju, (*Anacardium occidentale*), Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), legumes e verduras para a comercialização nos mercados institucionais e feiras municipais e gado para a produção de leite e corte. No SPC, as principais atividades são a produção de gado de corte, e atividades destinadas para o consumo familiar, como o cultivo de verduras, hortaliças e fruticultura em quintais agroflorestais. Para quantificar e avaliar as áreas de RL e APP no período de maio a setembro de 2011 todas as propriedades rurais foram percorridas para registro de coordenadas geográficas dos pontos de referência e limites, utilizando-se de aparelho receptor de sinais do sistema GPS (instrumento de posicionamento global). Essas áreas foram comparadas com os valores estabelecidos na legislação ambiental vigente, em termos de percentual mínimo necessário de área de RL (em função da área total) e APP (em função da largura dos córregos existentes ou do número de nascentes), sobretudo as medidas aprovadas pelo novo CFB (BRASIL, 2012). Na análise da cobertura

florestal utilizaram-se o programa (software) ArcGis 9.3, interface ArcView, que serve basicamente para processar/analisar os dados espacialmente georeferenciados. O satélite utilizado é da série RapidEye, de sensores orbitais com resolução espacial (5,0 a 6,5 metros), ou seja, considerada alta resolução espacial que permite uma visualização mais nítida. As cenas ou órbita/ponto utilizadas foram as seguintes: 2134524 (de 21/06/2014), 2134224 (de 12/09/2014), 2134225 (de 31/05/2014), 2134222 (de 13/07/2014), 2134223 (de 13/07/2014), 2133924 (de 20/05/2013), 2134024 (de 22/09/2013).

Esse método de análise com a utilização de sistemas de informações geográficas (SIG) é o mesmo utilizado pelos órgãos ambientais e controle de desmatamento na Amazônia (CASTILHO e CORREIA JUNIOR, 2011).

Para comparar as mudanças das áreas de RL e APP de cada sistema de produção em relação os percentuais mínimos exigidos pela atual legislação ambiental de cada grupo analisado (SPO e SPC) foram calculadas as áreas totais, de preservação permanente (APP) e de reserva legal (RL) dos diferentes produtores em cada sistema de produção (Tabela 1). Os resultados obtidos foram submetidos ao teste paramétrico t-student, a 5,0% de probabilidade (SOKAL e ROHLF, 2009).

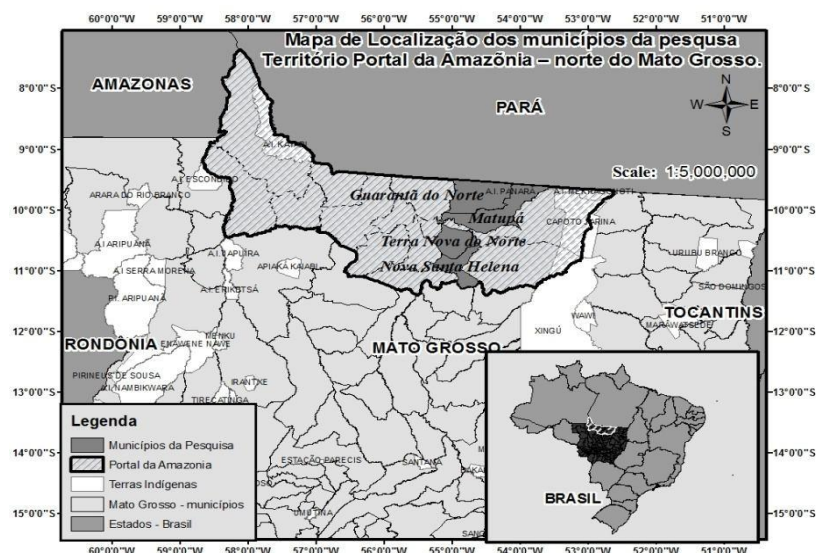


Figura 1: Mapa do Território *Portal da Amazônia* – MT com a localização dos municípios de Terra Nova do Norte, Guarantã do Norte, Matupá e Nova Santa Helena.

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO.

A área total média das propriedades classificadas como SPO e SPC foram de 43,4 hectares e 61,7 hectares, respectivamente para SPO e SPC (Tabela 1). Todas as propriedades rurais são menores que

quatro módulos fiscais para os municípios envolvidos, o que corresponde a 90,0 hectares (INCRA, 2012). Em função do tamanho, as propriedades foram enquadradas nos casos específicos e incentivos previstos para a agricultura familiar segundo o capítulo XII do novo CBF (BRASIL, 2012).

Em 2011, o percentual de APP foi de 7,3% para o SPO e de 5,3% para o SPC (Tabela 1), e em 2014 o percentual de APP aumentou para 8,3% no SPO e 5,4% no SPC. A análise das propriedades rurais por meio de imagens de satélite, durante o período de 2011 a 2014, serviu como parâmetro para demonstrar que os produtores recompuseram boa parte do componente florestal tanto nas áreas de RL quanto de APP, o que demonstra a ação dos produtores em conduzir à regeneração do componente florestal nesses espaços protegidos.

Tabela 1: Quantificação das áreas totais, de preservação permanente (APP) e de reserva legal (RL) em propriedades rurais familiares com sistemas de produção: orgânico (SPO) e convencional (SPC), pertencentes ao território *Portal da Amazônia*, norte do Mato Grosso, nos anos de 2011 e 2014.

