

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**CONTROLE DA COAGULAÇÃO POR MEIO DE EQUIPAMENTO  
MEDIDOR DE CARGAS**

**DEYSIANE ANTUNES BARROSO DAMASCENO**

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL

2019

DEYSIANE ANTUNES BARROSO DAMASCENO

**CONTROLE DA COAGULAÇÃO POR MEIO DE EQUIPAMENTO  
MEDIDOR DE CARGAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL

2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

D155c  
2019  
Damasceno, Deysiane Antunes Barroso, 1991-  
Controle da coagulação por meio de equipamento medidor  
de cargas / Deysiane Antunes Barroso Damasceno. – Viçosa,  
MG, 2019.  
x, 189 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Inclui apêndices.

Orientador: Rafael Kopschitz Xavier Bastos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 80-83.

1. Água - Purificação. 2. Coagulação. 3. Cargas.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia  
Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

II. Título.

CDD 22 ed. 628.16

DEYSIANE ANTUNES BARROSO DAMASCENO

**CONTROLE DA COAGULAÇÃO POR MEIO DE EQUIPAMENTO  
MEDIDOR DE CARGAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 02 de maio de 2019.



---

Anibal da Fonseca Santiago



---

Renata de Oliveira Pereira



---

Rafael Kopschitz Xavier Bastos  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me proporcionar saúde e força para vencer mais esta etapa. Por não me desamparar e me surpreender a cada dia com Seu cuidado e proteção.

A minha mãe, pelo apoio, suporte e incentivo permanente. Ao meu pai, que de um plano especial, me protege e me guia. Dedico a vocês, com todo amor, esta conquista.

Ao professor Rafael Bastos, pela orientação e por me proporcionar a oportunidade de desenvolver esta pesquisa.

Aos funcionários da ETA UFV, agradeço a assistência no decorrer desta pesquisa, em especial, agradeço ao Gustavo Amorim, por sua solicitude e paciência em ensinar e resolver os problemas. Ao Vanderlei, Cícero e Daniel pelos inúmeros causos e boa prosa que deixavam os dias de trabalho sempre mais leves. Ao Janderson e Luiz, pelo suporte prestado. Tenho muito carinho e gratidão por vocês!

A DAG UFV, por ceder o espaço e equipamentos necessários a esta pesquisa.

Aos estagiários, Mariana e João Vitor, pelo auxílio durante as análises.

A todos, muito obrigada! Compartilho com vocês a alegria deste feito.

“Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas,  
mas ao tocar uma alma humana, seja apenas outra  
*alma humana.*”

(Carl G. Jung)

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Interação entre estrutura tetraédrica de sílica com estrutura octaédrica de alumina. ....	16
Figura 2. Distribuição dos íons na dupla camada elétrica (DCE). ....	18
Figura 3. Diagrama teórico de coagulação do sulfato de alumínio. ....	24
Figura 4. Interação combinada das forças eletrostáticas e de van der Waals entre as partículas coloidais e/ou flocos e os grãos do leito filtrante. ....	27
Figura 5. Ilustração esquemática de um medidor de cargas. ....	30
Figura 6. Variação da carga elétrica e da turbidez da água decantada em função (a) da dose de coagulante e (b) da dose de coagulante e da turbidez da água bruta. ....	31
Figura 7. Variação da dose de coagulante e da turbidez da água bruta captada pela ETA UFV em 2016. ....	36
Figura 8. Variação temporal da turbidez da água bruta captada pela ETA UFV em 2016. ....	36
Figura 9. Precipitação mensal acumulada, Viçosa MG, 2016. ....	37
Figura 10. Sensor do medidor de carga (esquerda) e monitor do medidor de carga (direita). ....	38
Figura 11. Variação da turbidez e carga elétrica da água bruta e dose de sulfato de alumínio, ETA UFV, julho 2017. ....	39
Figura 12. Equipamento Jar Test com filtros de bancada acoplados, DAG UFV. ....	40
Figura 13. Precipitação pluviométrica na cidade de Viçosa-MG, dezembro 2017 a novembro 2018. .	41
Figura 14. Fluxograma dos testes estatísticos aos quais os dados referentes à água bruta e dose ótima de coagulante foram submetidos. ....	44
Figura 15. Divisão dos grupos de variáveis submetidas aos testes de comparação de médias. ....	46
Figura 16. Diagrama de dispersão das variáveis (a) turbidez e carga da água bruta e (b) turbidez e PZ da água bruta, dezembro 2017 a novembro 2018. ....	47
Figura 17. Variação da turbidez, potencial zeta (PZ) e carga da água bruta ao longo de um ano hidrológico, dezembro 2017 a novembro 2018. ....	49
Figura 18. Variação da turbidez, potencial zeta e carga elétrica da água bruta ao longo do período de chuva, dezembro 2017 a abril 2018 + novembro 2018. ....	50
Figura 19. Variação da turbidez, potencial zeta e carga elétrica da água bruta ao longo do período de seca, maio a outubro 2018. ....	51
Figura 20. Diagrama de dispersão das variáveis (a) cor verdadeira e carga elétrica da água bruta e (b) cor verdadeira e PZ da água bruta, dezembro 2017 a novembro 2018. ....	52
Figura 21. Variação da cor verdadeira, potencial zeta e carga elétrica da água bruta, dezembro 2017 a novembro 2018. ....	53
Figura 22. Variação da turbidez, carga e PZ da água decantada em função da dose de sulfato de alumínio. Data 26/03/18- período chuvoso, turbidez inicial 113 uT. ....	54

Figura 23. Variação da turbidez, carga elétrica e PZ da água decantada em função da dose de sulfato de alumínio. Data 06/07/18 - período de seca, turbidez inicial 2,8 uT.....	55
Figura 24. Superposição dos pares: pH de coagulação e dose ótima de sulfato de alumínio, referentes aos períodos de seca e chuva, ao diagrama de coagulação Amirtharajah e Mills. ....	56
Figura 25. Estatística descritiva da dose de coagulante ótima, da turbidez da água decantada do melhor jarro, da carga elétrica e do potencial zeta também do melhor jarro durante o período chuvoso. ....	57
Figura 26. Estatística descritiva da dose de coagulante ótima, da turbidez da água decantada do melhor jarro, da carga elétrica e do potencial zeta também do melhor jarro durante o período de seca. ....	58
Figura 27. Variação da turbidez, potencial zeta e carga elétrica da água bruta e dose ótima ao longo de um ano hidrológico, dezembro 2017 a novembro 2018.....	60
Figura 28. Variação da turbidez, potencial zeta e carga elétrica da água bruta e dose ótima ao longo do período de chuva, dezembro 2017 a abril 2018 + novembro 2018. ....	61
Figura 29. Variação da turbidez, potencial zeta e carga elétrica da água bruta e dose ótima ao longo do período de seca, maio 2018 a outubro 2018.....	62
Figura 30. Diagrama de dispersão entre as variáveis (a) dose ótima de coagulante e carga da água bruta e (b) dose ótima de coagulante e PZ da água bruta. Valores referentes aos dois períodos do ano hidrológico, dezembro 2017 a novembro 2018.....	63
Figura 31. Estatística descritiva dos valores de turbidez da água bruta (AB) nos períodos de chuva e seca.....	65
Figura 32. Estatística descritiva dos valores de carga elétrica da água bruta (AB) nos períodos de chuva e seca.....	65
Figura 33. Estatística descritiva dos valores de potencial zeta da água bruta (AB) nos períodos de chuva e seca.....	66
Figura 34. Estatística descritiva dos valores de dose ótima de coagulante nos períodos de chuva e seca. ....	66
Figura 35. Estatística descritiva dos valores de turbidez da água bruta (AB) para os subgrupos dos períodos de seca e chuva. ....	68
Figura 36. Estatística descritiva dos valores de carga elétrica da água bruta (AB) para os subgrupos dos períodos de seca e chuva.....	68
Figura 37. Estatística descritiva dos valores de dose ótima de coagulante para os subgrupos dos períodos de seca e chuva. ....	69
Figura 38. Estatística descritiva dos valores de potencial zeta da água bruta (AB) para os subgrupos dos períodos de seca e chuva.....	69
Figura 39. Diagrama de dispersão carga versus potencial zeta das amostras de água bruta e reta de regressão linear.....	73

Figura 40. Variação do pH e do potencial zeta da água coagulada e da água decantada em função da dose de coagulante. Data do Jar test: 16/01/2018. Água bruta: pH=6,86; temperatura 25,7 <sup>0</sup> C; PZ=12,4 mV. Temperatura média água coagulada= 24,3 <sup>0</sup> C e da água decantada=24,7 <sup>0</sup> C.....	75
Figura 41. (a) pH água coagulada vs. pH água decantada.; (b) PZ água coagulada vs. PZ água decantada. Data do Jar test: 18/01/2018.....	76
Figura 42. Representação gráfica da estatística descritiva dos dados de turbidez da água bruta (AB), água decantada dos melhores jarros (AD) e água filtrada destes jarros (AF) no período de chuva.....	77
Figura 43. Representação gráfica da estatística descritiva dos dados de turbidez da água bruta (AB), água decantada dos melhores jarros (AD) e água filtrada destes jarros (AF) no período de seca.....	77
Figura 44. Correspondência entre carga elétrica e potencial zeta (PZ) da água decantada (AD) e turbidez da água filtrada (AF).(a) Data 07/12/17- Período chuvoso, turbidez inicial 113 uT e (b) Data 16/08/18- Período seco, turbidez inicial 5 uT. ....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros para programação do jar test para diferentes vazões da ETA UFV .....	42
Tabela 2. Subdivisão dos períodos de seca e chuva. ....	67
Tabela 3. Resultados do teste de diferença entre médias das variáveis medidas na água bruta nos subgrupos de períodos de chuva e de seca <sup>1</sup> .....	70

## RESUMO

DAMASCENO, Deysiane Antunes Barroso, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2019. **Controle da coagulação por meio de equipamento medidor de cargas.** Orientador: Rafael Kopschitz Xavier Bastos.

Equipamentos medidores de corrente de fluxo (streaming current detector - SCD), à semelhança de medidores de potencial zeta, fornecem informações sobre a carga superficial de dispersões coloidais / suspensões e têm sido utilizados em estações de tratamento de água no controle da coagulação. Neste caso, a dose ótima de coagulante e a carga correspondente da água decantada, pré-determinadas pelo ensaio de jarros, servem como ponto de ajuste para a coagulação e qualquer oscilação do valor da carga da água coagulada em torno do valor ótimo indica excesso ou deficiência de dosagem de coagulante, permitindo que as correções sejam realizadas rapidamente. Procurou-se neste trabalho identificar amplitudes de variação de turbidez e de carga elétrica da água bruta que, efetivamente, acarretariam alterações na dose de coagulante, isto é, determinar set points de carga elétrica que indicassem a dose ótima de coagulante em diferentes intervalos de turbidez da água bruta e, assim, tornar menos frequentes ou mesmo substituir os ensaios de jarros. Para tanto, foram realizados ensaios de jarros que simulavam a operação da estação de tratamento de água da Universidade Federal de Viçosa: ciclo completo, vazão média de 30 L/s, coagulação com sulfato de alumínio líquido. As variáveis analisadas foram: turbidez, cor verdadeira, potencial zeta, carga e pH das amostras de água bruta e decantada; turbidez e cor verdadeira da água filtrada e; pH e potencial zeta da água coagulada. Os testes aconteceram ao longo de um ano hidrológico contemplando, portanto, períodos de chuva e seca. Os resultados apontaram que a medida de carga, bem como de potencial zeta, não é capaz de indicar variações na qualidade da água bruta que requeiram alteração na dose de coagulante. Entretanto, as doses ótimas de coagulante, correspondentes às maiores eficiências de remoção de turbidez na decantação se deram em valores de carga e de potencial zeta próximos à neutralidade. A remoção de turbidez na filtração também foi melhor quando as medidas de carga e de potencial zeta da água afluyente aos filtros se aproximaram da neutralidade.

## ABSTRACT

DAMASCENO, Deysiane Antunes Barroso, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2019. **Coagulation control by streaming current detector**. Adviser: Rafael Kopschitz Xavier Bastos.

Streaming current detectors (SCD) and zeta potential meters provide information about the surface charge of colloidal dispersions and have been used in water treatment plants to control coagulation. In this case, the optimum coagulant dose and the corresponding charge of the decanted water, as determined by the jar test, serve as the set point for coagulation and any oscillation of the charge value of the coagulated water around the optimum value indicates excess or deficiency of coagulant dosage. This allows corrections to be made quickly. This work aimed to identify amplitudes of turbidity variation and electric charge of the raw water which would effectively cause changes in the coagulant dose, that is, to determine set points of charge that indicate the optimum dose of coagulant in different water turbidity intervals and thus make less frequent or even replace jars trials. Thus, jars tests were used to simulate the operation of the water treatment plant of the Federal University of Viçosa: complete cycle, average flow of 30 L / s, coagulation with liquid aluminum sulfate. The analyzed variables were: turbidity, real color, zeta potential, charge and pH of raw and decanted water samples; turbidity and real color of the filtered water; pH and zeta potential of coagulated water. The tests happened during a hydrological year, contemplating rainy and dry periods. The results indicated that the measurement of charge as well as zeta potential are not able to indicate variations in the raw water quality that require change in the dose of coagulant. However, the optimum coagulant doses corresponding to the highest turbidity removal efficiencies in sedimentation step have occurred for zeta potential and charge values close to neutrality. Removal of turbidity in filtration step was also better when the charge and zeta potential water affluent to the filters approached to the neutrality.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
3.1. ORIGEM DAS CARGAS DE PARTÍCULAS COLOIDAIIS EM MEIO AQUOSO.....	14
3.2. ESTABILIDADE DO SISTEMA COLOIDAL.....	16
3.3. TEORIA DA DUPLA CAMADA ELÉTRICA E POTENCIAL ZETA .....	17
3.4. MECANISMOS DE COAGULAÇÃO .....	21
3.4.1. Compressão da dupla camada .....	21
3.4.2. Adsorção e neutralização de cargas.....	22
3.4.3. Varredura.....	22
3.4.4. Adsorção e formação de pontes interpartículas.....	23
3.5. DIAGRAMA DE COAGULAÇÃO.....	23
3.6. FATORES QUE INTERFEREM NA COAGULAÇÃO .....	25
3.7. INFLUÊNCIA DA CARGA DAS PARTÍCULAS NA EFICIÊNCIA DA FILTRAÇÃO...	26
3.8. MEDIDOR DE CARGA DE DISPERSÕES COLOIDAIIS.....	27
3.8.1. Concepção e funcionamento dos equipamentos medidores de cargas .....	28
3.8.2. Relação entre a medida de carga dos dispositivos SCD e potencial zeta .....	31
3.8.3. Estudos de aplicação do equipamento SCD .....	33
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>35</b>
4.1. CONTROLE OPERACIONAL E DE QUALIDADE DA ÁGUA NA ETA UFV. ....	35
4.2. ENSAIOS DE JARROS .....	39
4.3. ANÁLISES LABORATORIAIS .....	43
4.4. TRATAMENTO DOS DADOS.....	44
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>47</b>

5.1.	RELAÇÃO ENTRE TURBIDEZ, CARGA E POTENCIAL ZETA DA ÁGUA BRUTA..	47
5.2.	RELAÇÃO ENTRE COR VERDADEIRA, CARGA ELÉTRICA E POTENCIAL ZETA DA ÁGUA BRUTA.....	52
5.3.	RELAÇÃO ENTRE DOSE, CARGA ELÉTRICA E TURBIDEZ .....	54
5.4.	CONTROLE DA COAGULAÇÃO POR MEIO DO MEDIDOR DE CARGAS .....	63
5.5.	RELAÇÃO ENTRE CARGA E POTENCIAL ZETA .....	73
5.6.	RELAÇÃO ENTRE ÁGUA COAGULADA E ÁGUA DECANTADA.....	74
5.7.	INFLUÊNCIA DA CARGA NA EFICIÊNCIA DA FILTRAÇÃO .....	76
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>79</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>80</b>
	<b>APÊNDICE A: DADOS DAS ANÁLISES REFERENTES À ÁGUA BRUTA.....</b>	<b>84</b>
	<b>APÊNDICE B: DADOS DAS ANÁLISES REFERENTES À ÁGUA DECANTADA. ....</b>	<b>88</b>
	<b>APÊNDICE C: VARIAÇÃO DA TURBIDEZ, CARGA E PZ DA ÁGUA DECANTADA EM FUNÇÃO DA DOSE DE SULFATO DE ALUMÍNIO POR DATA. ....</b>	<b>112</b>
	<b>APÊNDICE D: (A) VARIAÇÃO DO PH E PZ DA ÁGUA COAGULADA E DECANTADA EM FUNÇÃO DA DOSE, DIAGRAMA DE DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS: (B) PH DA ÁGUA COAGULADA E PH ÁGUA DECANTADA (C) PZ DA ÁGUA COAGULADA E PZ ÁGUA DECANTADA, POR DATA.....</b>	<b>128</b>
	<b>APÊNDICE E: DIAGRAMA DE DISPERSÃO: TURBIDEZ DA ÁGUA FILTRADA VERSUS POTENCIAL ZETA DA ÁGUA DECANTADA E TURBIDEZ DA ÁGUA FILTRADA VERSUS CARGA DA ÁGUA DECANTADA POR DATA.....</b>	<b>172</b>
	<b>ANEXO A: RESULTADOS DAS ANÁLISES DE CLOROFILA-A .....</b>	<b>188</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A água pode apresentar diversas partículas em suspensão, em dispersões coloidais ou dissolvidas, incluindo material inorgânico, orgânico e microrganismos. As partículas coloidais e em suspensão são as grandes responsáveis pela turbidez da água, enquanto a matéria orgânica dissolvida (principalmente substâncias húmicas e fúlvicas) é a principal causadora de cor.

A maioria dessas partículas, argilas, microrganismos e substâncias húmicas, possui carga superficial negativa e, devido a isso, surgem forças de repulsão, as quais são, em geral, mais intensas que as forças de atração (forças de van der Waals); dessa forma, a aproximação entre partículas fica comprometida fazendo com que estas permaneçam “estabilizadas”, ou intactas no meio líquido (AMIRTHARAJAH e MILLS, 1982; DI BERNARDO e DANTAS, 2005). A remoção dessas partículas da água é alcançada por meio de sua “desestabilização”, ou seja, pela redução da carga superficial negativa das partículas, favorecendo sua agregação em flocos e posterior remoção por processos de separação de fases líquido-sólida: decantação e filtração (GHERNAOUT et al., 2015). Esse processo do tratamento da água, que recebe o nome de coagulação, se efetua com a adição de sais, usualmente de ferro ou alumínio, que produzem espécies carregadas positivamente, as quais, por adsorção à superfície dos coloides, contribuem para sua neutralização (desestabilização) (VARGAS, 2004).

Em grande parte das estações de tratamento de água (ETA) se determina a dose ótima de coagulante por meio de ensaios de jarros (jar test), ensaios de bancada cuja variável de controle é a qualidade da água (em geral, turbidez) decantada ou filtrada (mais usualmente, decantada). Complementarmente, se pode determinar o potencial zeta (PZ) (potencial elétrico a ser vencido para se alcançar a coagulação da água) da água coagulada, isto é, a dose ideal que aproxima o valor do PZ de zero. Entretanto, o jar test pode ser visto como um processo relativamente demorado e laborioso para aplicação rotineira (ainda que não o seja); por sua vez, a determinação do PZ demanda equipamentos e procedimentos mais complexos e caros e pode se mostrar impraticável. Assim, se tem argumentado que o jar test e medidores de potencial zeta possuem melhor aplicação em estudos de processo de coagulação/floculação em laboratório e não em controle operacional de rotina de ETAs (EDNEY, 2005; SIBIYAA, 2014).

A variação contínua da qualidade da água sugere então a necessidade do emprego de um instrumento que proporcione informações instantâneas sobre as características da água e, conseqüentemente, da dose de coagulante necessária para tratá-la. Nesse sentido, os detectores de corrente contínua (streaming current detector - SCD), também conhecidos como dispositivos medidores de carga têm ganhado aplicação no controle operacional da etapa de coagulação. Os equipamentos SCD quantificam em tempo real a carga da dispersão, podendo acionar instantaneamente bombas de injeção de coagulante na dose adequada para neutralizá-la (NAM et al., 2013). No entanto, o emprego rotineiro desse equipamento ainda esbarra em incertezas e lacunas de conhecimento.

Por exemplo, o desempenho dos SCD tem se mostrado inconstante para águas muito turvas e com grandes variações de turbidez (HUBBE e CHEN, 2004; MALVERN, 2017). Além disso, variáveis como condutividade elétrica da água e a sensibilidade do sensor do aparelho medidor podem interferir na precisão dos resultados (HUBBE e CHEN, 2004; MALVERN, 2017).

Ademais, o equipamento SCD trabalha, basicamente, no controle da dose de coagulante em função da carga elétrica das partículas, ou seja, buscando neutralizá-las, sugerindo, portanto, que atue no pressuposto que o mecanismo de coagulação predominante seja o de adsorção - neutralização de cargas. Entretanto, resta investigar a performance do equipamento quando não for este o caso. Por exemplo, a varredura, tende a ser o mecanismo de coagulação predominante no tratamento de águas com turbidez mais elevada e, neste caso, em tese, importa mais a formação de hidróxidos do que a neutralização de cargas. Mesmo no caso, muito comum, de combinação destes dois mecanismos de coagulação, a dose ótima, estabelecida pelo jar test, pode não corresponder àquela que “zeraria” de fato a carga das partículas. Nestes casos, seria o SCD capaz de, em função da carga, indicar a dose correta de coagulante? Já em relação às oscilações dos valores de carga apresentados pelo SCD, qual seria a amplitude de variação de carga associada a uma dada alteração de turbidez que, efetivamente, acarretaria mudança na dose de coagulante? Estas são as principais perguntas de pesquisa deste trabalho.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Avaliar o emprego do equipamento medidor de cargas no controle da coagulação.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar o emprego de equipamento medidor de cargas no controle da coagulação com sulfato de alumínio em períodos de seca e chuva, ou seja, de turbidez da água bruta mais baixa e mais elevada;
- Determinar a amplitude de variação de carga elétrica da água bruta associada a uma dada alteração de turbidez da água bruta que, efetivamente, acarretaria mudança na dose de coagulante.
- Determinar quantos zeros (pontos de ajuste) precisam ser estabelecidos no SCD, ao longo de um ano hidrológico, em função das variações de turbidez e carga elétrica da água bruta;
- Avaliar a relação entre o potencial zeta e o valor de carga elétrica medida pelo equipamento SCD.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. ORIGEM DAS CARGAS DE PARTÍCULAS COLOIDAIS EM MEIO AQUOSO

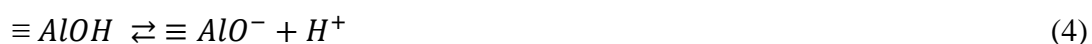
Entre os principais materiais presentes em águas superficiais se encontram argilas e matéria orgânica. As argilas são constituídas basicamente por argilominerais, quartzo, mica e calcita, enquanto a matéria orgânica é decorrente da decomposição de material de origem animal ou vegetal ou da atividade fotossintética. Essas substâncias apresentam características particulares em sua superfície, como, por exemplo, carga eletrostática superficial (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Um sistema coloidal é chamado de hidrófobo, suspensóide ou liofóbico quando repele a água, e de hidrófilo ou emulsóides quando apresenta afinidade com a água. Embora os sistemas hidrófobos não possuam afinidade com a água, uma película do líquido fica aderida à superfície do mesmo; por isso, é muito importante o conhecimento das características das superfícies destas partículas, principalmente devido à sua interferência no tratamento de água, já que a estabilidade dos colóides em sistemas aquosos se dá devido à sua capacidade de hidratação ou da carga eletrostática em sua superfície. Estes dois fenômenos estão associados à estrutura química e composição da superfície das partículas em interação com a água (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

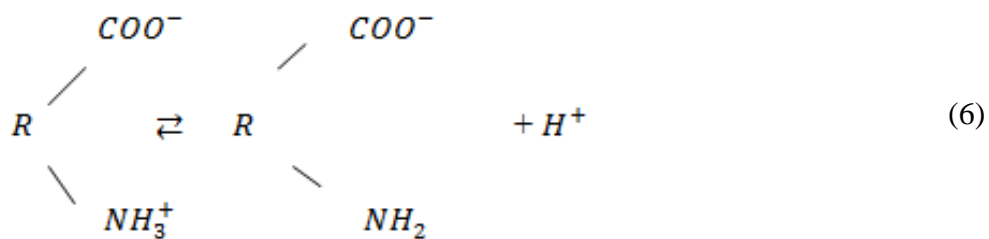
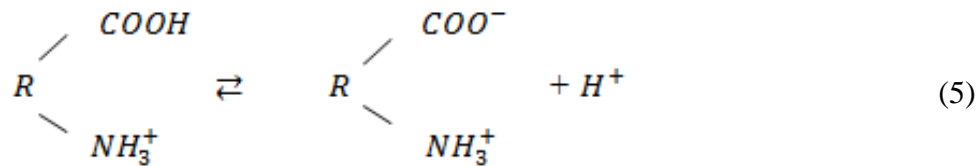
De acordo com Di Bernardo e Dantas (2005), a carga superficial negativa das partículas presentes na água, em geral, decorre de três fenômenos distintos:

(i) Grupos presentes na superfície sólida da partícula podem, ao reagir com a água, doar ou receber prótons.

- Óxidos insolúveis podem se tornar positivos ou negativos (Equações 1 a 4).



- Substâncias orgânicas contendo grupos carboxílicos e aminas podem reagir, conforme Equações 5 e 6, e a carga da superfície sólida ou da molécula orgânica pode variar em função do pH da água, pois, com o aumento do pH, a quantidade de íons  $H^+$  é reduzida, o equilíbrio da reação se desloca para a direita e a carga superficial torna-se mais negativa.

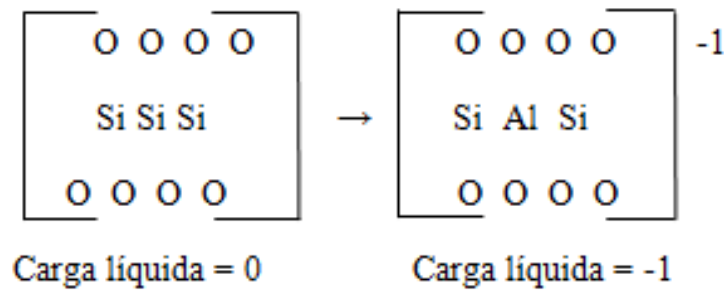


- (ii) Os grupos superficiais podem reagir com outros solutos presentes na água, como, por exemplo, as Equações 7 e 8:



Estas reações químicas também são altamente dependentes do pH da água.

- (iii) Imperfeições na estrutura da partícula podem gerar superfícies eletricamente carregadas; por exemplo, nas argilas, se um átomo de silício for substituído por um átomo de alumínio quando plaquetas de sílica tetraédrica são cruzadas por plaquetas de alumina octaédrica, há o surgimento de carga superficial negativa na partícula (Figura 1). Este tipo de interação é responsável por parcela considerável da carga das argilas minerais. O mesmo pode ocorrer quando um cátion divalente, como  $Mg^{2+}$  ou  $Fe^{2+}$ , substitui um átomo no óxido de alumínio da estrutura octaédrica. Destaca-se que as características da fase aquosa não influenciam no sinal e na magnitude da carga quando esta é resultante destas substituições isomórficas, após a formação do cristal.



**Figura 1.** Interação entre estrutura tetraédrica de sílica com estrutura octaédrica de alumina.

**Fonte:** DI BERNARDO e DANTAS, 2005.

### 3.2. ESTABILIDADE DO SISTEMA COLOIDAL

A estabilidade das partículas coloidais em meio líquido é aqui entendida como o estado em que a taxa de coagulação do sistema natural é praticamente zero, ou seja, a dispersão coloidal permanece em virtude de interações entre as partículas eletricamente carregadas e outros íons presentes na solução.

A estabilidade dessas dispersões vem sendo bem explicada desde a década de 40 pela clássica teoria DLVO (Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek). A teoria DLVO foi desenvolvida, paralelamente, pelas duplas de cientistas Boris Derjaguin e Lev Landau, na Rússia, e por Evert Verwey e Theo Overbeek, na Holanda, com o intuito de descrever o equilíbrio das forças de atração e repulsão de partículas coloidais carregadas e imersas em meio líquido.

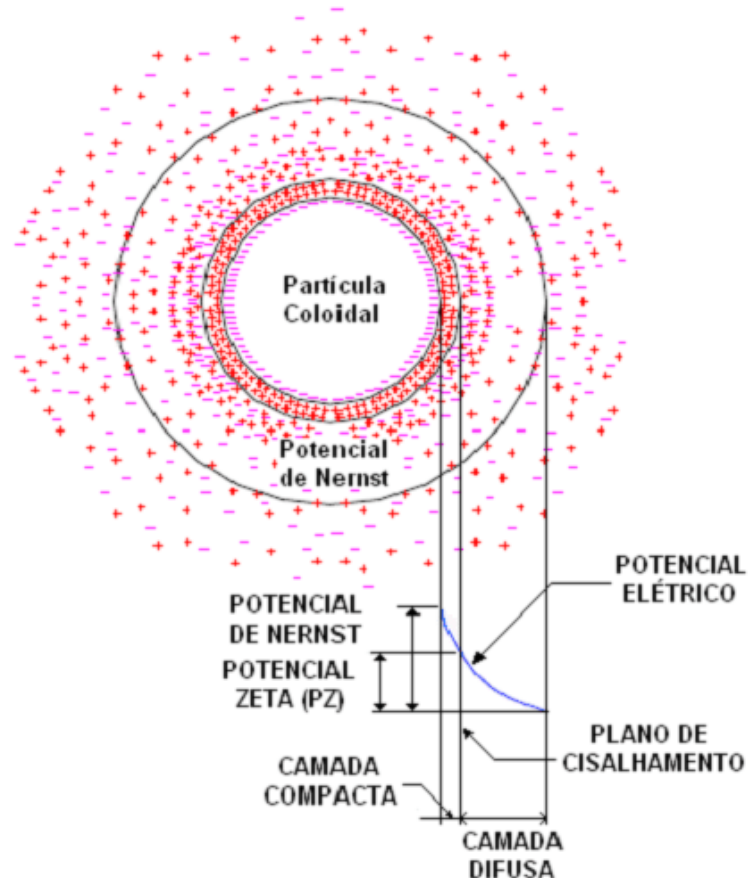
Trefalt e Borkovec (2014) destacam que a teoria DLVO pressupõe que as forças de interação entre as partículas coloidais resultam da combinação das forças de van der Waals e das forças de atração e repulsão eletrostática entre os coloides. As forças de van der Waals resultam de interações dos dipolos rotativos ou flutuantes de átomos e moléculas, e são maiores em ambientes de fluxo suave e de menores distâncias, pois, em distâncias maiores estas forças decaem devido a efeitos de retardo. Já as interações eletrostáticas entre os coloides ocorrem devido a forças eletrostáticas entre as camadas elétricas formadas por íons presentes no líquido e que envolvem cada partícula. Desse modo, a coagulação deve ser atribuída à ação das forças de van der Waals capazes de promover a agregação das partículas e a estabilidade dos coloides é atribuída às forças da repulsão eletrostática (DERJAGUIN e LANDAU, 1993).

De acordo com Di Bernardo e Dantas (2005), existem duas formas de estabilização das partículas e moléculas, a estabilização eletrostática devido à interação entre as forças eletrostáticas e de van der Waals, descritas previamente, e a estabilização estérica. Este último fenômeno ocorre quando polímeros são adsorvidos à superfície das partículas, alterando as interações repulsivas e atrativas. Os polímeros adsorvidos podem tanto estabilizar quanto desestabilizar a dispersão coloidal, a depender fundamentalmente, de sua concentração e afinidade com a partícula e a água.

### 3.3. TEORIA DA DUPLA CAMADA ELÉTRICA E POTENCIAL ZETA

Como visto anteriormente, a estabilidade dos coloides em meio líquido é atribuída às forças eletrostáticas repulsivas e atrativas entre as partículas coloidais e outros íons em solução. A maneira como estes íons se dispõem origina a dupla camada elétrica (DCE), onde os coloides negativamente carregados são circundados por íons de carga oposta (contra-íons), que, por sua vez, são cercados por íons de carga negativa (co-íons) (VARGAS, 2004).

A DCE é composta pela camada compacta (CC) e pela camada difusa (DC) (Figura 2). A CC é formada pelo coloide negativo e pelos íons positivos acumulados na interface sólido-líquido. Já a CD é formada por íons negativos atraídos pelos íons da CC e por íons positivos que se aproximam devido à presença dos íons negativos (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).



**Figura 2.** Distribuição dos íons na dupla camada elétrica (DCE).

**Fonte:** Adaptado de VARGAS, 2004.

A camada formada pela elevada concentração de íons positivos, fortemente ligados, e próximos à partícula coloidal também é conhecida como camada de Stern que é circundada pela camada difusa. A camada difusa possui menor concentração de íons e é resultado do equilíbrio dinâmico de íons positivos e negativos que circundam a camada de Stern. Juntas, a camada de Stern e a camada difusa formam a dupla camada ao redor do coloide. A concentração de íons positivos na camada difusa diminui gradativamente à medida que a distância em relação à superfície do coloide aumenta, até o ponto em que a concentração de íons se iguala à concentração de equilíbrio da água. Assim, o potencial elétrico criado pela presença do coloide na água, conhecido como potencial de Nernst (PN), também diminui com o aumento da distância. A qualquer distância da superfície do coloide a densidade de carga é igual à diferença entre as concentrações de íons positivos e negativos presentes (DI BERNARDO e DANTAS, 2005; EDNEY, 2005).

Existe uma distância mínima em que o potencial elétrico decresce linearmente com a distância; em seguida o decréscimo é exponencial, passando pela fronteira entre as camadas compacta e difusa, sendo que nesta região o potencial elétrico é chamado de potencial zeta (PZ). À medida que a partícula coloidal se desloca através da solução, devido à gravidade ou a uma tensão aplicada, os íons se movem conjuntamente com a partícula até uma dada distância "limite", além da qual os íons não mais se movem com a partícula. Este ponto é conhecido como plano de cisalhamento e o potencial elétrico que existe neste plano deslizante é o potencial zeta (VARGAS, 2004).

O potencial zeta (PZ) é a variável usualmente empregada para se determinar a estabilidade de uma dispersão coloidal. Para que uma dispersão coloidal permaneça estável, as forças repulsivas devem ser dominantes, ou seja, o PZ deve ser elevado; se o potencial zeta é próximo à zero, as partículas tendem à aproximação (DENTEL, 1991;VARGAS, 2004; MORFESIS et al., 2009).

Sabe-se que no processo de coagulação, ao adicionar sais, em geral de ferro ou alumínio, introduz-se no meio, a depender do pH, espécies carregadas positivamente com o objetivo de desestabilizar as partículas coloidais. Segundo Ghernaout et al. (2015), o PZ fornece, indiretamente, a carga da superfície das partículas, por isso, o PZ é frequentemente relacionado à determinação da dose ótima de coagulante a ser utilizada, uma vez que, indica a quantidade de energia (coagulante) que deve ser adicionada para desestabilizar uma dispersão coloidal. Ghernaout et al. (2015) ainda afirmam que obter PZ igual à zero é difícil e que na realidade esse valor de "carga correta", correspondente à dose ótima, pode ser negativo, zero ou positivo, mas frequentemente negativo. Para este autor, o PZ ideal pode estar na faixa de -10 a -5 mV. Sharp et al. (2005) citam a faixa de -10 a +5 mV para a remoção ideal de carbono orgânico dissolvido (DOC). Já para Henderson et al. (2008), valores de PZ entre -10 a +2 mV são ideais para remoção de algas e matéria orgânica extracelular, enquanto para Fulbright et al. (2015), o processo de floculação prossegue de forma otimizada se o potencial zeta for mantido na faixa de -3 mV a +3 mV. Dentel (1991) apud Morfesis et al. (2009) cita outras faixas de valores, referidas por diversos autores, para remoção de turbidez: -4 a +3, -5 a +5, e -13 a +13 mV; estes autores registram ainda que estudos de bancada indicam que operar na faixa de PZ de -10 a +5 mV pode minimizar contaminantes como o carbono orgânico total (TOC).

Ao analisar o PZ de dispersões coloidais é necessário considerar o pH da solução, pois no ponto isoelétrico, isto é, valor particular de pH da solução em que a carga líquida sobre as partículas é zero, a agregação das partículas é mais favorável.

Embora o PZ seja utilizado para estimar a carga superficial das partículas coloidais, Di Bernardo e Dantas (2005) ressaltam que o PZ não é, necessariamente, uma boa indicação do potencial superficial, uma vez que é possível que ocorra adsorção específica de íons no plano de Stern, o que pode alterar a magnitude do potencial de superfície e do próprio potencial de Stern. Por isso, deve-se ter cuidado na interpretação do PZ, a menos que o eletrólito que seja usado seja classificado como indiferente, o que pode ser verificado avaliando a relação entre pH e PZ. Quando o pH para o ponto onde o PZ é zero é independente da concentração de eletrólitos, então o eletrólito é indiferente e o ponto isoelétrico pode ser vinculado ao ponto de carga zero (pcz) com segurança.

A técnica mais utilizada para medir PZ é a eletroforese. O medidor zeta usa um microscópio estereoscópico para controlar o movimento das partículas através de uma célula de vidro chamada célula de eletroforese. Um campo elétrico é aplicado em uma amostra através da introdução de eletrodos em cada extremidade da célula, o que induz as partículas carregadas a se moverem. A direção e a velocidade (mobilidade eletroforética) das partículas dependem do campo aplicado. As partículas carregadas positivamente irão em direção ao ânodo e aquelas carregadas negativamente irão em direção ao cátodo (GHERNAOUT et al., 2015).