Sistema de produção	Produtor	Área Total (ha)	Área de Preservação Permanente (APP) *			Reserva Legal (RL)		
			Ideal (ha)	APP Real 2011 (ha)	APP Real 2014 (ha)	Ideal (ha)	RL 2011 (ha)	RL 2014 (ha)
Orgânico (SPO)	01	25,9	2,1	1,5	1,7	18,6	4,5	3,9
	02	24,7	1,6	1,6	1,6	18,1	2,8	2,2
	03	25,7	1,5	1,5	1,5	19,1	18,6	17,6
	04	55,5	6,0	1,5	4,7	38,4	25,7	27,0
	05	30,3	0,0	0,0	0,0	24,3	18,4	20,9
	06	60,1	3,0	2,6	3,0	45,1	36,5	35,9
	07	55,3	6,2	6,2	6,2	38,0	21,3	34,8
	08	78,0	12,2	12,2	12,2	50,2	62,0	58,8
	09	35,3	2,5	1,5	1,5	25,7	7,2	3,2
Convencional (SPC)	<i>Sub-total</i>	390,8	35,1	28,6	32,4	277,5	197,0	204,2
	<i>média</i>	43,4	3,9	3,2a	3,6a	30,8	21,9a	22,7a
	01	50,5	10,3	7,4	7,4	30,1	8,2	8,2
	02	43,1	3,6	2,9	2,9	30,9	10,7	18,7
	03	36,4	0,8	0,5	0,5	28,3	21,0	17,0
	04	50,0	2,9	0,9	1,4	37,2	5,2	9,8
	05	63,4	2,1	2,1	2,1	48,7	33,6	31,3
	06	100,1	8,1	6,4	6,1	72,0	6,4	11,5
	07	50,0	3,6	2,0	2,0	36,4	2,0	9,1
Geral	08	100,0	5,3	4,0	4,4	74,7	12,3	25,3
	<i>Sub-total</i>	493,5	36,7	26,2	26,8	358,3	99,4	130,9
	<i>média</i>	61,7	4,6	3,3 a	3,3 a	44,8	12,4 a	16,4 b
Geral	Total	884,3	71,8	54,8	59,1	635,8	296,4	335,0
	Média	52,0	4,2	3,2 A	3,5 A	37,4	17,4A	19,7 B

*Admite-se o cômputo das APPs na RL. Letras minúsculas iguais (nas colunas) e maiúsculas iguais (nas linhas) não diferem entre si, em nível de significância de 5% de probabilidade, pelo teste t-*student*.

Apesar de não haver diferenças significativas, o SPO apresentou uma maior área regenerada de floresta na APP ao fazer a comparação entre os anos de 2011 a 2014, com um aumento de regeneração natural de 3,8 hectares considerando todos os produtores deste sistema de produção. Em seis das nove (6/9) propriedades em SPO não se identificou alteração nos percentuais de floresta, e apenas três produtores (3/9) mostraram regeneração de floresta em APP. Em nenhum dos produtores (0/9) observou-se supressão de vegetação e redução da área de APP. Apesar dos resultados demonstrarem que houve regeneração natural nos espaços protegidos das propriedades avaliadas, não se observou

diferenças estatísticas nas avaliações, o que sugere uma avaliação continuada e monitoramento em anos sequenciais, com uso de imagens de satélite.

Nas APPs do SPC, não houve diferenças significativas entre os anos de 2011 e o ano de 2014, com o aumento total de 0,6 hectares de vegetação em regeneração, o que classifica este grupo como o que menos evoluiu em relação à regeneração dos remanescentes florestais. Neste sistema de produção dois produtores apresentaram valores de APP maiores do que havia anteriormente (nº04 e nº08, tabela 1), já o restante mantiveram ou reduziram as áreas de floresta, a exemplo do produtor nº 06, o qual reduziu em 0,3 hectares a área de floresta em APP.

Na área de RL o SPO não mostrou diferenças significativas entre os anos de 2011 e 2014. Apesar de ter havido aumento total do componente florestal das propriedades, com aumento total de 0,8 hectares entre os anos de 2011 a 2014, a maior parte dos produtores do SPO (7/9) diminuíram a área de RL entre os anos avaliados.

No SPC a área de RL total apresentou um aumento significativo de 30,9 hectares em 2014 com relação a 2011. A maior regeneração de florestas em 2014 ocorreu neste sistema de produção, onde dois produtores (nº 06 e nº 07, tabela 1), que em 2011 não apresentavam área de floresta como Reserva Legal, apresentaram um aumento de remanescentes florestais por intermédio da regeneração natural no ano de 2014, ainda que beneficiados pela legislação com áreas consolidadas para desmatamentos ocorridos em data anterior a 22/07/2008 pelo novo CFB (Lei Federal 12.651/2012). Entre as propriedades rurais avaliadas no SPC, duas (02/08) diminuíram o tamanho da floresta na RL, uma (01/08) manteve o tamanho e as demais (05/08) apresentaram regeneração de remanescentes florestais.

Entre os 884,3 hectares quantificados nas dezessete propriedades avaliadas, as áreas de RL somaram 335,0 hectares em 2014, incluindo o cômputo de 59,1 de APP na RL. Entre os anos de 2011 e 2014 houve diferenças significativas e um aumento de 46,0 hectares de RL somados ambos os sistemas de produção (tabela 1). No caso das APPs, apesar de não terem sido identificadas diferenças estatísticas, observou-se aumento de 4,3 hectares entre 2011 e 2014, passando respectivamente, de 54,8 para 59,1 hectares. Essa situação demonstra o aumento total do componente florestal nesses espaços protegidos, na maior parte das propriedades rurais, em ambos sistemas de produção (tabela 1).