A velocidade de deslocamento das partículas é proporcional à magnitude do potencial zeta e pode ser medida usando a técnica do laser Anemometria Doppler (FULBRIGHT et al., 2015). Os valores de potencial zeta e mobilidade eletroforética (ME) ou velocidade de eletroforese (VE) se relacionam de acordo com a Equação 9.

$$PZ = \frac{4 \times 10^{-6} \pi \mu (VE)}{D} \quad (9)$$

Sendo:

PZ: potencial zeta (mV);

$\mu$ : viscosidade absoluta da água (poise);

VE: velocidade de eletroforese ( $\mu\text{m cm/sV}$ ) e

D: constante dielétrica da água (igual a 78,5 a 25° C).

### 3.4. MECANISMOS DE COAGULAÇÃO

Para Di Bernardo e Dantas (2005), a coagulação ocorre devido à ação individual ou combinada de quatro mecanismos, a seguir descritos.

#### 3.4.1. Compressão da dupla camada

Um sistema coloidal pode ser desestabilizado por adição de íons de carga oposta à das partículas coloidais. Sais como o cloreto de sódio, diferentemente de sais de ferro e alumínio, não apresentam características de hidrólise e adsorção, uma vez que são eletrólitos indiferentes. Assim, a desestabilização dos coloides com eletrólitos indiferentes ocorre em função de interações eletrostáticas que podem ser explicadas pela já mencionada teoria DLVO, em que íons de mesma carga são repelidos e íons de carga contrária são atraídos pelos coloides.

Uma característica dessa teoria / mecanismo é que quanto maior a carga do íon positivo, menor a quantidade requerida do sal para coagulação. Por exemplo, as concentrações molares dos sais de sódio, cálcio e alumínio, requeridas para desestabilizar um coloide variam na proporção de  $1:10^{-2}:10^{-3}$ . Além disso, com base neste modelo, a quantidade de eletrólito necessária para a coagulação é, teoricamente, independente da concentração de coloides na água e, para qualquer quantidade de eletrólitos adicionada, não ocorreria reversão da carga da dispersão.

A introdução de um eletrólito indiferente em um sistema coloidal causa incremento da densidade de cargas na camada difusa e provoca diminuição da esfera de influência das partículas, ocorrendo coagulação por compressão da camada difusa. Concentrações elevadas de íons positivos e negativos na água provocam aumento do número de íons na camada difusa que, para manter-se eletricamente neutra, tende a reduzir seu volume, de modo tal que as forças de van der Waals sejam dominantes e se elimine a estabilização eletrostática (VARGAS, 2004; DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Assim, embora este mecanismo possa explicar a ação dos íons de sódio e cálcio ele não é válido para a ação de alumínio ou ferro, cujos sais, que se encontram entre os coagulantes mais utilizados em tratamento de água, não são eletrólitos indiferentes e reagem com a água e a alcalinidade. Portanto, o modelo físico de compressão da camada dupla possui limitações para explicar o fenômeno da coagulação.

### 3.4.2. Adsorção e neutralização de cargas

No mecanismo de adsorção e neutralização de cargas a desestabilização de uma dispersão coloidal decorre de interações coagulante-coloide, coagulante-solvente e coloide-solvente (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). Como o coagulante se dissocia, os cátions neutralizam a carga negativa do coloide. Isso ocorre antes da formação visível do floco, e a mistura rápida é essencial nesta fase. Pequenos flocos são então formados, os quais retêm carga positiva na faixa ácida devido à adsorção de  $H^+$ . Esses microflocos também servem para neutralizar e cobrir as partículas coloidais (ECKENFELDER, 1989 apud WIMMER, 2007).

Após a adição do coagulante, ocorre a hidrólise dos íons metálicos e subsequente adsorção das espécies hidrolisadas, geralmente de carga positiva, na superfície dos coloides, levando à desestabilização desses. Com concentrações elevadas de coagulantes ocorre re-estabilização, isto é, os coloides se tornam carregados positivamente. O mecanismo de adsorção e neutralização de cargas é especialmente importante quando o tratamento é realizado por meio da técnica de filtração direta, pois os flocos formados neste processo não possuem características de sedimentabilidade (tamanho e densidade), mas de partículas desestabilizadas que serão retidas no meio granular dos filtros; portanto, é um mecanismo de coagulação / técnica de tratamento mais adequado ao tratamento de águas de baixa turbidez (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

### 3.4.3. Varredura

Os sais metálicos mais comumente utilizados em tratamento de água (de alumínio e de ferro) reagem com a água e a alcalinidade formando hidróxidos. Dependendo do pH da mistura e da dose do coagulante, se excede o produto de solubilidade dos hidróxidos metálicos - como  $Al(OH)_3$  e  $Fe(OH)_3$ , provocando sua precipitação. Neste caso, as partículas coloidais são cercadas por precipitados e removidas por arraste. Como este mecanismo não depende da neutralização dos coloides, a condição ideal para a coagulação pode não corresponder ao potencial zeta mínimo.

O mecanismo de varredura é o que prevalece no tratamento de água com turbidez mais elevada e pela técnica de ciclo completo, em que a floculação e a sedimentação precedem a filtração (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

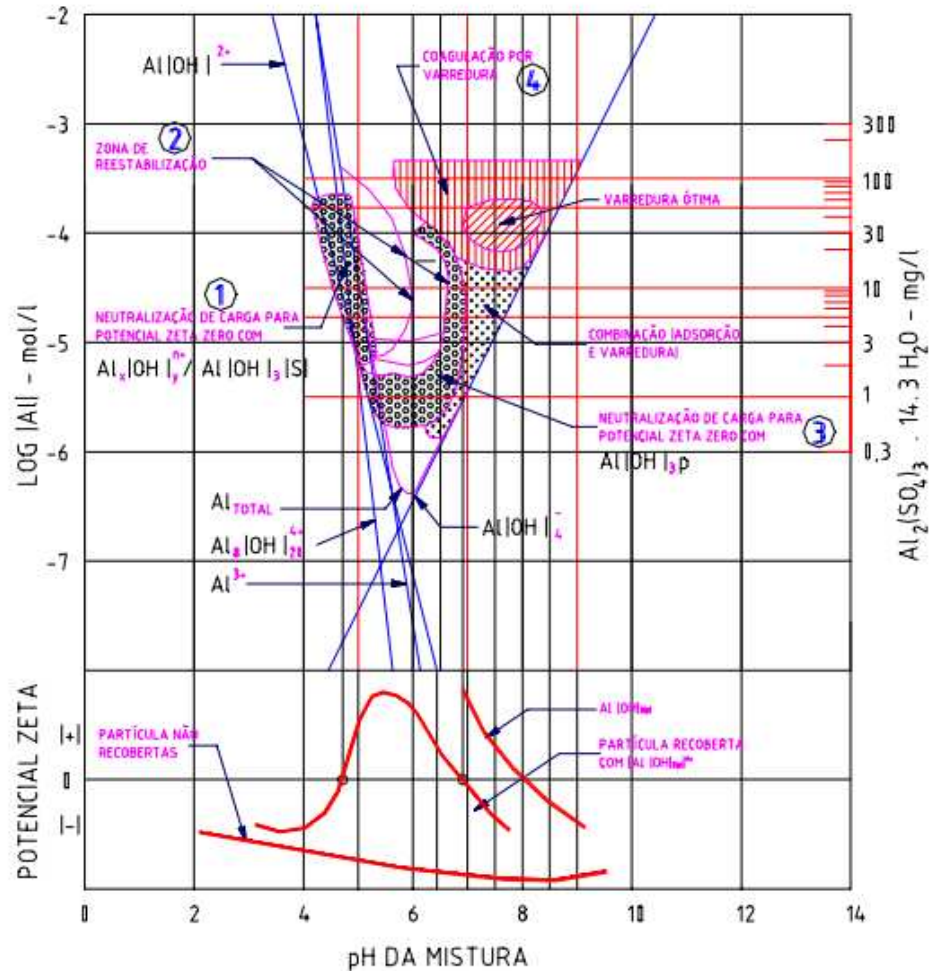
#### 3.4.4. Adsorção e formação de pontes interpartículas

O mecanismo de adsorção e formação de pontes interpartículas ocorre com o uso de polímeros de grandes cadeias moleculares (massa molar  $> 10^6$  g / mol), os quais servem de ponte entre a superfície à qual estão aderidos e outras partículas. Os polímeros, sintéticos ou naturais, apresentam sítios ionizáveis ao longo de suas cadeias, que se adsorvem a superfície das partículas coloidais, reduzindo sua carga ou entrelaçando as partículas em sua cadeia (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

#### 3.5. DIAGRAMA DE COAGULAÇÃO

Amirtharajah e Mills (1982) propuseram a utilização dos diagramas de solubilidade do alumínio e ferro com vistas à melhor descrição e compreensão do processo de coagulação. Na Figura 3, é apresentado o digrama de coagulação para o sulfato de alumínio, que nada mais é que o diagrama de solubilidade deste sal acompanhado das condições de coagulação – dose de coagulante e pH. Neste diagrama se identificam as diferentes regiões (combinações de dose e pH) em que atuam os mecanismos de coagulação, o potencial zeta da dispersão coloidal estável e com carga definida e o potencial zeta resultante da interação da dispersão coloidal com as espécies hidrolisadas de alumínio (incluindo o precipitado). A rigor, o diagrama da Figura 3 corresponde a uma condição específica de qualidade da água, mas tem sido utilizado de forma generalizada. O texto a seguir descreve as regiões do diagrama de coagulação segundo Di Bernardo e Dantas (2005).

**Região 1- Neutralização de cargas.** A neutralização das cargas das partículas coloidais decorre da adsorção das espécies hidrolisadas positivas de alumínio na superfície dos coloides. Da interação entre essas espécies positivas de alumínio e os coloides negativos resulta uma curva na qual o PZ (negativo) se aproxima de zero em um valor de pH de 4.8, que caracteriza o ponto isoelétrico (PIZ) dos coloides revestidos com espécies de alumínio. Nota-se que se o pH de 4.8 é mantido constante, a dose de coagulante pode variar, aproximadamente, de 10 a 70 mg / L.



**Figura 3.** Diagrama teórico de coagulação do sulfato de alumínio.

**Fonte:** PAVANELLI, 2001.

**Região 2 - Reestabilização.** Na faixa de dose de coagulante acima mencionada, em valores de pH abaixo de 4,8 as partículas revestidas apresentariam PZ negativo, e a dispersão coloidal permanece estável. Porém, com aumento de pH (maior que 4,8) o PZ torna-se positivo e os coloides também, o que caracteriza o fenômeno da reestabilização ou reversão de cargas. Para um valor de pH fixo, igual a 6, por exemplo, existe uma relação estequiométrica entre a concentração da dispersão coloidal e a dose de coagulante que delimita a parte inferior da zona de reestabilização, com consequente aumento da concentração da dispersão coloidal. A desestabilização, coincidente com a delimitação superior da região de reestabilização, é atribuída à presença de íons sulfato e ao aprisionamento de coloides reestabilizados em complexos de sulfato de  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})\text{SO}_4^+$ .

**Região 3 – Combinação adsorção e varredura.** Considerando uma dose de coagulante igual a 10 mg / L, nota-se que a partir de pH igual a 4,8 a curva resultante da interação entre espécies hidrolisadas positivas de alumínio e as partículas coloidais alcança valor de PZ máximo (reestabilização) e, a partir daí, diminui com o aumento do pH até que o PIZ seja novamente alcançado: em pH em torno de 6,8 e dose de coagulante igual a 10 mg / L. Isto é devido à presença de hidróxido de alumínio carregado positivamente. Para dose de coagulante variando de 3 a aproximadamente 30 mg / L existe uma região conhecida como "corona", na qual o mecanismo de coagulação se deve à neutralização de carga pelo hidróxido de alumínio positivo e é considerada a ideal para a filtração direta.

**Região 4 – Varredura.** Geralmente, em valores de pH de 6 a 8 e com dose de coagulante acima de 30 mg / L prepondera a formação do hidróxido de alumínio precipitado e o mecanismo de varredura.

### 3.6. FATORES QUE INTERFEREM NA COAGULAÇÃO

Segundo Santos et al. (2007), entre os fatores que interferem no processo de coagulação, destacam-se o pH e a alcalinidade da água bruta, a natureza das partículas coloidais e seu tamanho, bem como o tipo e a dose de coagulante. Possuem menor influência a concentração e a idade da solução de coagulante, a temperatura e, a depender do mecanismo de coagulação predominante, o gradiente de velocidade e o tempo de agitação na unidade de mistura rápida.

De acordo com o diagrama de coagulação proposto por Amirtharajah e Mills (Figura 3), pode-se ver que diferentes valores de pH estão associados a diferentes faixas de atuação dos coagulantes, implicando, juntamente com a dose de coagulante e as características das partículas em suspensão e/ou da dispersão coloidal, na predominância de determinado mecanismo de coagulação.

A alcalinidade da água também interfere consideravelmente na coagulação, já que os principais agentes coagulantes, sais de sulfato de alumínio e ferro, são doadores de íons  $H^+$  quando em solução e, desta forma, ao reagirem com a água consomem alcalinidade (DI BERNARDO e PAES, 1996; DI BERNARDO e DANTAS, 2005). A presença de algas na água bruta também interfere na coagulação; segundo Brooke et al. (2008), a floração resulta em aumento da matéria orgânica particulada na água, aumento do pH e de suas variações, o

que, por sua vez, requer maiores doses de coagulante pois, segundo Veneu et al. (2015), a maioria das espécies de algas apresentam potencial zeta negativo em águas naturais implicando em maior estabilidade das partículas em suspensão.

### 3.7. INFLUÊNCIA DA CARGA DAS PARTÍCULAS NA EFICIÊNCIA DA FILTRAÇÃO

A filtração consiste na retirada de partículas suspensas e coloidais, incluindo microrganismos, da fase líquida. Esta etapa não constitui, porém, um processo unicamente físico, semelhante à ação de coar, mas sim um processo físico-químico de retenção por aderência das partículas ao meio filtrante, resultando, inclusive, na remoção de partículas com tamanho inferior aos vazios do leito filtrante (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Assim, a eficiência da etapa de filtração depende, entre outros fatores, das propriedades das superfícies dos grãos do meio filtrante e das partículas. Essas partículas podem aderir tanto à superfície dos grãos quanto às partículas previamente retidas (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

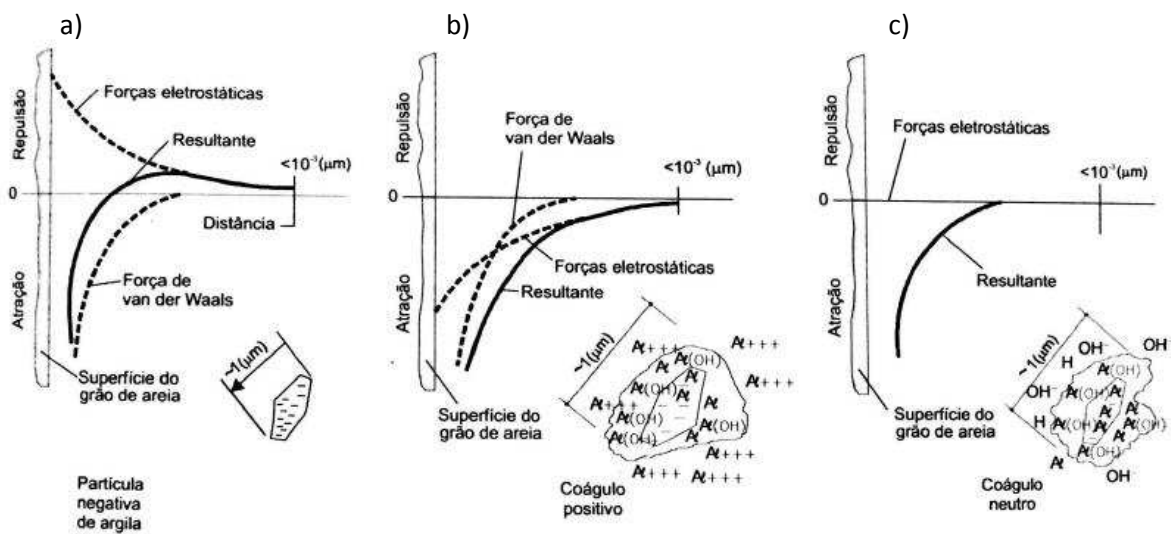
A adesão é atribuída a dois fenômenos: (i) interação entre forças elétricas e as de van der Waals; e (ii) ligação química entre as partículas e a superfície dos grãos do leito filtrante. Em relação ao primeiro fenômeno, cabe notar que os grãos de areia do meio filtrante apresentam carga superficial negativa quando submersos em água. Segundo Ives e Cleasby (1972) o potencial zeta da areia se encontra em torno de -50 mV, considerando superfícies de sílica limpas, enquanto para areia natural Ives e Gregory (1967) apud Ives e Cleasby (1972) relatam valores menores que -25 mV.

Como já destacado neste documento, as partículas em suspensão e coloidais também têm suas superfícies eletricamente carregada, em geral, negativamente e, assim, a interação entre os grãos do leito e as partículas pode levar à repulsão ou atração a depender das partículas estarem desestabilizadas ou não. Pode ainda ocorrer repulsão entre partículas afluentes ao filtro com potencial positivo de outras, também positivas já aderidas à superfície de areia do leito filtrante. Assim, de um modo geral, a situação configurada como ideal para a filtração é quando os flocos estão neutralizados, destacando, mais uma vez, a importância do processo de

coagulação e os mecanismos ali envolvidos (IVES e CLEASBY, 1972; VARGAS, 2004; DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A Figura 4 ilustra o fenômeno de interação combinada das forças eletrostáticas e as de van der Waals, explicitado no parágrafo anterior, onde são mostradas três situações para uma partícula de argila: (a) partícula com carga negativa (repulsão eletrostática); (b) floco com carga positiva (atração eletrostática e por forças de van der Waals) e (c) floco neutro (atração por forças de van der Waals).

No caso (a), a repulsão ocorre devido a barreira de energia entre a partícula e o leito filtrante que possuem carga de mesmo sinal. Em (b), a princípio ocorre atração e há boa aderência entre as partículas positivas e o leito negativo, mas a eficiência da filtração diminui à medida que a superfície dos grãos passa a ser recoberta pelas partículas tornando a superfície dos grãos também positiva. Por fim, em (c), os flocos neutralizados indicam a situação mais adequada à filtração.



**Figura 4.** Interação combinada das forças eletrostáticas e de van der Waals entre as partículas coloidais e/ou flocos e os grãos do leito filtrante.

**Fonte:** DI BERNARDO e DANTAS, 2005.

### 3.8. MEDIDOR DE CARGA DE DISPERSÕES COLOIDAIS

O primeiro equipamento medidor de carga elétrica de dispersões coloidais foi inventado por F.W Gerdes em 1966, apresentando-se como o primeiro dispositivo on-line para controlar e

dosar a quantidade de coagulante a ser utilizada no processo de coagulação (EDNEY, 2005; GHERNAOUT et al., 2015). Porém, na maioria das estações de tratamento de água a determinação da dose ótima de coagulante ainda é estabelecida em testes de bancada (ensaios de jarros), em equipamentos jar test. Entretanto, esse processo pode se mostrar demorado, laborioso e exigir pessoal adequadamente capacitado para executá-lo (SIBIYAA, 2014).