Na soma total das áreas de RL em ambos os sistemas de produção houve redução de déficit de 33,8 hectares, com aumento médio de recomposição de componentes florestais em ambos os sistemas de produção. Isso demonstra a tentativa dos produtores em adequar-se à legislação ambiental a partir

da aprovação do novo CFB (Lei Federal 12.651/2012), ainda que tenha havido validação de áreas consolidadas tanto para as áreas de RL quanto de APP.

4.CONCLUSÃO

As imagens de alta resolução espacial permitiram a análise da cobertura florestal nas propriedades. Apesar de não terem sido identificadas diferenças significativas entre os anos de 2011 e 2014 na comparação com o SPO e o SPC, os resultados demonstram que houve aumento médio de remanescentes florestais tanto nas áreas de RL quanto nas áreas de preservação permanente (APP).

Ainda que com o favorecimento legal em relação às áreas consolidadas de desmatamentos realizados em data anterior a 22/07/2008 (Lei Federal 12.651/2012), os resultados mostraram processo de regeneração natural e recomposição florestal de áreas de RL e APP em ambos os sistemas de produção avaliados. Essa situação demonstra o comprometimento com a tentativa de cumprimento da legislação ambiental, ou mesmo o reconhecimento da importância das áreas de florestas, tanto como área de RL e em APP, em diferentes sistemas produtivos.

O fato de as propriedades que adotam o sistema de produção convencional terem apresentado um aumento maior de remanescentes florestais na RL em relação aos demais, mostra que medidas que beneficiem tais propriedades, inclusive políticas públicas, podem favorecer a maior conservação para este e outros sistemas produtivos.

5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Almeida F. R; Nascimento, P.S.R.; Batista, G.T. Avaliação de técnicas de segmentação e classificação automática de imagens landsat-tm no mapeamento do uso do solo na Amazônia. Acta Amazonica. 1998,vol.28,n.1,pp.41-41.ISSN1809-4392.Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0044-59671998000100041&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 01 set.2016.

Arvor, D.; Margareth, M.; Dubreuil, V.; Begue, A.; Yosio, S. Analyzing the agricultural transition in Mato Grosso, Brazil, using satellite-derived indices. Applied Geography, v. 32, p.702-713, 2012. Disponível em: <http://hal.univ-nantes.fr/cirad-00820484/document>. Acesso em: 01 set.2016.

BRASIL, Lei Federal nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. Brasília, Diário Oficial da União – Seção 1 – 24/12/2003, p. 8.

BRASIL, Lei Federal nº 11.326 de 24 de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais, Brasília, Diário Oficial da União, n.º141, Seção 1 – 25/07/2006, p.1 a 2.

BRASIL, Lei Federal nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; (...) e dá outras providências, Brasília, Diário Oficial da União, n.º102, Seção 1 –, p.1 a 8.

Castilho, A.C.C.; Correia J. Y. Análise da degradação ambiental ocorrida em área de plano de manejo florestal no município de União do Sul – MT. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba,PR.AnaisXV.INPE,2011.p.27712778.Disponívelem:<<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0326.pdf>>. Acesso em: 01 set.2016.

Collson, F.; Bogert, J.; Reinhart, C. Fragmentation in the Legal Amazon, Brazil: Can landscape matrices indicateagriculturepolicedifferences?EcologicalIndicators,v.11,n.5,p.14671471,2011.Disponívelem:ht tp://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X10002256. Acesso em: 01 set.2016

Delalibera, H.C.; Weirich Neto P.H.; Lopes, A. R. C.; Rocha, C.H.Alocação de reserva legal em propriedades rurais: do cartesiano ao holístico. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. CampinaGrandePB,v.12,n.3,p.286292,2008.Disponívelem:<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n3/v12n03a10.pdf>. Acesso em: 01 set.2016.

Garbin, V.H.; Silva, M.J.; Olival, A.. Plano Territorial de Desenvolvimento Sustentável do Território PortaldaAmazôniaMT.MinistériodoDesenvolvimentoAgrárioMDA,61p.2006.Disponívelem:http://sit.mda.gov.br/download/ptdrs/ptdrs_qua_territorio074.pdf. Acesso em: 01 set.2016.

Gibson, R.H.; Pearce, S.; Morris, R.J.; Symondsons, W.O.C.; Memmot, J. Plant diversity and land use under organic and conventional agriculture: a whole-farm approach. Journal of Applied Ecology. v. 44. 2007. p. 792–803.

INCRA.INSTITUTONACIONALDECOLONIZAÇÃOEREFORMAAGRÁRIA,2012.Disponívelem:</<http://www.incra.gov.br/index.php/institucional/legislacao/atosinternos/instrucoes/>>Acoem: 03 ago.2012.

Jacovine, L.A.G.; Corrêa, J. B. L.; Silva, M. L.; Valverde, S.R.; Filho, E.I.F.; Coelho, F.M.G.; Paiva, H.N.Quantificação das áreas de preservação permanente e de reserva legal em propriedades da bacia doRioPombaMG.RevistaÁrvore,ViçosaMG,v.32,n.2,p.269278,2008.Disponívelem:http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010067622008000200010&script=sci_abstract&tlng=pt.Acesso em: 01 set.2016.

Feistauer, D. Adequação à legislação ambiental de pequenas propriedades rurais conduzidas em sistema orgânico ou convencional no Território Portal da Amazônia - Mato Grosso. 2012, 205 p. Dissertação (Mestrado em agro ecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. 2012.