Ainda de acordo com Sibiyaa (2014), visando economia no consumo de coagulante e em virtude das bruscas mudanças na qualidade da água bruta que podem ocorrer, um sistema de controle e feedback contínuo de dosagem de coagulantes seria bem vindo pois, sub e superdosagem de coagulantes podem comprometer a qualidade da água.

Dentel e Kingery (1988) destacam as seguintes vantagens do uso de medidor de cargas: (i) melhores condições de garantia da qualidade da água tratada; (ii) automatização da dosagem de coagulantes; (iii) detecção de mudanças repentinas na qualidade da água; (iv) redução de custos com uso de produtos químicos (coagulantes); (v) detecção precoce de mau funcionamento da ETA.

Antes dos atuais monitores de corrente (medidores de carga elétrica das dispersões coloidais), os medidores de potencial zeta (zetâmetros) eram os instrumentos disponíveis para avaliação de propriedades eletrocinéticas das partículas. Ambos os equipamentos medem a carga elétrica, porém por mecanismos diferentes (GHERNAOUT et al., 2015).

### 3.8.1. Concepção e funcionamento dos equipamentos medidores de cargas

A denominação técnica dos medidores de carga pode variar, mas, em geral, este equipamento é conhecido como monitor contínuo de carga elétrica em corrente de fluxo ou dispositivo SCD (streaming current detector). Vários modelos comerciais estão disponíveis, com poucas diferenças na frequência de operação e aprimoramento eletrônico do sinal dos eletrodos, mas todos tem o mesmo conceito básico de medição (BARRON et al., 1994; WALKER et al., 1996; EDNEY, 2005; SIBIYAA, 2014).

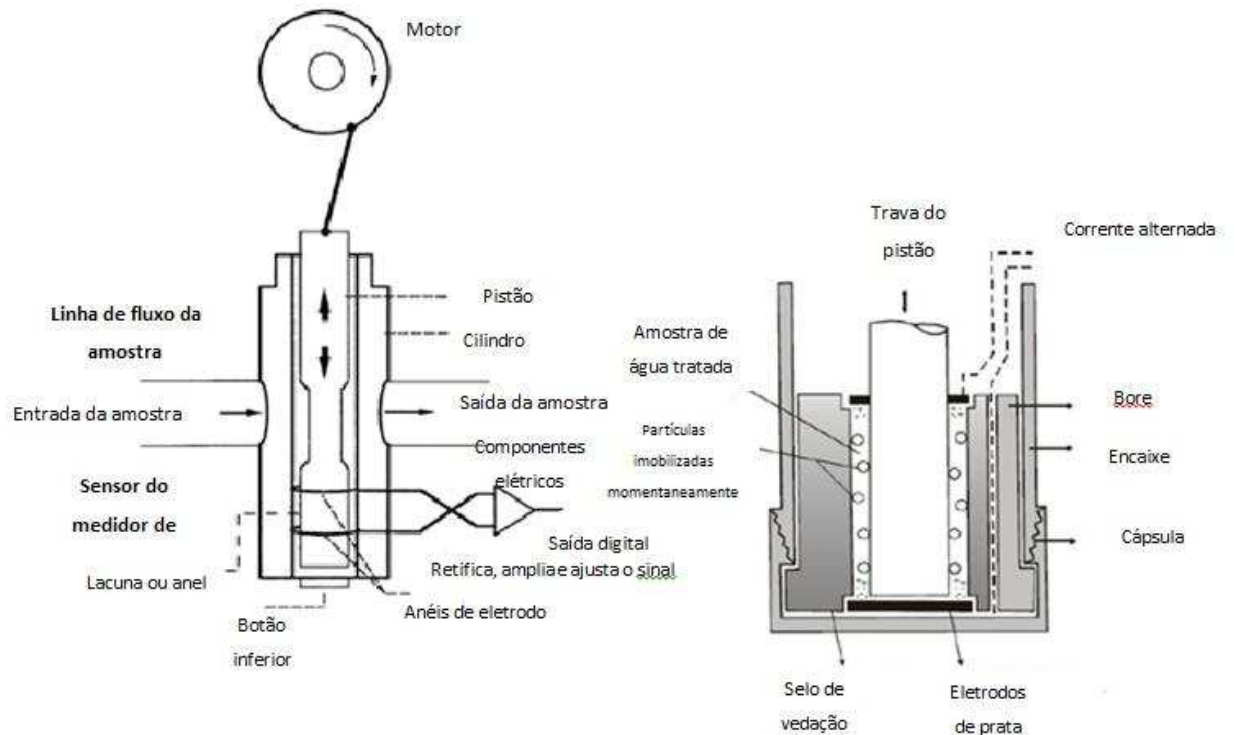
Os SCDs consistem, essencialmente, de um sensor e um processador de sinal (Figura 5). O sensor do SCD consiste em um pistão e uma câmara cilíndrica fechada. Existe um espaço estreito, um anel de 200-500 $\mu$ m de largura, entre o pistão e as paredes da câmara onde o pistão é movido verticalmente a uma frequência fixa, tipicamente 4-5 golpes por segundo, forçando a entrada de água para dentro e fora da câmara através do anel (EDNEY, 2005).

A amostra de água contendo as partículas flui através da unidade a uma taxa de cerca de 1 a 3 L/min. A parede do cilindro e o pistão são fabricados em material especial (Teflon), que permite que as partículas permaneçam em sua superfície. À medida que a água flui no espaço existente entre o cilindro e o pistão, as paredes de ambos ficam revestidas com partículas coloidais carregadas negativamente. A carga elétrica total da água deve ser neutra, portanto, estas partículas ficarão cercadas por íons de carga positiva, os contra-íons. Entre estas duas camadas de carga (carga negativa próxima das paredes do sensor e positivas mais longe das partículas) se encontra o plano de cisalhamento. O movimento do pistão no cilindro provoca o movimento do fluido no anel do aparelho e, conseqüentemente, o deslocamento do fluido no plano de cisalhamento. Existem dois planos de cisalhamento, um perto da parede do cilindro e o outro perto da parede do pistão. Assim, duas camadas de carga se movem em relação uma à outra (BARRON et al., 1994; WALKER et al., 1996; EDNEY, 2005; SIBIYAA, 2014).

O movimento de carga entre os eletrodos superior e inferior dá origem a uma corrente elétrica, que depende da velocidade do fluido e da densidade de carga. Se o movimento do pistão for constante, então a magnitude da densidade de carga é proporcional à magnitude da carga elétrica e é determinada pela altura de amplitude (pico) do sinal de alternância. Este sinal pode ser emitido para um gráfico de leitura e controle ou para um sistema que acione a bomba dosadora de coagulante. O valor da carga elétrica emitido no monitor do coagulante é expresso em ICu (Unidade de Carga Iônica) ou SCM (Unidade de Corrente de Fluxo) onde 1 ICu equivale a aproximadamente 1 mA (BARRON et al., 1994; WALKER et al., 1996; EDNEY, 2005; SIBIYAA, 2014).

Geralmente, a dose ótima de coagulante é determinada em função da turbidez da água bruta. A carga de íons nesse ponto de dose ótima corresponde à carga de íons alvo ou de ponto de ajuste da coagulação, variações de carga em torno deste ponto de ajuste podem indicar excesso ou falta de coagulante. O monitor de cargas foi projetado para fornecer uma saída digital negativa quando a amostra de teste contém um excesso de partículas carregadas negativamente (tipicamente água bruta) e uma leitura positiva quando a amostra contém um excesso de partículas carregadas positivamente (efluente industrial), ou ainda quando ocorre um excesso de coagulantes catiônicos na água (DENTEL e KINGERY, 1988; SIBIYAA, 2014). Nesse caso, um aspecto operacional importante é o local de coleta das amostras de água. O monitoramento da corrente de fluxo deve ser realizado na água bruta após a introdução do coagulante no sistema, sendo essencial que o ponto de amostragem esteja

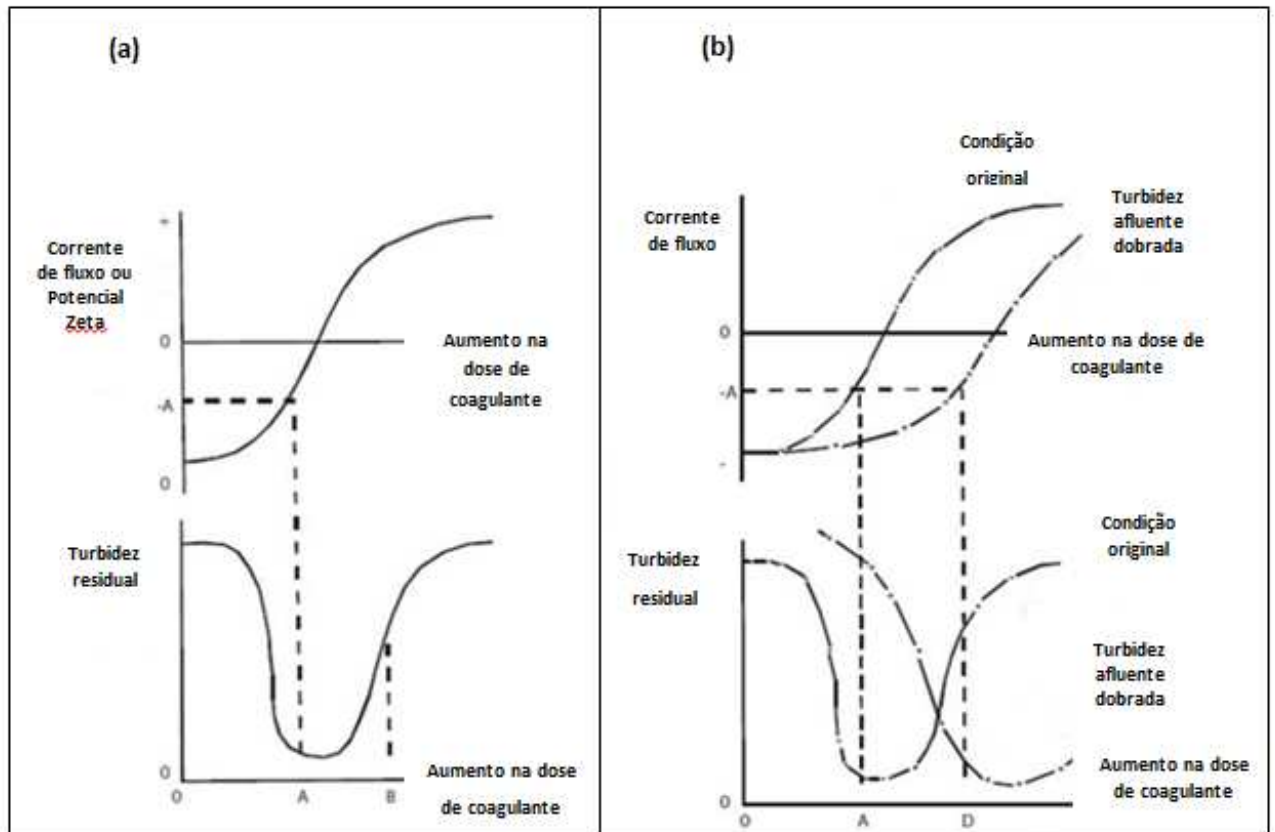
suficientemente distante do ponto de dosagem de coagulante para garantir uma mistura homogênea (SIBIYAA, 2014).



**Figura 5.** Ilustração esquemática de um medidor de cargas.

**Fonte:** Adaptado de WALKER et al., 1996; SIBIYAA, 2014.

A Figura 6 mostra relações típicas, interdependentes, entre turbidez da água bruta, dose de coagulante, carga elétrica (corrente de fluxo ou potencial zeta) e turbidez da água decantada. Na Figura 6 (a) nota-se que a dose ótima de coagulante corresponde à leitura de carga “A”, e que uma situação de sobredosagem de coagulante, indicada por “B” na região de reestabilização, pode ser facilmente identificada pela leitura de carga de íons correspondente. Por sua vez, a Figura 6 (b) mostra que a carga de íons para a dose de coagulante ótima permanece constante apesar do aumento de duas vezes no valor da turbidez da água bruta, indicando que o aumento da turbidez da água bruta foi acompanhado de aumento na carga de íons o que requer aumento na dose de coagulante para a neutralização. Além disso, pôde-se ver que a carga elétrica da dispersão referente à dosagem ótima foi a mesma (SIBIYAA, 2014).



**Figura 6.** Variação da carga elétrica e da turbidez da água decantada em função (a) da dose de coagulante e (b) da dose de coagulante e da turbidez da água bruta.

**Fonte:** Adaptado de SIBIYAA, 2014.

Dentel e Kingery (1988) destacam que um valor de carga igual à zero resulta em remoção “ótima” de turbidez, mas, tecnicamente, uma carga ligeiramente mais negativa ou positiva pode apresentar a mesma eficiência de remoção.

### 3.8.2. Relação entre a medida de carga dos dispositivos SCD e potencial zeta

Os modelos matemáticos que buscam descrever o funcionamento dos medidores SCD baseiam-se na relação entre a corrente de fluxo gerada nestes equipamentos e o potencial zeta, já que ambos fornecem uma medida aproximada da carga superficial da dispersão coloidal. Autores como Dentel e Kingery (1988), Barron et al. (1994), Edney (2005) e Ghernaout et al. (2015) apresentam, embora com algumas diferenças, a relação de proporcionalidade entre corrente de fluxo (ou carga da dispersão coloidal) e potencial zeta em função da constante dielétrica da água e da viscosidade do fluido tal como na Equação 10.

$$SC \propto \frac{PZxD}{N} \quad (10)$$

Sendo:

SC: corrente de fluxo

PZ: potencial zeta

D: constante dielétrica da água

N: viscosidade do fluido

Essa modelagem tem como premissas as seguintes suposições simplificadoras, as quais podem dar lugar a inconsistências nos resultados:

- (i) a superfície do pistão do equipamento é completa e uniformemente revestida pelas partículas coloidais;
- (ii) ausência dos efeitos inerciais na análise do escoamento no equipamento;
- (iii) efeito desprezível da condutividade elétrica na saída do dispositivo.

Segundo Edney (2005), ainda não se dispõe de uma descrição matemática completa, quantitativa e verificada do sensor SCD, não obstante as várias tentativas de modelagem. De acordo com este autor, a abordagem original, feita por Gerdes em 1966, baseou-se em um perfil de velocidade de fluido triangular simplificado dentro do anel. Em trabalho posterior, Elicker et al., (1992) consideraram um perfil de fluido mais apropriado, tendo em conta os efeitos inerciais no espaço entre o pistão e a câmara e compararam as soluções com as encontradas por métodos anteriores de Walker et al. (1996). Entretanto, Elicker et al.(1992) descobriram que, para as geometrias usadas na modelagem destes sensores, as soluções encontradas nos primeiros estudos foram muito semelhantes ao seu próprio modelo, mais completo.

Barron et al. (1994) compararam a resposta de um aparelho medidor de carga na presença de eletrólitos, óxidos e argilas simples, em relação ao potencial zeta, bem como a medidas auxiliares de mobilidade eletroforética. Os resultados da técnica eletrocínica convencional sugeriram que a resposta do aparelho medidor de cargas é, como postulado, a soma da corrente de fluxo devido à carga dos coloides aderidos às paredes do pistão e da câmara cilíndrica, embora a magnitude do sinal medido diretamente dos eletrodos tenha sido significativamente menor do que o previsto pela teoria.

Ainda em 1988, Dentel e Kingery afirmaram que os modelos de medidores SCD então disponíveis no mercado diferiam um pouco do modelo original criado por Gerdes em 1966, e que a Equação 2 não exatamente se aplicaria. Edney (2005) apresentou um modelo matemático mais atual, que leva em conta as características geométricas e de funcionamento do sensor do medidor de corrente de fluxo (Equação 11).

$$I = k.s.\omega.\varepsilon.\zeta.f(r, R) \quad (11)$$

Sendo:

$I$  = magnitude da corrente média;

$s$  = comprimento do curso do pistão;

$\omega$  = ciclo do motor por segundo;

$\varepsilon$  = constante dielétrica da solução;

$\zeta$  = potencial zeta;

$r$  = raio do pistão;

$R$  = raio da câmara;

$k$  = constante dielétrica do fluido;

$f()$  = função da forma do anel que depende do modelo utilizado.

Da mesma forma, é mantida a proposição que a corrente ( $I$ ) relaciona-se linearmente com o potencial zeta ( $\zeta$ ). Com efeito, resultados experimentais como os de Dentel et al. (1989), mostram que alterações nas medidas de potencial zeta (por exemplo, em virtude de variação do pH e, ou de dose de coagulante) são sentidas pelo SCD na mesma direção.

Edney (2005) ressalva ainda que mesmo se um modelo matemático pudesse descrever perfeitamente o funcionamento do sensor do SCD haveria limitações, já que as superfícies do cilindro e do pistão, bem como a folga entre estes, sofrem desgaste físico pelo uso, o que, mesmo com constante calibração, pode comprometer a precisão da leitura.

### 3.8.3. Estudos de aplicação do equipamento SCD

Estudos têm sido realizados para avaliar a otimização do processo de coagulação utilizando o medidor de cargas, seja na automação da dosagem de coagulante, seja no controle do processo (DENTEL e KINGERY, 1988). Nesta segunda aplicação, parte-se de um valor de dose pré-determinado em ensaios de jarros e, associando este valor à determinada carga elétrica, o operador pode controlar o processo acompanhando a variação da carga e, eventualmente,

corrigir o valor da dose. Alternativamente, o medidor de carga das dispersões pode ser conectado a bombas dosadoras de coagulante e ajustar automaticamente a dosagem.

Em pesquisa realizada por Sibiyaa (2014), constatou-se que o medidor de cargas utilizado no controle automático da dosagem de coagulantes produziu água de qualidade aceitável, mesmo durante períodos de grande mudança de turbidez da água bruta e taxas de fluxo variáveis.

Por sua vez, Nam et al. (2013) sugerem que o medidor de cargas pode ser aplicado para determinar com rapidez e precisão a dose de coagulante para o tratamento de águas com elevada turbidez.

Por outro lado, baseados em seus próprios estudos e nos de Gerdes, Dentel e Kingery (1988) identificam vários fatores que interferem no funcionamento do medidor SCD, tais como variações da temperatura, pH e vazão. Variações de temperatura podem promover ligeiro aumento da sensibilidade do sensor, dependendo dos materiais utilizados. Semelhante ao efeito sobre o potencial zeta, o aumento do pH proporciona valores mais negativos para sistemas simples, mas as tendências são mais complexas após a coagulação com sais de alumínio ou de ferro. Já em situações de alto fluxo de água, o tempo para o equipamento se equilibrar e fornecer valores confiáveis se torna muito reduzido. Ainda segundo Dentel e Kingery (1988), as principais queixas relatadas por operadores de ETAs referentes ao funcionamento do aparelho incluem: entupimentos do sensor e elevado volume de sujeira aderida às paredes do sensor.