Feistauer, D.; Lovato, P.E.; Siminski, A.; Resende, S.A. Impactos do novo código florestal na regularização ambiental de propriedades rurais familiares. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 749-757, jul.-set. ,2014 ISSN 0103-9954. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/7288/9519>>. Acesso em: 01 set.2016.

Kuiper, J. A checklist approach to evaluate the contribution of organic farms to landscape quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. v. 77, p. 143-156, 2000. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880999000997>. Acesso em: 01 set.2016.

Neumann, P. S.; Loch, C. Legislação Ambiental. Desenvolvimento rural e práticas agrícolas.

Ciência Rural, v.32, n.2, p.243-249, Santa Maria 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782002000200010>. Acesso em: 01 set.2016.

Oliveira, F. S.da.; Soares, V.P.; Pezzopane, J.E.M.; Gleriani, J.M.; Lima, G.S.; Silva, E.; Ribeiro, C.A.A.S.; Oliveira, A.M.S. Identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente no entorno do Parque Nacional do Caparaó, estado de Minas Gerais. *Revista Árvore*, v.32, n. 5, p. 899-908, 2008.

Viçosa-MG. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v32n5/15.pdf>>. Acesso em: 01 set.2016.

Petersen, P.F.; Von Der Weid, J.M.; Fernandes, G.B. Agroecologia: reconciliando agricultura e natureza. Informe Agropecuário. EPAMIG. Belo Horizonte – MG. v. 30, n. 252, p. 07-15.

2009. Disponível em: <<http://aspta.org.br/wp-content/uploads/2012/05/Agroecologia-reconciliando-agricultura-e-natureza.pdf>>. Acesso em: 01 set.2016.

Piontekowski, V. J.; Matricardi, E. A. T.; Pedlowski, M. A.; Fernandes, L.C. Avaliação do desmatamento no estado de Rondônia entre 2001 e 2011. *Floresta Ambient*. 2014, vol.21, n.3, pp. 297-306. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/floram/v21n3/aop_floram_068213.pdf>. Acesso em: 01 set.2016.

Sokal, R.R.; Rohlf, F.J. Introduction to Biostatistics. 2. ed. / Robert R. Sokal and F. James Rohlf. 363 p. 2009.

Tollefson, J. The Global Farm. *Nature*, v.466, p.554-556, 2010. Disponível em: <<http://www.nature.com/news/2010/100728/full/466554a.html>>. Acesso em: 01 set.2016.

Capítulo 3



10.37423/240108672

PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NA ZONA URBANA DE PAU DOS FERROS– RN

WESLEY DE OLIVEIRA SANTOS

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO
SEMI-ÁRIDO (UFERSA)

MANOEL JANUÁRIO DA SILVA JÚNIOR

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO
SEMI-ÁRIDO (UFERSA)

JOSÉ ESPÍNOLA SOBRINHO

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO
SEMI-ÁRIDO (UFERSA)

JANAÍNA CORTÊZ DE OLIVEIRA

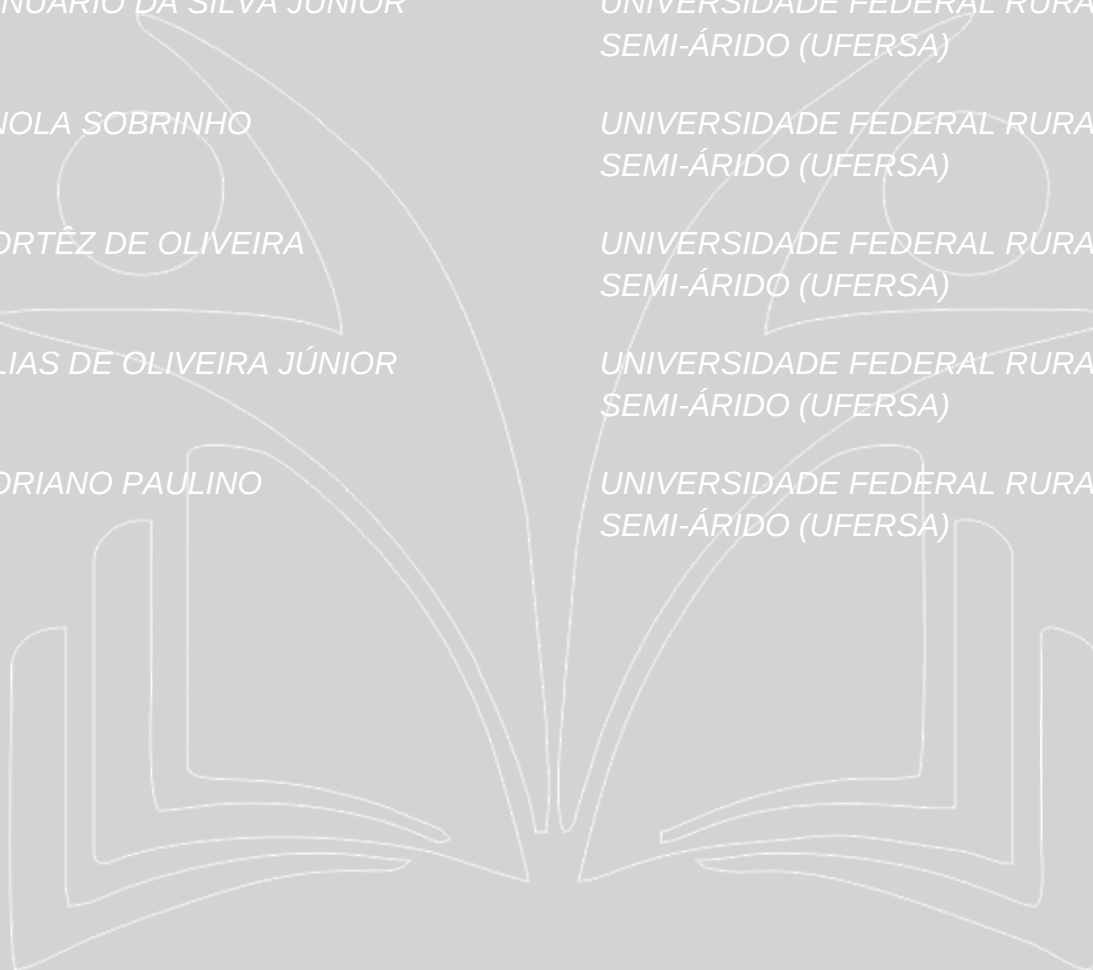
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO
SEMI-ÁRIDO (UFERSA)