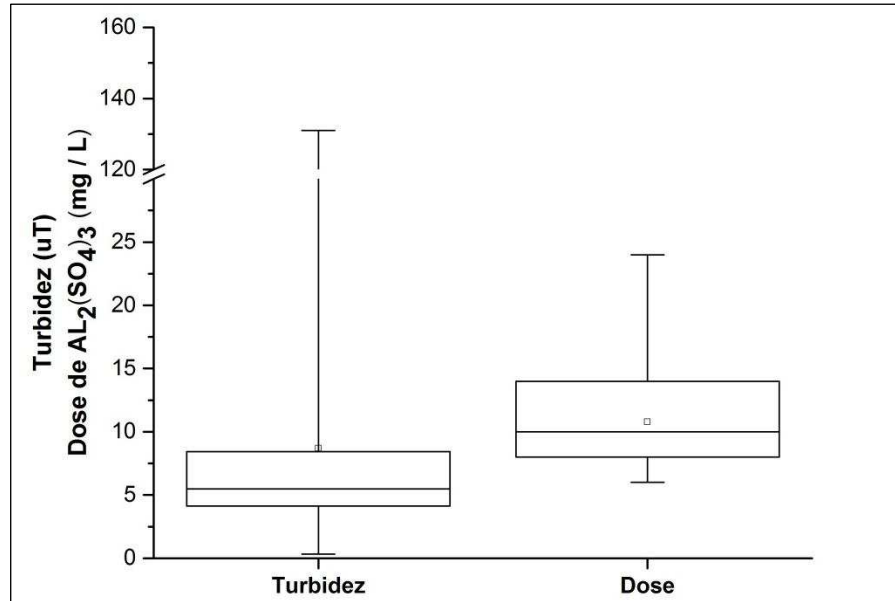
## 4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido, essencialmente, a partir de ensaios de bancada – ensaios de jarros em equipamento Jar Test foram realizados de forma a simular o tratamento na ETA UFV. A água bruta utilizada nos ensaios foi coletada na entrada da ETA UFV imediatamente antes da calha Parshall. Assim, antes de detalhar os ensaios de jarros, apresenta-se uma breve descrição da ETA e do respectivo controle operacional e de qualidade da água.

### 4.1. CONTROLE OPERACIONAL E DE QUALIDADE DA ÁGUA NA ETA UFV.

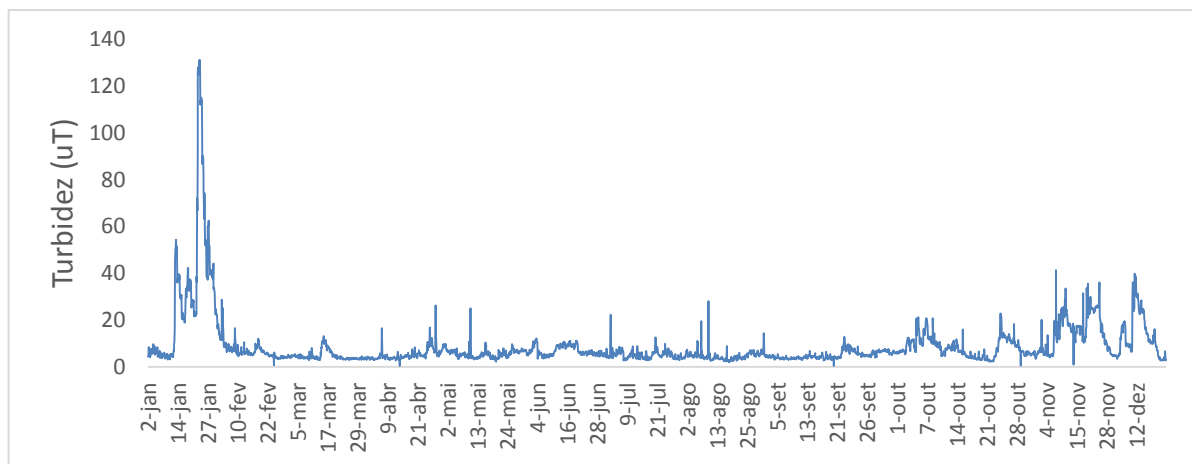
A Universidade Federal de Viçosa - campus Viçosa (UFV) conta com um sistema próprio de abastecimento de água, com todos seus componentes localizados nas dependências do próprio campus universitário: captação, estação de tratamento (ETA) e sistema de distribuição. A captação de água é realizada em um represamento do ribeirão São Bartolomeu. A vazão média de água captada em 2016 foi de 31 L/s. A ETA UFV opera em ciclo completo: medição de vazão e mistura rápida em calha Parshall, floculador hidráulico com seis câmaras, decantador, dois filtros rápidos descendentes de areia e desinfecção com cloro gás. A coagulação é realizada com sulfato de alumínio líquido,  $Al_2(SO_4)_3$  em concentração de 2% ou 4%. Esta variação da concentração da solução ocorre em função da vazão de trabalho da ETA e, conseqüentemente, da vazão da bomba dosadora de coagulante. No ano de 2016 a dose de sulfato de alumínio utilizada variou de 6 a 24 mg/L, conforme variação da turbidez da água bruta. A Figura 7 apresenta a variação da turbidez e dose de coagulante no ano de 2016.

Na Figura 8 é mostrada a variação temporal da turbidez da água bruta em 2016, no qual se confirma a predominância de valores baixos de turbidez ao longo do ano, com valores mais elevados e, mesmo picos, coincidentes com períodos de chuvas (Figura 9).



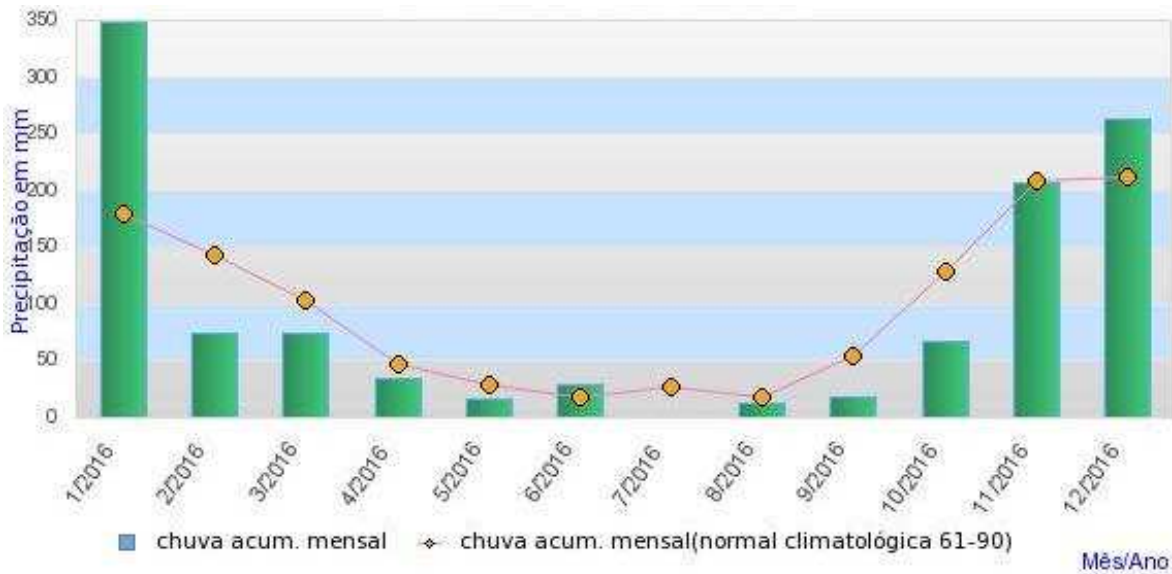
**Figura 7.** Variação da dose de coagulante e da turbidez da água bruta captada pela ETA UFV em 2016. Número de dados (n): turbidez = 3909 e dose = 2045. Primeiro e terceiro quartis (limites inferior e superior dos retângulos nos gráficos box-plot); medianas (linhas horizontais internas aos retângulos), valores mínimos e máximos (limites inferior e superior das linhas verticais) e médias (quadrados).

**Fonte:** Banco de dados da ETA UFV.



**Figura 8.** Variação temporal da turbidez da água bruta captada pela ETA UFV em 2016.

**Fonte:** Banco de dados da ETA UFV.



**Figura 9.** Precipitação mensal acumulada, Viçosa MG, 2016.

**Fonte:** Instituto Nacional de Meteorologia- INMET, 2017.

A determinação da dose de coagulante ótima na ETA UFV é feita com base em ensaios de jarros, diariamente. Já o controle operacional é realizado por meio de análises horárias de amostras de água bruta, decantada, filtrada e clorada.

O potencial zeta não é aferido nas análises de rotina da ETA UFV, mas, adicionalmente, no controle do processo se utiliza um equipamento medidor de carga elétrica. Devido a especificidades do edifício da ETA, o sensor do medidor de carga se encontra instalado no andar térreo da casa de química, em uma sala de controle juntamente com outros equipamentos de medidas contínuas (on line), tais como turbidímetros, pHmetros e medidores de cloro (Figura 10). Por sua vez, o monitor, onde o valor da medida de carga é emitido, se encontra instalado no primeiro andar da casa de química, no laboratório de análises de rotina da qualidade da água (incluindo o Jar Test) (Figura 10), contíguo ao local onde se encontra a Calha Parshall. Portanto, na saída da calha Parshall foi instalada uma derivação de água que, por meio de uma canalização, alimenta o sensor do medidor de cargas instalado no andar de baixo; este, por sua vez, se encontra conectado por meio de instalações elétricas ao medidor, no andar de cima. Portanto, o equipamento registra o valor da carga da água coagulada.



**Figura 10.** Sensor do medidor de carga (esquerda) e monitor do medidor de carga (direita).

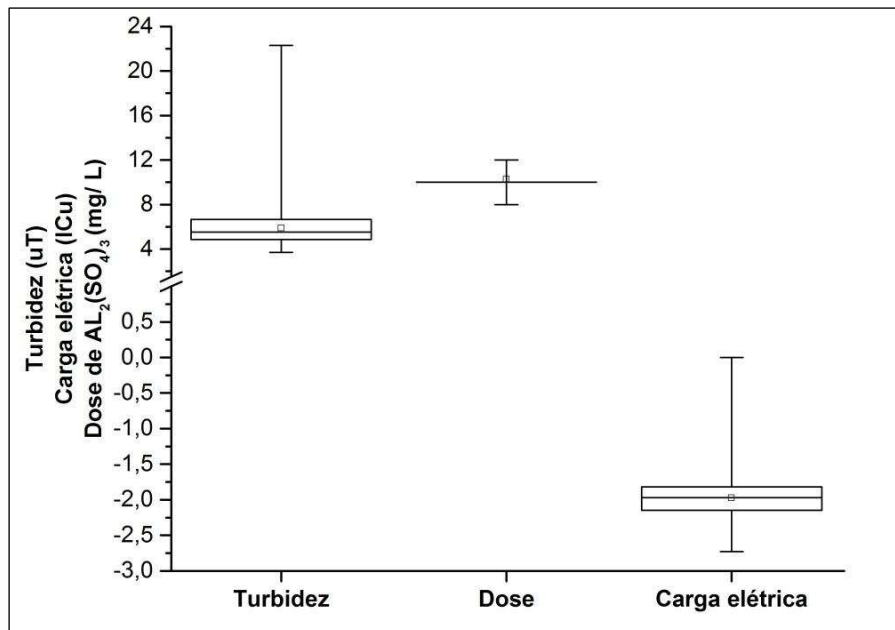
**Fonte:** Arquivo Pessoal

Na rotina operacional, em seguida à aplicação da dose de sulfato de alumínio determinada no ensaio de jarros, o valor correspondente de carga elétrica é registrado no equipamento medidor de cargas. Assim, ao longo da operação, o medidor mostra o quanto a carga se desvia do ponto de ajuste (carga elétrica correspondente à dose ideal), alertando os operadores quanto a eventuais sub ou superdosagens, isto é, cargas respectivamente mais negativa e mais positiva que a ajustada.

Para facilitar a leitura de carga pelos operadores, ao registrar esse valor de carga elétrica correspondente à dose ideal no equipamento, ele é contrabalanceado de modo que, o visor mostre valor de carga zero quando a medida corresponder a carga referente à dose ótima. Assim, neste trabalho, o valor de carga ajustado, também é chamado de “zero”, mas isso não significa que a carga elétrica ajustada seja, necessariamente, nula.

O problema de tal procedimento é que esse valor de carga ótima deve ser ajustado diariamente e pode sofrer muitas variações ao longo do dia em função da variação da qualidade da água bruta. A Figura 11 mostra a variação da turbidez e carga elétrica da água bruta no mês de julho de 2017 bem como a variação de dose do coagulante para o mesmo período. Nota-se que a variação da carga e da turbidez foi bem maior que a da dose de sulfato de alumínio,

sugerindo que para certa amplitude de carga (e também turbidez) mantêm-se a mesma dose de coagulante.



**Figura 11.** Variação da turbidez e carga elétrica da água bruta e dose de sulfato de alumínio da ETA UFV, julho 2017. Número de dados (n): turbidez = 281, dose = 298, carga elétrica = 31. Primeiro e terceiro quartis (limites inferior e superior dos retângulos nos gráficos box-plot); medianas (linhas horizontais internas aos retângulos), valores mínimos e máximos (limites inferior e superior das linhas verticais) e médias (quadrados).

**Fonte:** Banco de dados da ETA UFV.

#### 4.2. ENSAIOS DE JARROS

Ao longo de 12 meses (dezembro 2017 a novembro 2018), ensaios simulando o processo de tratamento de água da ETA UFV, desde a mistura rápida até a filtração, foram realizados utilizando equipamento Jar Test, marca Nova Ética, modelo 218-6 LDB, contendo seis jarros com capacidade de dois litros cada com filtros de bancada acoplados (Figura 12).

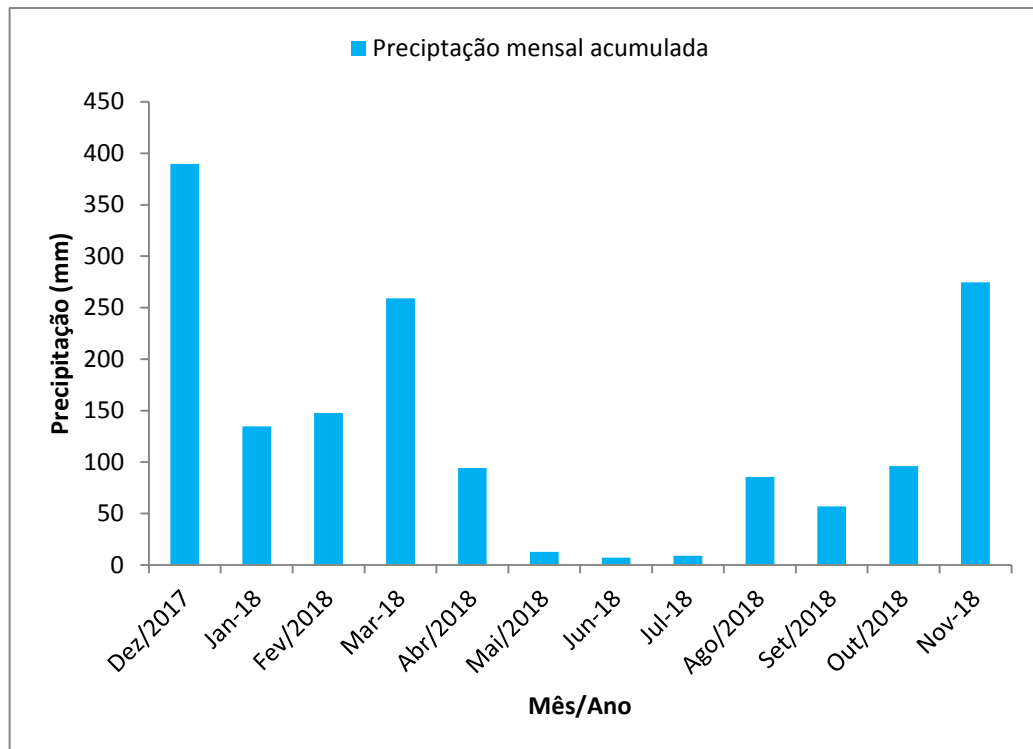


**Figura 12.** Equipamento Jar Test com filtros de bancada acoplados, DAG UFV.

**Fonte:** Arquivo pessoal

Para efeito de sistematização e discussão dos resultados, o experimento foi dividido em duas etapas: (i) períodos de chuvas - dezembro 2017 a abril 2018 + novembro 2018; (ii) período de seca - maio 2018 a outubro 2018. A divisão desses períodos foi realizada conforme os índices pluviométricos da cidade de Viçosa (Figura 13) e as variações da turbidez da água bruta (Apêndice A).

A frequência de ensaios (duas a três vezes por semana) variava conforme a estação climática e as respectivas variações de qualidade da água bruta, sendo reduzida em períodos de seca e aumentada em épocas de índices pluviométricos mais elevados. Ao todo foram realizados 95 ensaios de jarros, 40 correspondentes ao período de chuvas e 55 ao período de seca.



**Figura 13.** Precipitação pluviométrica na cidade de Viçosa-MG, dezembro 2017 a novembro 2018.

**Fonte:** Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

De modo a facilitar a programação do equipamento jar test utilizado no controle operacional da ETA UFV, Silva e Paula (2015) compilaram os parâmetros hidráulicos teóricos de funcionamento da ETA UFV para diferentes vazões (por exemplo, gradientes de velocidade e tempo de floculação e taxa de aplicação superficial), traduzindo-os em termos de parâmetros de operação do Jar Test (tempo e velocidade da agitação e tempo de decantação) (Tabela 1). Como no presente trabalho foi considerada a vazão média da ETA UFV em 2016 de 31 L/s, os parâmetros utilizados nos ensaios de jarros foram àqueles referentes à vazão de 30 L/s. especificados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Parâmetros para programação do jar test para diferentes vazões da ETA UFV

Vazão (L/s)	Mistura rápida				Floculação										Decantação	
	G (s <sup>-1</sup> )	Tempo (s)	G (s <sup>-1</sup> )	Tempo (s)	G (s <sup>-1</sup> )	Tempo (s)	G (s <sup>-1</sup> )	Tempo (s)	G (s <sup>-1</sup> )	Tempo (s)	G (s <sup>-1</sup> )	Tempo (s)	G (s <sup>-1</sup> )	Tempo (s)	Tempo total (min)	G (s <sup>-1</sup> )
10	900	8	900	2	6	2007	6	3978	6	3993	6	2051	200	0	29	
15	900	8	900	2	7,3	1338	8,7	2649	6,7	2654	6	1362	133	0	20	
20	900	8	900	2	12	1003	13,3	1983	11,3	1982	6	1016	100	0	15	
25	900	8	900	2	14,7	803	16	1583	14,7	1577	6	807	79	0	12	
30	900	8	900	2	17,5	669	19	1316	17,5	1305	8,7	666	66	0	10	
35	900	8	900	2	20	573	25	1124	19,5	1110	12	565	56	0	8	
40	900	8	900	2	25	502	29	980	25	962	14	488	49	0	7	
45	900	8	900	2	29	446	35	867	29	846	14,7	428	43	0	7	
50	900	8	900	2	35	401	42	777	35	752	16	379	38	0	6	

**Fonte:** Adaptado de SILVA e PAULA, 2015.

Os filtros de bancada possuem diâmetro interno de 19 mm e meio filtrante constituído de areia com diâmetro efetivo variando entre 0,45 e 0,55 mm, 15 cm de espessura e demais especificações conforme Di Bernardo et al. (2011).

A frequência de retrolavagem dos filtros acoplados ao Jar Test variou em função da perda de carga e, mais comumente, da qualidade da água filtrada. Mas, em geral, a cada três ou quatro dias de ensaio, todos os filtros eram lavados com 500 mL de água tratada (água de torneira).

O coagulante utilizado nesta pesquisa, gentilmente doado pela empresa Bauminas, foi o sulfato de alumínio líquido-  $Al_2(SO_4)_3$  46,3%. As doses de coagulante variaram conforme a qualidade da água bruta. Os valores de doses registrados no banco de dados da ETA UFV, referentes a anos anteriores, foram tomados como orientação para definir as faixas de doses a serem aplicada nos ensaios de jarros. O coagulante foi utilizado na mesma concentração utilizada na ETA UFV, em solução com 2% ou 4% de concentração. Não houve correção do pH da água bruta durante os ensaios.

#### 4.3. ANÁLISES LABORATORIAIS

Amostras de água bruta e decantada de cada jarro eram coletadas e submetidas às análises de pH, temperatura, turbidez, cor verdadeira, carga elétrica, potencial zeta e condutividade elétrica. As amostras de água filtrada dos jarros foram submetidas apenas às análises de turbidez e cor verdadeira. Amostras de água coletadas dos jarros imediatamente após a mistura rápida (água coagulada) também foram submetidas à análise de pH e potencial zeta, para fim de comparação com a água decantada. Todas as análises foram realizadas nas dependências e laboratórios da Divisão de Água e Esgoto (DAG), ETA e Laboratório de Controle de Qualidade da Água (LCQA) da UFV.

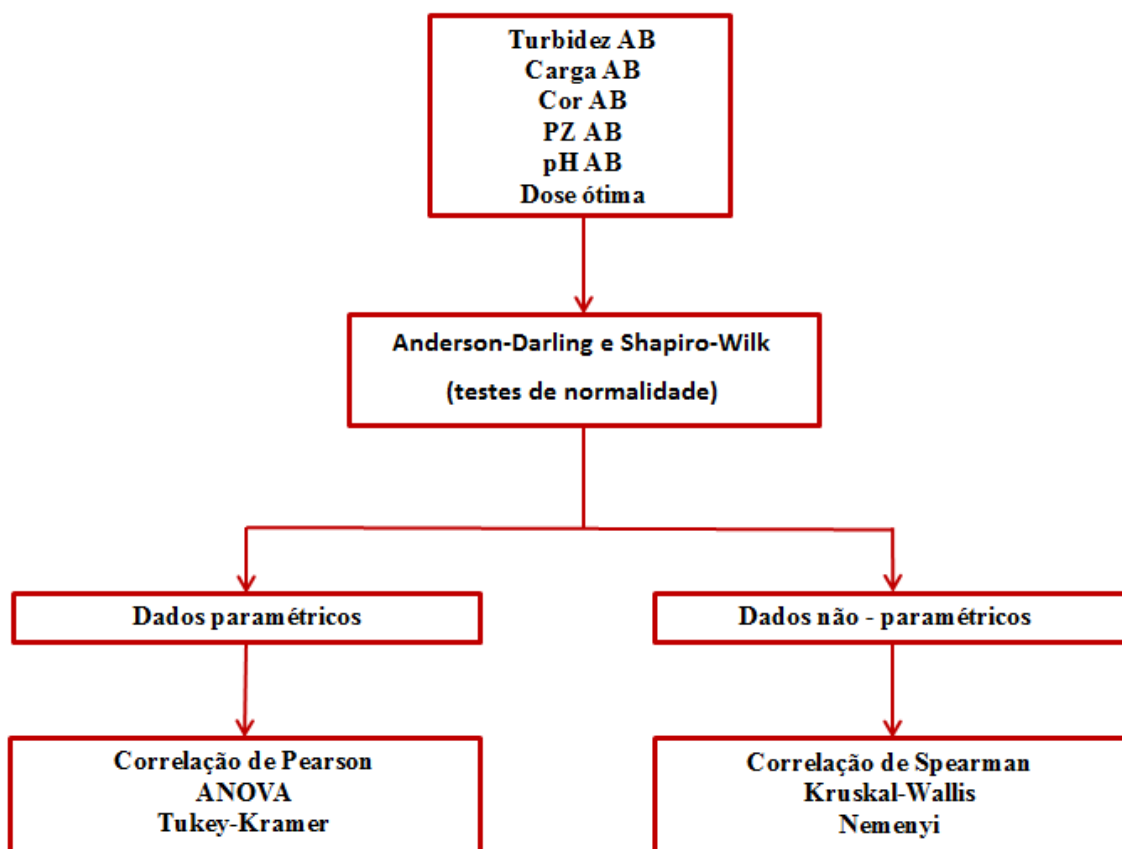
O pH das amostras foi medido com pHmetro digital, marca Digimed DM-20. O pHmetro era calibrado em soluções padrão, semanalmente. A turbidez foi medida em turbidímetro digital modelo Hach 2100 NA, sendo os resultados expressos (em termos de casas decimais), de acordo com as prescrições do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). As análises de cor verdadeira foram realizadas em colorímetro da marca Lamotte, modelo Smart 3/BT - as amostras eram previamente filtradas a vácuo em membrana da marca Unifil com porosidade média de 45  $\mu\text{m}$  e diâmetro de 47 mm.

O medidor de carga utilizado foi o MicroTSCM da HF Scientific, Inc. Os jarros do equipamento Jar Test contendo água decantada, bem como amostras de água bruta, eram levados até o local onde o sensor do medidor de cargas se encontra instalado para que a leitura pudesse ser registrada. Portanto, vale salientar que a carga analisada nestes experimentos foi as da água decantada (pela impossibilidade de se medir a carga da água coagulada diretamente nos jarros), diferentemente do que ocorre em escala real na ETA, em que se analisa a água após a mistura rápida.

A medição de potencial zeta das amostras foi realizada em um zetâmetro, modelo Zetasizer Nano Z da Malvern Instruments Ltd. Os resultados da análise eram lidos em um computador conectado ao Zetasizer e se apresentavam na forma de uma curva cujo pico correspondia ao valor efetivo do potencial zeta.

#### 4.4. TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados de turbidez, cor verdadeira, carga elétrica, potencial zeta e pH da água bruta e de dose ótima de sulfato de alumínio foram submetidos aos testes de normalidade de Anderson-Darling e Shapiro-Wilk. Dados que seguiram distribuição normal foram analisados por meio de testes paramétricos (correlação de Pearson, ANOVA, teste de Tukey-Kramer), enquanto os dados que não apresentaram distribuição normal foram submetidos a testes não paramétricos (correlação de Spearman, Kruskal-Wallis e teste de Nemenyi). O fluxograma da Figura 14 apresenta, de forma sintetizada, as análises estatísticas que o conjunto de dados foi submetido.



**Figura 14.** Fluxograma dos testes estatísticos aos quais os dados referentes à água bruta e dose ótima de coagulante foram submetidos.

Os dados de turbidez, carga elétrica, potencial zeta (PZ) da água bruta e de dose ótima de coagulante foram organizados em gráficos de forma que, em análise preliminar, se buscasse a visualização de tendências. Este procedimento foi realizado com o conjunto total de dados e também para os períodos de chuva e seca separadamente. Adicionalmente, dados de carga

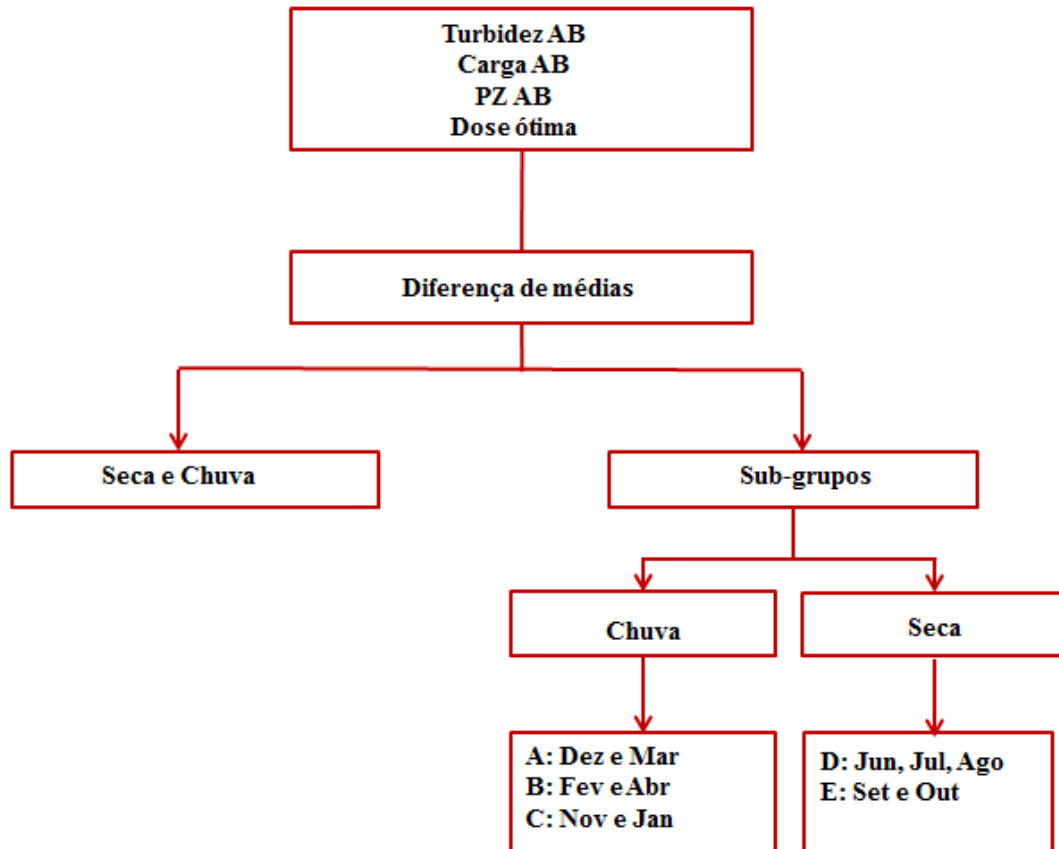
elétrica e turbidez da água bruta, bem como de PZ e turbidez da água bruta, foram submetidos ao teste de correlação de Spearman. O mesmo procedimento foi realizado para cor verdadeira, carga elétrica e PZ.

A dose ótima de sulfato de alumínio foi determinada em função da turbidez da água decantada. Complementarmente, se avaliou como a carga elétrica e PZ se comportavam com a variação da dose nos ensaios de jarros. O objetivo desta análise era identificar os valores de carga e PZ relacionados à dose ótima e a amplitude de variação destes dados.

Testes de correlação de Spearman foram também utilizados para analisar a associação entre dose ótima-carga elétrica da água bruta e dose ótima-PZ da água bruta.

Diferenças de médias dos dados de turbidez, PZ, carga elétrica e dose ótima de sulfato de alumínio entre períodos de chuva e seca foram verificadas por meio dos testes de Anova (potencial zeta) e de Kruskal-Wallis (turbidez, dose e carga). Adicionalmente, estes dados foram subdivididos em função do valor de turbidez (médias mensais semelhantes) em grupos menores de meses e submetidos aos mesmos testes estatísticos (Figura 15). Os subgrupos que apresentaram diferenças significativas foram submetidos aos testes de comparações múltiplas: Tukey-Kramer e Nemenyi (amostras com distribuição normal e não-normal, respectivamente). O objetivo destes testes era estabelecer os “zeros” (valores de ajuste) de carga associados a faixas de turbidez da água bruta e dose ótima de coagulante que pudessem ser empregados no controle da coagulação por meio da medida de carga elétrica da água bruta.

Com o intuito de auxiliar a determinação desses “zeros”, foram construídos gráficos do tipo box-plot. Assim, se houver diferenças de médias estatisticamente significativas entre os mesmos períodos do ano (chuva e seca) ou entre os mesmos grupos de meses, para aquelas variáveis, poderá ser estabelecido os “zeros” de carga elétrica da água bruta (carga elétrica média, por exemplo) que correspondam a uma determinada variação de turbidez da água (valores entre os percentis 25 e 75, por exemplo) e doses ótimas correspondentes.



**Figura 15.** Divisão dos grupos de variáveis submetidas aos testes de comparação de médias.

Os dados de potencial zeta e carga elétrica foram submetidos ao teste de correlação de Spearman com o objetivo de verificar se a relação de proporcionalidade entre estas duas medidas apontada pela teoria se confirmava neste estudo.

O pH e PZ das amostras de água decantada e coagulada também foram submetidos ao teste de correlação de Spearman. O objetivo desta comparação foi verificar se os resultados encontrados para a carga da água decantada podem ser estendidos para água de coagulação sem prejuízos ou inconsistências, uma vez que, como já ressaltado, neste trabalho foi possível medir a carga da água decantada, e não, como em escala real, da água coagulada.

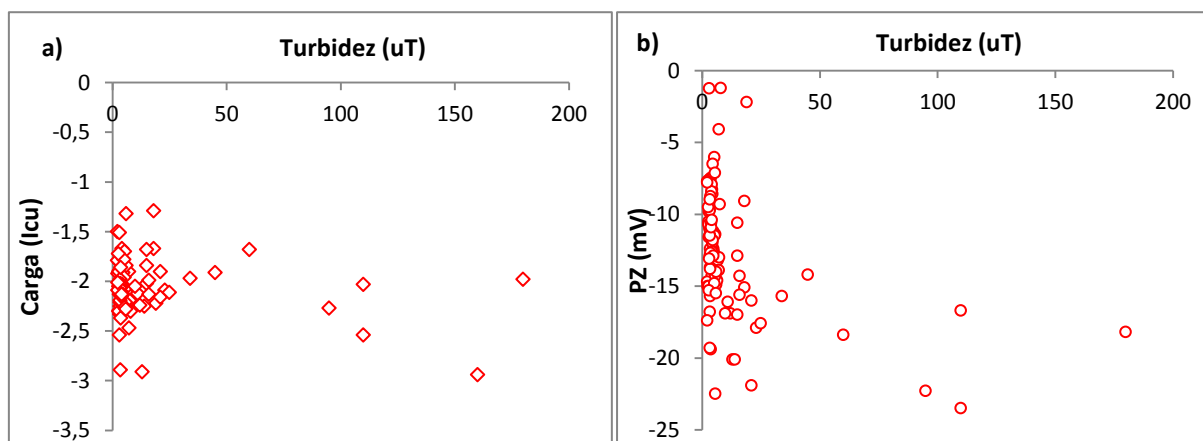
Por fim, a influência da carga das partículas, ou melhor, da neutralização destas, na eficiência da filtração foi verificada. Para isso, os dados referentes ao PZ e carga da água decantada foram confrontados com os de turbidez da água filtrada em diagramas de dispersão - os três parâmetros de cada jarro foram comparados em cada teste de jarros.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. RELAÇÃO ENTRE TURBIDEZ, CARGA E POTENCIAL ZETA DA ÁGUA BRUTA

Os dados de turbidez, carga elétrica e potencial zeta da água bruta foram submetidos aos testes de normalidade de Anderson-Darling e Shapiro-Wilk. Ambos os testes indicaram que apenas a variável potencial zeta apresentou distribuição normal ao nível de 5% de significância. Sendo assim, essas variáveis foram submetidas ao teste de correlação de Spearman. Os resultados deste teste indicaram falta de correlação entre as variáveis turbidez e carga ( $\rho = -0,079$ ;  $p = 0,449$ ). Por outro lado, as variáveis turbidez e potencial zeta apresentaram correlação moderada e estatisticamente significativa ( $\rho = -0,393$ ;  $p = 8,97 \times 10^{-5}$ ). Destaca-se, ainda que baixos, os dois valores do coeficiente de correlação de Spearman encontrados são negativos, conforme esperado. A Figura 16 mostra os gráficos de dispersão destas variáveis.

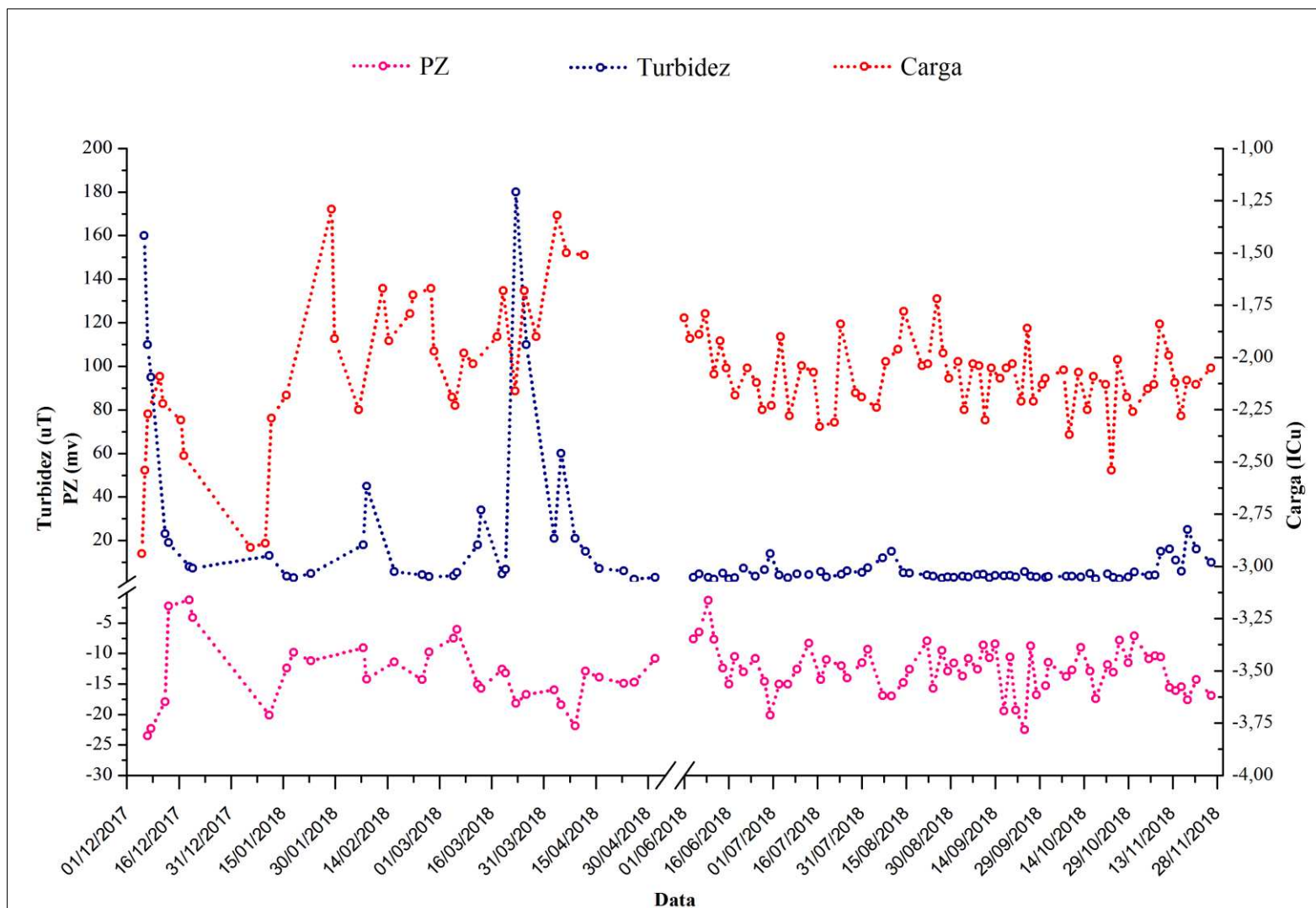
Estes resultados indicam então que a carga total do meio não é relacionada unicamente à concentração de partículas coloidais e em suspensão presentes na água, ou seja, com a turbidez da água. De fato, como descrito no item 3.1, a carga de uma dispersão coloidal provém de diferentes fontes, tais como: pH do meio, presença de diferentes solutos na água, além do mineral ou material orgânico dos quais se originaram a partículas ou a matéria húmica.