MARCOS ELIAS DE OLIVEIRA JÚNIOR

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO
SEMI-ÁRIDO (UFERSA)

OTÁVIO FLORIANO PAULINO

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO
SEMI-ÁRIDO (UFERSA)



Resumo: A cidade de Pau dos Ferros, no estado do Rio Grande do Norte, está localizada dentro do semiárido mais chuvoso da Terra, apresentando índice pluviométrico médio anual de 772 mm (1911-1990). Há uma elevada variabilidade espacial e temporal, pois boa parte desta chuva ocorre no primeiro semestre, especialmente desde fevereiro até maio, sendo que, em alguns anos, isto pode não acontecer, caracterizando as secas. A fim de determinar a caracterização pluviométrica deste município, foram utilizados os dados disponibilizados pela EMPARN em um período de trinta anos observados, de 1987 a 2016, sendo que, a partir de 2014, devido a falhas de dados, foi aplicado o método da ponderação regional para preencher tais falhas e completar a série, utilizando-se, para tanto, dados de até oito postos pluviométricos vizinhos. A partir desses dados da EMPARN, foi possível aplicar a estatística descrita por meio do cálculo das medidas centrais e de dispersão, bem como sua distribuição de frequência, utilizando-se para tanto planilhas no software Excel. Também foi possível obter uma média do número de dias do ano que apresenta registro de precipitação (igual ou maior a 1 mm). A maioria dos anos apresentou chuva abaixo da média calculada para o período, que foi de 695,4 mm. O número de dias com registro de precipitação por ano foi igual a 52, dos quais 36 no período chuvoso, sendo que na maioria dos anos esse número ficou abaixo da média tanto na quadra chuvosa quanto no ano.

Palavras-chave: Clima, Estatística descritiva, Semiárido.

INTRODUÇÃO

Segundo Galvão e Jatobá (2016), “O clima é um dos elementos do quadro natural que mais influências exercem sobre os demais componentes físico-geográficos das paisagens de áreas continentais emersas e também sobre a sociedade, particularmente nos espaços rurais e urbanos”.

As precipitações consistem em qualquer fenômeno relacionado à queda de água das nuvens sobre a superfície terrestre, que incluem a chuva (mais comum), granizo (pedras de gelo) e neve (mais rara) (AQUINO, 2010). Para que elas possam ocorrer, é necessário que as condições atmosféricas estejam favoráveis, como umidade alta e calor suficiente para que o vapor de água atinja seu ponto de saturação na alta atmosfera e se condense, formando as nuvens.

Além de sua importância, a precipitação é um fenômeno meteorológico que apresenta maior variabilidade tanto espacial quanto temporal. São consideradas essenciais à manutenção da vida no planeta Terra, seja ela animal ou vegetal, constituindo parte do ciclo hidrológico (UFCG, 2008).

As precipitações também são importantes na economia, em especial para a agricultura, pois mantêm a produtividade das lavouras, além de servirem para “o dimensionamento dos sistemas de drenagem, de barragens, pontes e outras estruturas hidráulicas, o planejamento da conservação dos solos e do manejo da irrigação, etc” (UESC, 2017).

Apesar de importantes, as precipitações podem causar transtornos desde enchentes e deslizamentos de terra quando em excesso a secas e queimadas quando em falta, além de perdas nas lavouras agrícolas, em ambos os casos (AQUINO, 2010).

Localizado em uma região de clima semiárido, Pau dos Ferros-RN é um município vulnerável à ocorrência de secas periódicas. As precipitações que caem sobre a cidade, além de concentradas em poucos meses do ano, não são uniformes, ou seja, são comuns as variações no volume entre diferentes pontos da cidade (espacial), assim como a hora e intensidade em que ocorrem as precipitações (temporal).