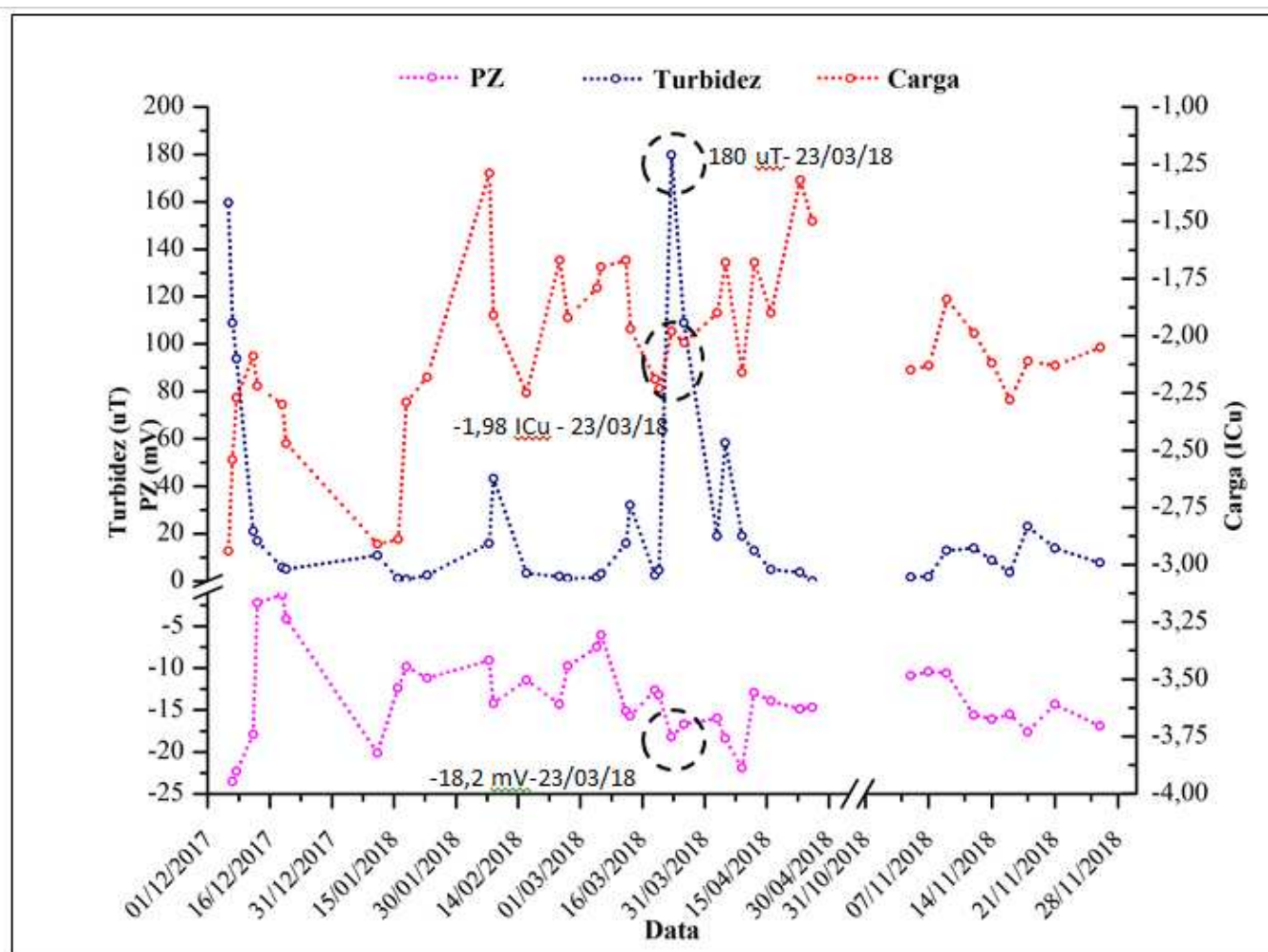
**Figura 16.** Diagrama de dispersão das variáveis (a) turbidez e carga elétrica da água bruta e (b) turbidez e PZ da água bruta, dezembro 2017 a novembro 2018.

Na Figura 17 apresentam-se as variações de turbidez, carga elétrica e potencial zeta da água bruta ao longo de um ano hidrológico, isto é, de dezembro / 2017 a novembro / 2018. Nas Figuras 18 e 19 esses dados são desmembrados em, respectivamente, períodos de chuva e seca.

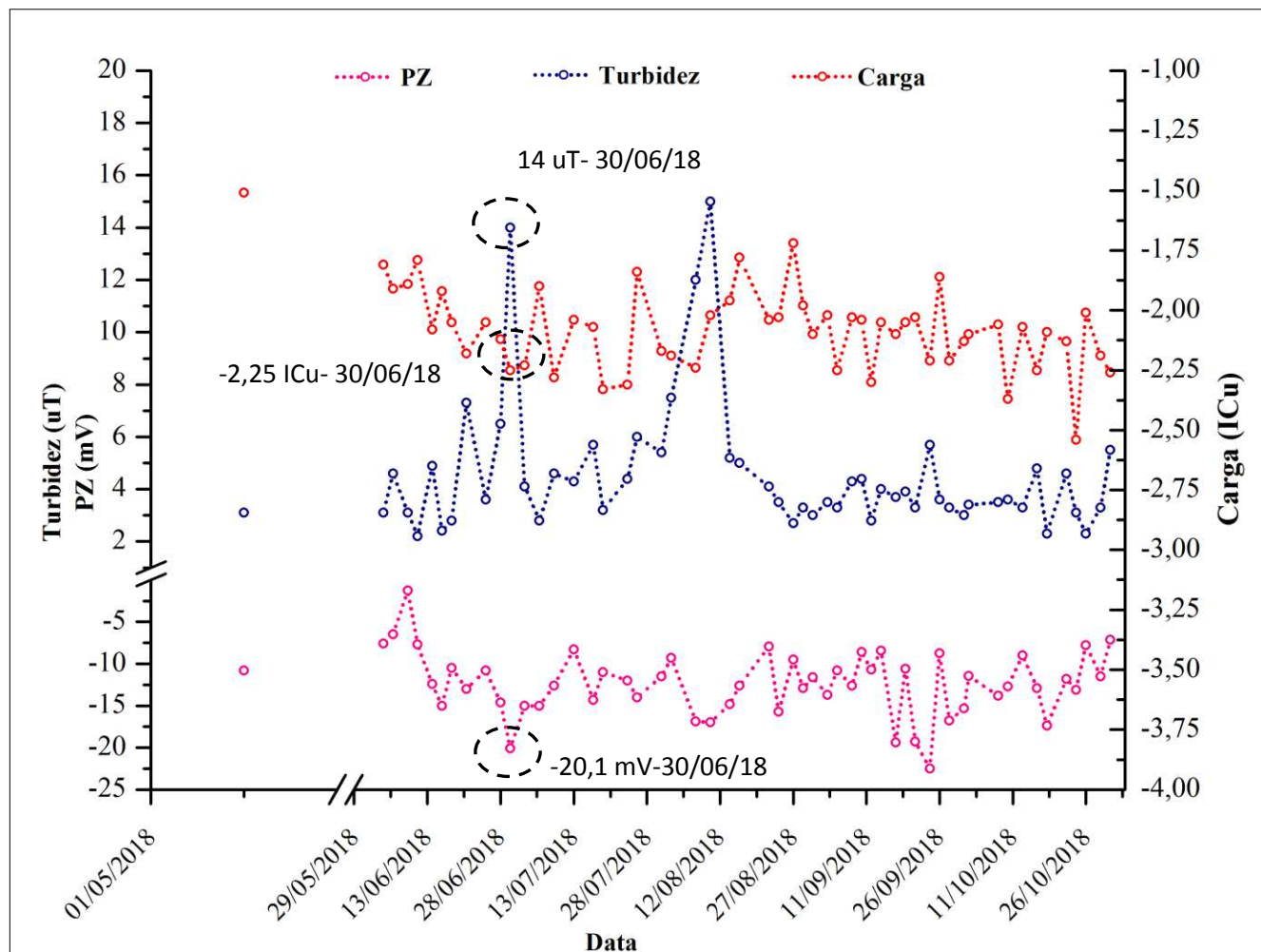
Nota-se que à medida que a turbidez aumenta, a carga e o potencial zeta da dispersão coloidal assumem valores mais negativos, e que esta tendência se mantém tanto no período de chuva quanto no período de seca. Entretanto, ao se analisar os valores referentes aos picos de carga e de potencial zeta dos períodos de seca e chuva, verifica-se que um determinado valor de turbidez mais alta no período de seca algumas vezes esteve associado a valores de carga e potencial zeta mais negativos, ou seja, maiores em valor absoluto, do que aqueles registrados no período de chuva, cujos valores de turbidez são expressivamente maiores (Figuras 18 e 19). Por exemplo, no dia 23/03/2018 (período chuvoso) - foram registrados os seguintes valores: 180 uT, -1,98 ICu (carga) e -18,2 mV (PZ), enquanto no dia 30/06/2018 (período seco) ao valor de turbidez de 14 uT corresponderam valores de carga e de PZ de, respectivamente, -2,25 ICu e -20,1 mV. Este comportamento é mais nítido quando se comparam os dois períodos do ano (seca e chuva), mas também pode ser percebido em um mesmo período. Ocorrências como estas podem justificar os resultados do teste de correlação apresentado na Figura 16.



**Figura 17.** Variação da turbidez, potencial zeta (PZ) e carga elétrica da água bruta ao longo de um ano hidrológico, dezembro 2017 a novembro 2018.



**Figura 18.** Variação da turbidez, potencial zeta e carga elétrica da água bruta ao longo do período de chuva, dezembro 2017 a abril 2018 + novembro 2018.

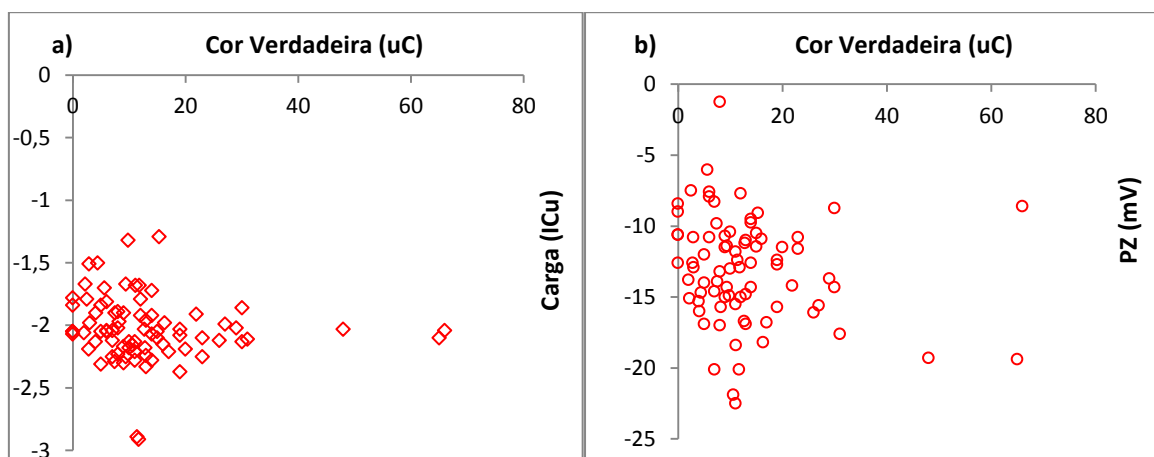


**Figura 19.** Variação da turbidez, potencial zeta e carga elétrica da água bruta ao longo do período de seca, maio a outubro 2018.

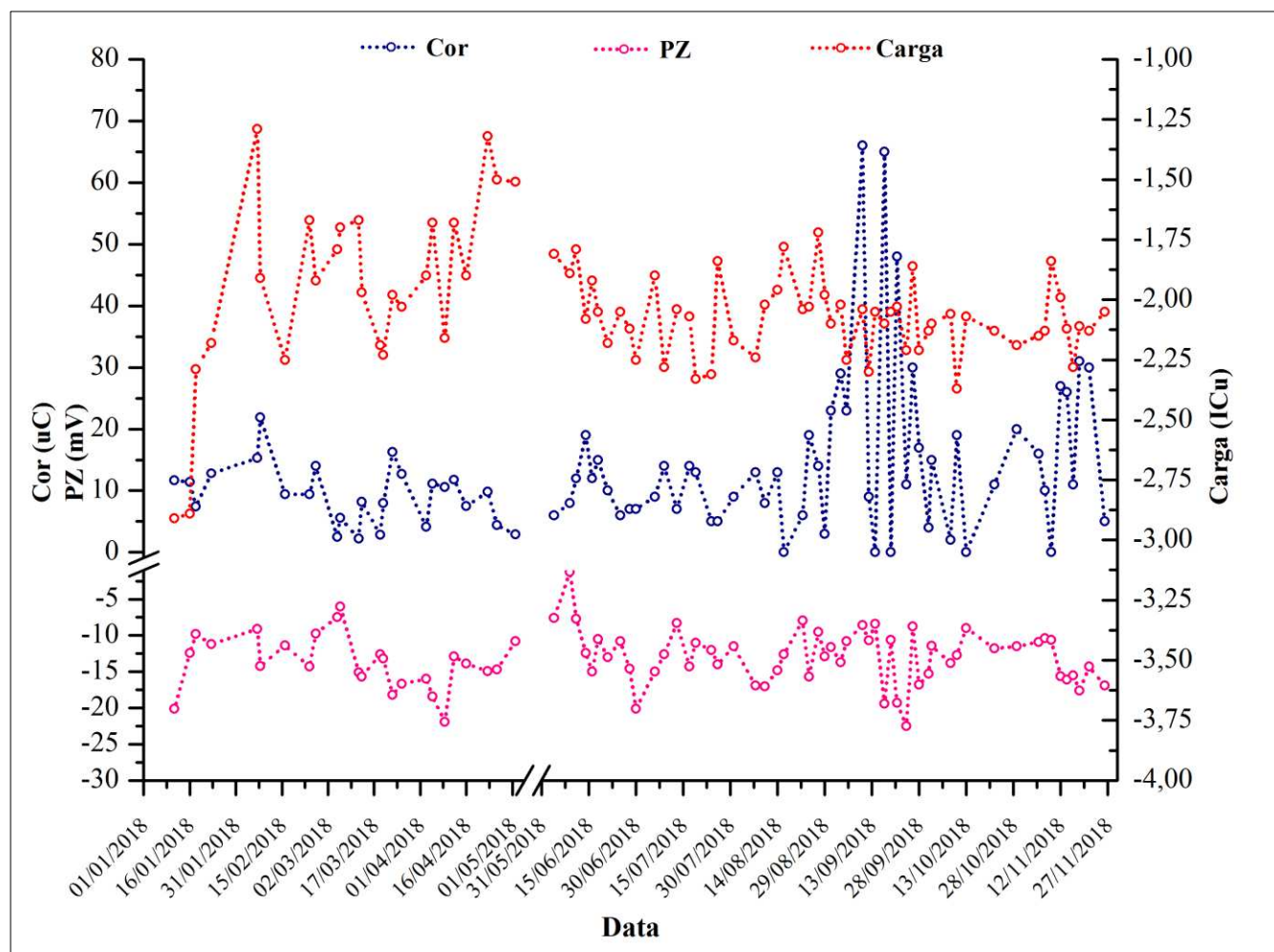
## 5.2. RELAÇÃO ENTRE COR VERDADEIRA, CARGA ELÉTRICA E POTENCIAL ZETA DA ÁGUA BRUTA

Assim como os dados de carga elétrica e turbidez da água bruta, os dados de cor verdadeira não apresentaram distribuição normal segundo os testes de Anderson-Darling e Shapiro-Wilk a um nível de 5% de significância. Na Figura 20 nota-se que não houve correlação entre cor verdadeira e carga ( $\rho = -0,192$ ;  $p = 0,09$ ) nem entre cor verdadeira e potencial zeta ( $\rho = -0,194$ ;  $p = 0,087$ ) segundo o teste de correlação de Spearman. De fato, no gráfico da Figura 21 é possível perceber que carga e PZ não seguiram padrão de variação em função da cor. Este comportamento está de certa forma em desacordo com o que prevê a teoria, pois, de acordo com Ghernaout et al. (2015), a carga negativa das águas brutas é tipicamente imposta pela concentração de matéria orgânica natural, também responsável por causar cor à água. Isto porque, considerando massas equivalente, materiais húmicos dissolvidos ou sorvidos em pH neutro têm carga negativa aproximadamente 10 vezes maior que as argilas mais altamente carregadas.

Nota-se que os valores mais altos de cor não estiveram associados a valores de carga mais eletronegativos. Uma das justificativas para este comportamento pode ser o fato de o colorímetro utilizado apresentar limite mínimo de detecção elevado, e como na maior parte do ano a ETA UFV trata água com baixos valores de cor verdadeira, isso pode ter interferido na acurácia na leitura das amostras.



**Figura 20.** Diagrama de dispersão das variáveis (a) cor verdadeira e carga elétrica da água bruta e (b) cor verdadeira e PZ da água bruta, dezembro 2017 a novembro 2018.