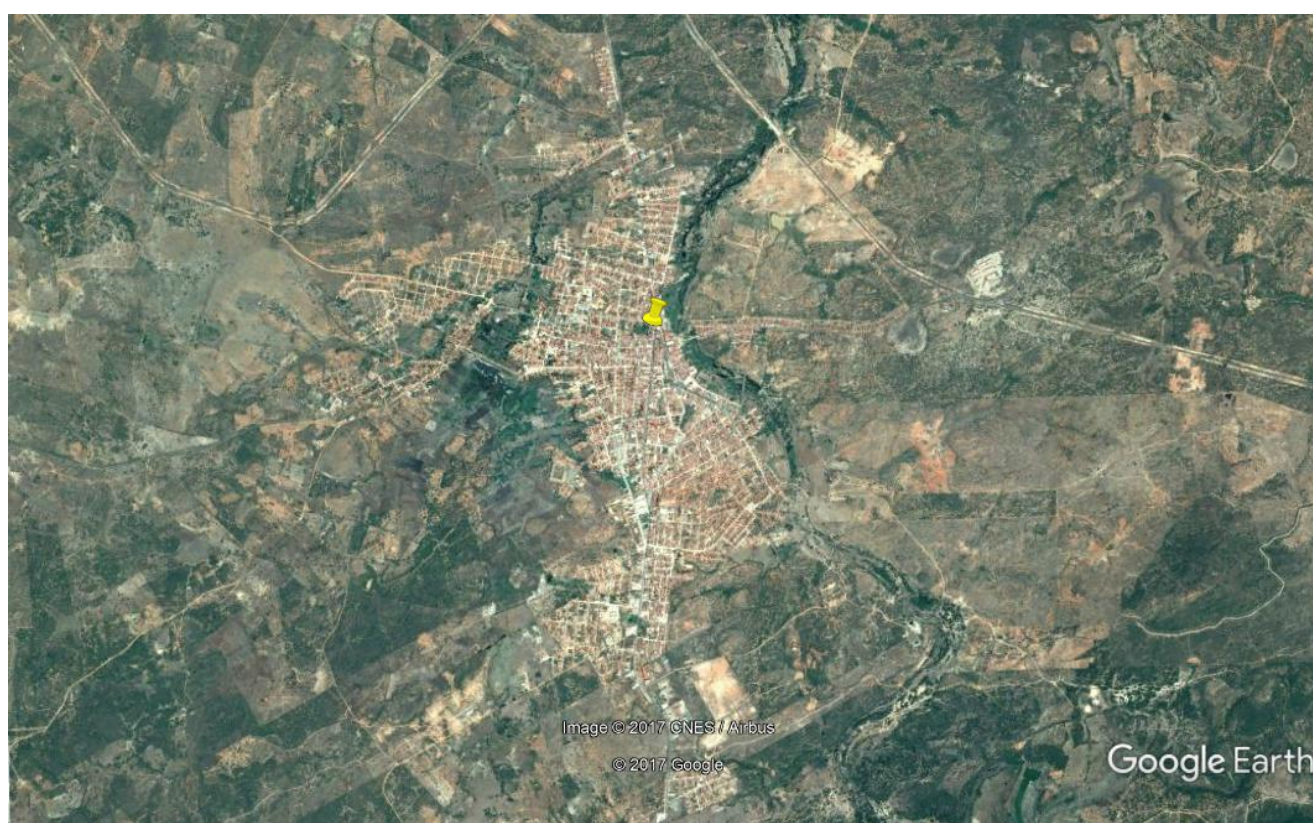
As irregularidades de precipitação são prejudiciais, principalmente em locais próximos, dentro de uma mesma cidade ou entre dois municípios próximos, comprometendo a recarga dos recursos hídricos e, conseqüentemente, o abastecimento de água, além de afetar a produção agrícola. Assim, essa variabilidade em diferentes pontos da cidade torna-se essencial à tomada de decisões e à elaboração de projetos ambientais.

Este trabalho objetivou analisar as variações no regime pluviométrico de Pau dos Ferros-RN nos últimos trinta anos, bem como a frequência das chuvas durante este período, utilizando-se a série histórica da EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte.

METODOLOGIA

Foram utilizados dados de precipitação diários coletados no posto pluviométrico gerenciado pela EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte, no período de 1987 a 2016. Este posto está localizado no centro (figura 1), mais especificamente na Rua 13 de Maio (latitude de $6^{\circ}6'32,33''$ S e longitude $38^{\circ}12'22,93''$ O e altitude de 194 metros), cujo pluviômetro é do tipo Ville-de-Paris, de propriedade particular.

Figura 1 - Localização do posto pluviométrico monitorado pela EMPARN na zona urbana de Pau dos Ferros



Fonte: Google Earth. Adaptação do autor (2017).

Utilizando-se a planilha do software Excel, os dados do posto foram tabulados para em seguida ser determinada a distribuição de frequência. Em virtude da existência de falhas a partir do ano de 2013, foi necessário preenchê-las usando, através do Excel, o método da ponderação regional, dado por:

$$P_y = \frac{\bar{P}_y}{n} \left(\frac{P_{x_1}}{\bar{P}_{x_1}} + \frac{P_{x_2}}{\bar{P}_{x_2}} + \dots + \frac{P_{x_n}}{\bar{P}_{x_n}} \right) = \frac{\bar{P}_y}{n} \sum_{i=1}^n \frac{P_{x_i}}{\bar{P}_{x_i}} \quad (1)$$

Em que: P_y é o dado do posto com falha a corrigir, n o número de postos a serem usados, $\{P_{x1}, P_{x2}, \dots, P_{xn}\}$ os dados diários dos postos pluviométricos vizinhos e $\{\bar{P}_y, \bar{P}_{x_1}, \bar{P}_{x_2}, \dots, \bar{P}_{x_n}\}$ as médias de cada um desses postos, calculadas para um período de pelo menos dez anos de observação.

Para o preenchimento foram utilizados dados de até sete postos pluviométricos próximos, dos quais seis monitorados pela EMPARN (Água Nova, Doutor Severiano, Encanto, Francisco Dantas, Rafael Fernandes e São Francisco do Oeste) e um pela FUNCEME (Ererê).

Por meio da estatística descritiva foi possível determinar a distribuição de frequência de anos secos, normais ou chuvosos, e determinar as medidas centrais e de dispersão (média, mediana, moda, variância e o desvio padrão).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta os acumulados de precipitação observados no período de trinta anos, de 1987 até 2016, tanto no período anual quanto no período chuvoso (fevereiro-maio), bem como a classificação (categoria) da precipitação pelo método dos quantis observada nos dois casos.

Tabela 1 Acumulados do período chuvoso e anual pelo método dos quantis

Ano	Acumulado		Categoria	
	Período chuvoso	Ano	Período chuvoso	Ano
1987	506,8	600,7	Seco	
1988	571,2	707,4	Normal	
1989	623,5	964,2	Normal	Chuvoso
1990	279,1	332,9	Muito seco	Muito seco
1991	527,6	577,5	Normal	Seco
1992	458,3	612,4	Seco	
1993	155,9	212,6	Muito seco	Muito seco
1994	657,6	811,2	Normal	
1995	639	762,1	Normal	
1996	768,4	935	Chuvoso	
1997	538	692,8	Normal	
1998	193,2	279,2	Muito seco	

1999	471,1	666,8	Seco	Normal
2000	714,3	994,8	Chuvoso	
2001	393,8	521,2	Seco	
2002	607,8	949,8	Normal	Chuvoso
2003	612,3	770,5	Normal	
2004	700,6	1225,1	Chuvoso	Muito chuvoso
2005	379,6	486,2	Seco	Muito seco
2006	786,9	859,7	Chuvoso	Normal
Ano	Acumulado		Categoria	
	Período chuvoso	Ano	Ano	Período chuvoso
2007	593,4	665,4	Normal	
2008	922	1235	Muito chuvoso	
2009	764,2	1031,6	Chuvoso	
2010	346,4	531,2	Muito seco	Seco
2011	467,6	883,8	Seco	Normal
2012	244,2	441	Muito seco	
2013	386,6	592,8	Seco	
2014	482,5	534,6		
2015	403	570,5		
2016	393	625		

Fonte: EMPARN (2017)

Durante o período observado, em dois anos a precipitação observada ficou dentro do esperado (1995 e 2003), em dez anos acima do normal e nos dezesseis abaixo da média. Apesar disso, em quinze anos o período chuvoso foi, no mínimo, considerado normal, pelo método dos quantis.

Os maiores totais anuais foram observados em 2008 (1235 mm) e 2004 (1225,1 mm), os únicos considerados muito chuvosos pelo método dos quantis. Nos anos 2000 (2000-2009), apenas dois anos foram considerados muito secos ou secos (2001 e 2005); o ano de 2007 teve seu período chuvoso normal e encerrou o ano com um acumulado (665,8 mm) um pouco superior ao mínimo (654,74 mm) que um ano precisa para ser considerado normal. Já os anos mais secos foram 1993 (212,6 mm) e 1998 (279,2 mm), sendo a seca deste último provocada pelo El Niño mais intenso já registrado. Nessa

década analisada, apenas o período 1994-1996 teve chuva dentro ou acima do normal, sendo 1996 o ano mais chuvoso; todos os demais tiveram chuva abaixo da média.

Na década de 2010 (2010–2016), seis dos sete anos observados foram considerados como secos ou muito secos, devido à seca prolongada mais intensa das últimas décadas. A principal causa desta seca prolongada (2012–2016) foi a Temperatura da Superfície do Mar - TSM do Atlântico Sul mais baixa que o Atlântico Norte, comprometendo a posição da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, que ficou mais a norte em relação à sua posição climatológica típica da época da estação chuvosa. A este fator soma-se o El Niño 2014–2016, um dos mais intensos já registrados, semelhante ao evento de 1997-1998. Apenas o ano de 2011 foi considerado normal, tendendo a chuvoso, pois o acumulado anual (883,8 mm) foi um pouco inferior ao necessário para um ano ser considerado chuvoso (891,1 mm), embora a quadra chuvosa tenha se enquadrado em “seco”.

Levando-se em conta apenas o período chuvoso (fevereiro-maio), pelo método dos quantis a maioria dos períodos observados ficou na categoria normal. Comparando-se a classificação do período chuvoso com relação à classificação anual, observa-se que em dezenove anos estas coincidiram e em onze não. Dessas onze, em três deles a categoria anual foi rebaixada em relação à categoria da quadra chuvosa (1991, 2005 e 2006) e nos oito restantes a categoria anual foi superior à do período chuvoso.

Agora, comparando-se os totais observados no período chuvoso e com o obtido em todo o ano, observou-se ainda que em dois anos observados o período chuvoso se encerrou com acumulado igual ou superior à média (587,4 mm), mas o acumulado anual abaixo do normal (1988 e 2007). Em outros dois anos, o acumulado do período chuvoso ficou acima do normal, mas os anos terminaram com chuva dentro do esperado, sendo eles 1995 e 2003. Já o ano de 2011 foi o único que, embora tenha tido seu período chuvoso com menos chuva que o normal (1911-1990), devido à grande anomalia negativa do mês de março, contudo o acumulado anual terminou acima da média. Isso se deveu principalmente à chuva muito acima da média dos meses de janeiro (pré-estação), julho e outubro (os dois últimos do período seco).

Aplicando-se as medidas de dispersão aos dados pluviométricos, tanto para o período chuvoso quanto para o ano, os seguintes resultados foram obtidos, na tabela 2:

Tabela 3 Medidas centrais e de dispersão calculados para os períodos chuvoso e anual

Medida	Período chuvoso	Ano
Média ($\bar{x}$)	500,6 mm	695,4 mm
Moda (Mo)	538,94 mm	638,6 mm
Medida	Período chuvoso	Ano
Mediana (Md)	502,5 mm	672,76 mm
Variância (S^2)	31930 mm ²	56737 mm ²
Desvio-padrão (S ou σ)	178,69 mm	238,2 mm
Coeficiente de variação (%)	34,25	35,69

Fonte: Autor (2017)

A partir dos resultados, percebe-se que a média de 695,4 mm no período apresentou uma redução de quase 10% em comparação com a médiaclimatológica calculada pela UFCG para o período 1911–1990, que é de 772 mm. Isso se deveu à maior parte dos anos terem sido com precipitação abaixo do normal, com destaque para as secas prolongadas de 2012–2016 e 1990–1993, cujas durações foram, respectivamente, de cinco e quatro anos. Comparando-se agora as médias da quadra chuvosa nos dois períodos, a redução foi ainda maior, de quase 15%. Levando-se em consideração a climatologia anual (1911–1990) e comparando-as com as médias do período 1987–2016, observou-se que no período chuvoso apenas o mês de fevereiro ficou com sua média estável e em todos os demais meses as chuvas ficaram menos frequentes, em especial no mês de março. Já em janeiro observou-se um aumento em torno dos 40%, enquanto nos demais meses (junho a dezembro), por serem de pouca chuva, a climatologia apresentou pouca variação.

Analisando-se os outros resultados, nota-se que a moda anual é exatamente a média aritmética dos limites inferior da primeira classe modal e superior da segunda classe modal e, pelo método dos quantis, um ano com essa quantidade de precipitação é considerado seco. Por sua vez, a moda do período chuvoso, pelo mesmo método, encontra-se na categoria normal.

A mediana anual, de 672,76 mm, é considerada normal, estando um pouco acima do mínimo para um ano se enquadrar nesta categoria, que é de 654,74 mm, ao passo que, para a quadra chuvosa, este valor está 1% abaixo do mínimo do normal (507,4 mm), encontrando-se, portanto, na categoria seco. Pelo coeficiente de variação, a dispersão em ambos os casos é considerada alta, por CV ser superior a 30%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do estudo, foi possível determinar a distribuição de frequência, por meio da aplicação de métodos estatísticos. No período observado, a categoria normal foi a mais frequente e ocorreu em nove dos trinta anos analisados. Muitos dos anos considerados secos ou muito secos, pelo método dos quantis, ocorreram nas décadas de 1990 e 2010, com destaque para a seca de 2012-2016, considerada a pior das últimas décadas e que gerou a atual crise hídrica que o município enfrenta. A década de 2000 concentrou a maioria dos anos chuvosos ou muito chuvosos no período, com apenas dois anos relativamente secos.

Com relação ao número de dias com precipitação, a média foi de aproximadamente 52 dias por ano, dos quais 36 foram na quadra chuvosa, que vai de fevereiro a maio. Para ambos os casos, a maioria dos anos teve menos dias com chuva do que o normal. Houve também anos em que o número de dias ficou acima da média, mas com precipitação abaixo do normal e vice-versa.

Portanto, a fim de se evitar o problema da escassez de água, faz-se necessário uma correta administração dos recursos hídricos, começando com a conscientização da população acerca do uso sustentável da água, proporcionando assim uma melhor convivência com a seca.

REFERÊNCIAS

AQUINO, Aline. Chuvas, deslizamentos e enchentes urbanas. 2010. Disponível em: <http://www.ufjf.br/labcaa/2010/01/05/chuvas-deslizamentos-e-enchentes-urbanas/>. Acesso em: 15 jul. 2017.

EMPARN. Breve História sobre a Meteorologia. Disponível em: <http://web.archive.org/web/20170821185918/http://187.61.173.26/historico.php>. Acesso em: 21 ago. 2017

FUNCEME (Fortaleza). Governo do Ceará. Sistemas Atmosféricos Atuantes Sobre o Nordeste. 2014. Disponível em: <http://www.funceme.br/index.php/comunicacao/noticias/551-sistemas-atmosfericos-atuantes-sobre-o-nordeste>. Acesso em: 11 jul. 2017.

GALVÂNCIO, Josiclê da Domiciano; JATOBÁ, Lucivânio. A DIALÉTICA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO SEMIÁRIDO NORDESTINO BRASILEIRO. Revista Equador, Universidade Federal do Piauí, v. 2, n. 5, p. 75-86, 2016.

UESC. Precipitação. Disponível em: <http://web.archive.org/web/20170731140209/http://www.agronomiauufs.com.br/index.php/material-de-aula/>. Acesso em: 30 jul. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. CAPÍTULO I: A ÁGUA (01/10): A Água na Natureza. 2008. Disponível em: http://web.archive.org/web/20080331181352/http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Agua_01.html. Acesso em: 22 jul. 2017.



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE



conhecimentolivre.org/home



contato@conhecimentolivre.org



[editoraconhecimentolivre](https://www.instagram.com/editoraconhecimentolivre)



ESTUDOS SISTEMÁTICOS E ATUALIZAÇÕES EM SENSORIAMENTO REMOTO