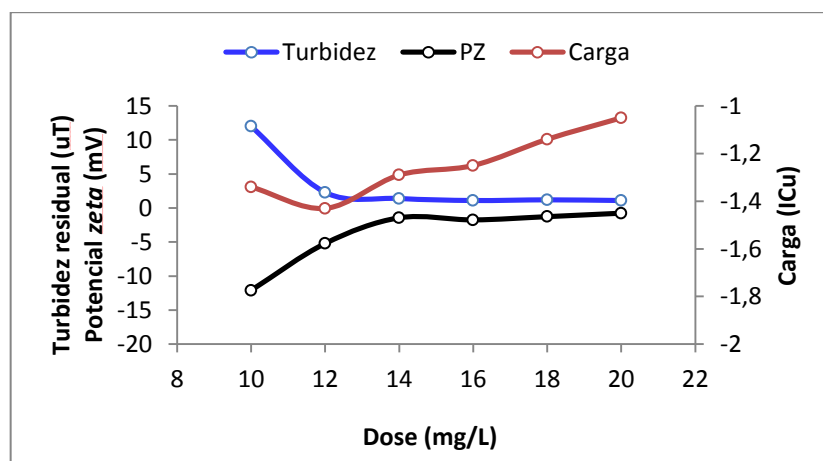


**Figura 21.** Variação da cor verdadeira, potencial zeta e carga elétrica da água bruta, dezembro 2017 a novembro 2018.

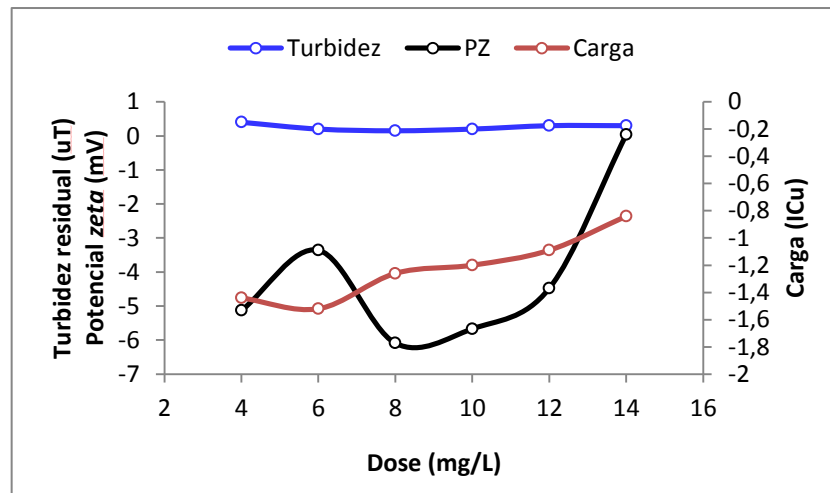
### 5.3. RELAÇÃO ENTRE DOSE, CARGA ELÉTRICA E TURBIDEZ

Em cada ensaio de jarros selecionou-se a dose mais apropriada (dose ótima) para promover a coagulação, isto é, a menor dose que resulta na melhor remoção de turbidez na decantação. Cumpre registrar que, nos casos em que valores próximos de doses tenham dado origem a valores iguais ou muito semelhantes de turbidez remanescente, tomou-se como dose ótima o valor mais elevado ou, por vezes, um valor intermediário. Este procedimento foi adotado a semelhança do que é feito na ETA UFV, isto porque, ao optar pela dose superior, garante-se que variações repentinas nas características da água bruta não comprometa a qualidade da água tratada.

No Apêndice C se encontram gráficos que mostram a variação da turbidez, carga elétrica e PZ da água decantada em função da dose de sulfato de alumínio em cada um dos ensaios de jarros. As Figuras 22 e 23 a seguir foram selecionadas para ilustrar e discutir essa questão, respectivamente em ensaios representativos de épocas de chuva e de seca. Nestas duas figuras nota-se que à medida que há incremento na dose de coagulante, a turbidez da água decantada decresce até certo ponto, a partir do qual permanece praticamente constante. Este comportamento foi observado na grande maioria dos ensaios de jarros (Apêndice C). No gráfico da Figura 22, o menor valor de turbidez (1,1 uT) corresponde à dose de 16 mg/L de sulfato de alumínio, enquanto no gráfico da Figura 23 a menor turbidez (0,15 uT) corresponde a dose de 8 mg/L de coagulante



**Figura 22.** Variação da turbidez, carga elétrica e PZ da água decantada em função da dose de sulfato de alumínio. Data 26/03/18- período chuvoso, turbidez inicial 113 uT.



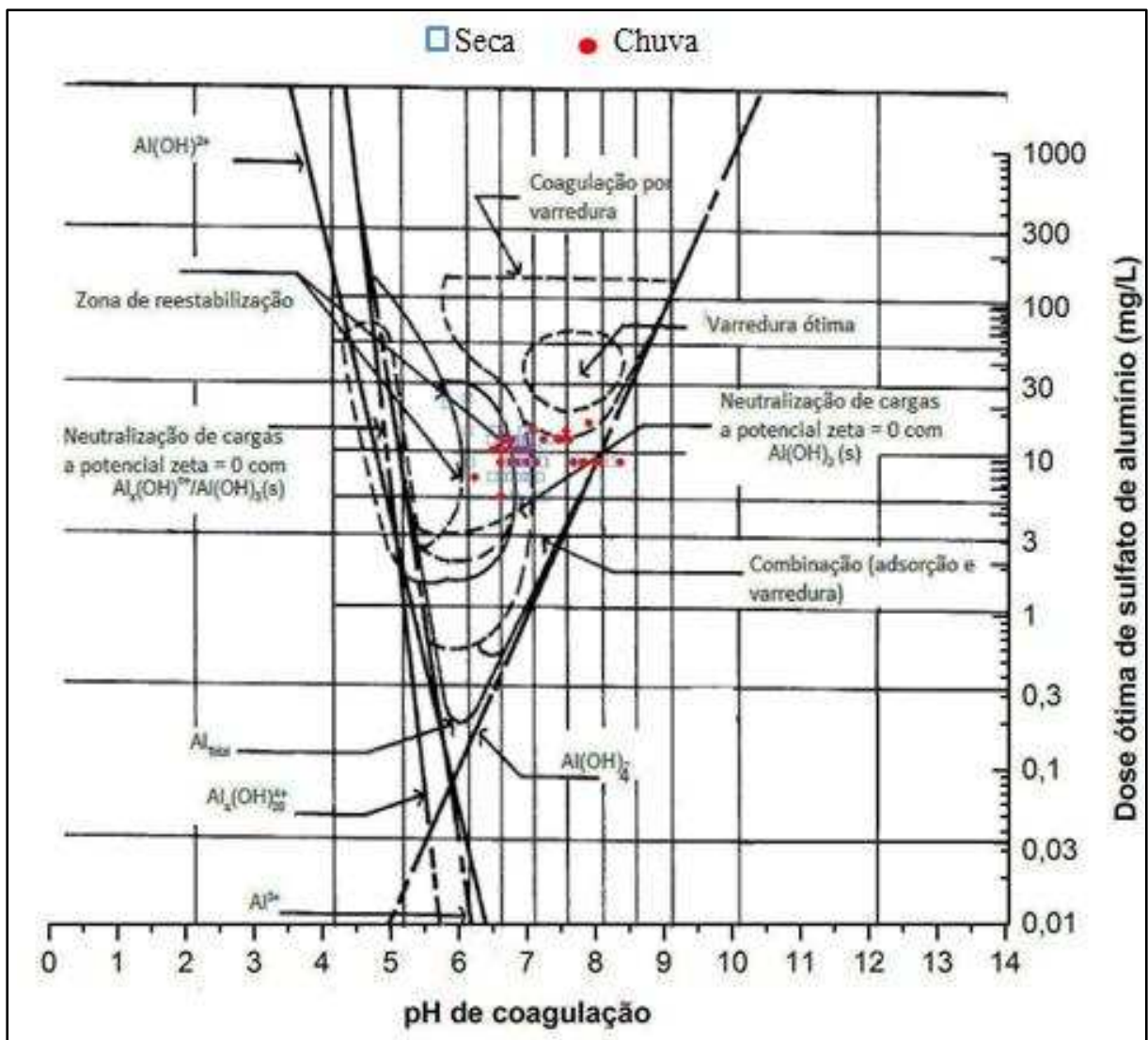
**Figura 23.** Variação da turbidez, carga elétrica e PZ da água decantada em função da dose de sulfato de alumínio. Data 06/07/18 - período de seca, turbidez inicial 2,8 uT.

Nas Figuras 22 e 23 nota-se ainda que, como esperado, com o aumento da dose de coagulante a carga elétrica e o PZ das amostras se tornaram menos negativos. No caso de alta turbidez, a carga decresceu cerca de 0,1 ICu a cada incremento de 2 mg/L na dose de sulfato de alumínio. Por sua vez, o PZ decresceu mais acentuadamente até certo valor de dose (no caso, 14 mg/L), se estabilizando a partir daí em valores mais próximos à zero (Figura 22). Sugere-se, assim, que este seja o ponto em que passa a prevalecer, mais nitidamente, o mecanismo de coagulação por varredura. Com baixa turbidez, a carga decresceu aproximadamente 0,1-0,2 ICu a cada incremento de 2 mg/L na dose de sulfato de alumínio; o PZ decresceu, também de forma mais acentuada que a carga, até o mais alto valor de dose testado (14 mg/L), se aproximando de zero (Figura 23). No caso, é provável que mecanismo preponderante de coagulação tenha sido o de neutralização por hidróxidos carregados positivamente.

A fim de verificar estas sugestões de mecanismos preponderantes de coagulação, os pares: pH de coagulação e dose ótima de coagulante, dos períodos de seca e chuva, foram superpostos ao diagrama de coagulação de Amirtharajah e Mills (Figura 24). Percebe-se uma grande concentração dos dados referentes ao período de seca na região caracterizada pelo mecanismo de neutralização de cargas pelo hidróxido amorfo positivo. Este resultado apresenta o que a teoria afirma a respeito da importância da neutralização de cargas para águas com turbidez e, conseqüentemente carga, relativamente baixas, caso muito comum no período de seca.

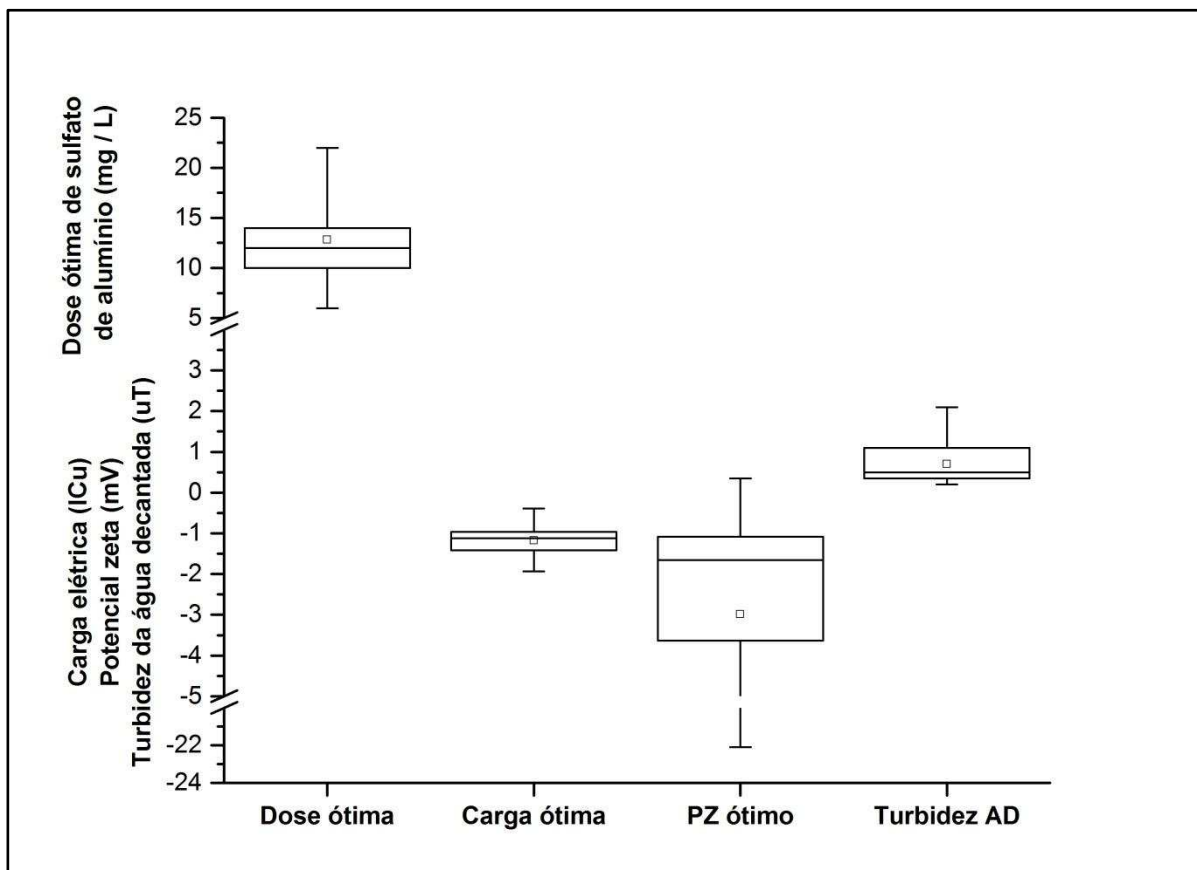
Por outro lado, os dados referentes ao período chuvoso se distribuem basicamente sobre as regiões caracterizadas pelos mecanismos: neutralização de cargas pelo hidróxido amorfo positivo, combinação dos mecanismos de adsorção e varredura e varredura, sendo este último em menor concentração. A variação dos mecanismos se deve a grande variabilidade das características da água bruta durante o período de chuva. Apesar disto, constata-se que a varredura torna-se mais frequente durante esse período, como esperado.

Segundo Vargas (2004), os limites das zonas de reestabilização podem variar de acordo com o tipo de coloide na dispersão. Isto pode explicar a ocorrência dos pontos dispostos nessas regiões no diagrama da Figura 24, inferindo-se que estes limites possam estar, na verdade, um pouco a esquerda do que aparecem.



**Figura 24.** Superposição dos pares: pH de coagulação e dose ótima de sulfato de alumínio, referentes aos períodos de seca e chuva, ao diagrama de coagulação Amiritharajah e Mills.

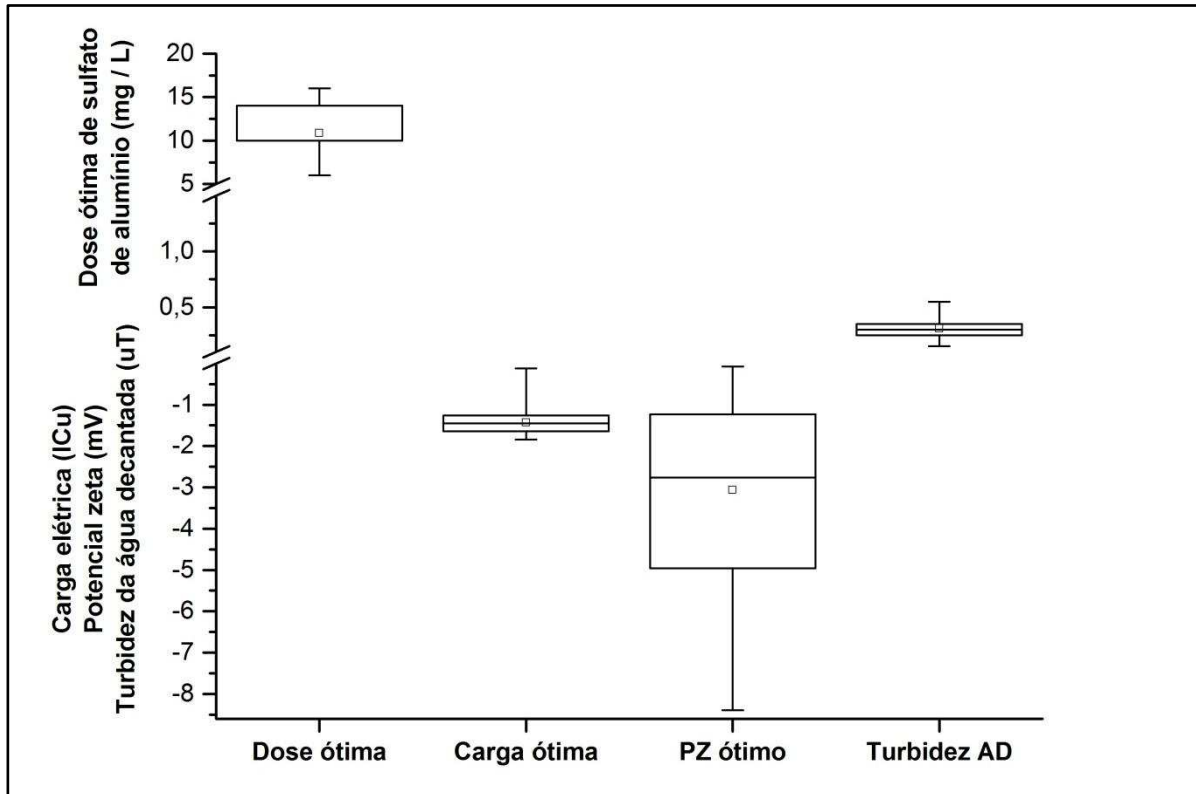
A partir dos dados mostrados nas Figuras 23 e 24, nota-se que, conforme prevê a teoria, a menor turbidez residual não esteve relacionada, necessariamente, a valores de carga e PZ iguais à zero. Em geral, os resultados deste estudo mostraram que as maiores eficiências de remoção de turbidez (turbidez média da água decantada em torno de 1uT) no período chuvoso ocorreram para valores de carga entre -1,93 e -0,39 ICu (mediana = - 1,12 ICu, percentil 25 = - 1,42 ICu e percentil 75 = - 0,96 ICu) e de PZ entre - 22,1 e 0,345 mV (mediana = - 1,66 mV, percentil 25 = - 3,63 mV e percentil 75 = - 1,08 mV) (Figura 25).



**Figura 25.** Estatística descritiva da dose ótima de coagulante, da turbidez da água decantada do melhor jarro, da carga elétrica e do potencial zeta também do melhor jarro durante o período chuvoso. Número de dados (n): turbidez = 39, dose = 39, carga elétrica = 39 e potencial zeta = 39. Primeiro e terceiro quartis (limites inferior e superior dos retângulos nos gráficos box-plot); medianas (linhas horizontais internas aos retângulos), valores mínimos e máximos (limites inferior e superior das linhas verticais) e médias (quadrados).

Já durante o período de seca as melhores remoções de turbidez (turbidez média da água decantada em torno de 0,5 uT) ocorreram para valores de carga entre -0,12 e -1,84

ICu (mediana = - 1,41 ICu, percentil 25 = - 1,64 ICu e percentil 75 = - 1,23 ICu) e de PZ entre - 8,63 e - 0,07 mV (mediana = - 2,72 mV, percentil 25 = - 4,99 mV e percentil 75 = - 1,31 mV) (Figura 26).



**Figura 26.** Estatística descritiva da dose ótima de coagulante, da turbidez da água decantada do melhor jarro, da carga elétrica e do potencial zeta também do melhor jarro durante o período de seca. Número de dados (n): turbidez = 45, dose = 45, carga elétrica = 45 e potencial zeta = 45. Primeiro e terceiro quartis (limites inferior e superior dos retângulos nos gráficos box-plot); medianas (linhas horizontais internas aos retângulos), valores mínimos e máximos (limites inferior e superior das linhas verticais) e médias (quadrados).

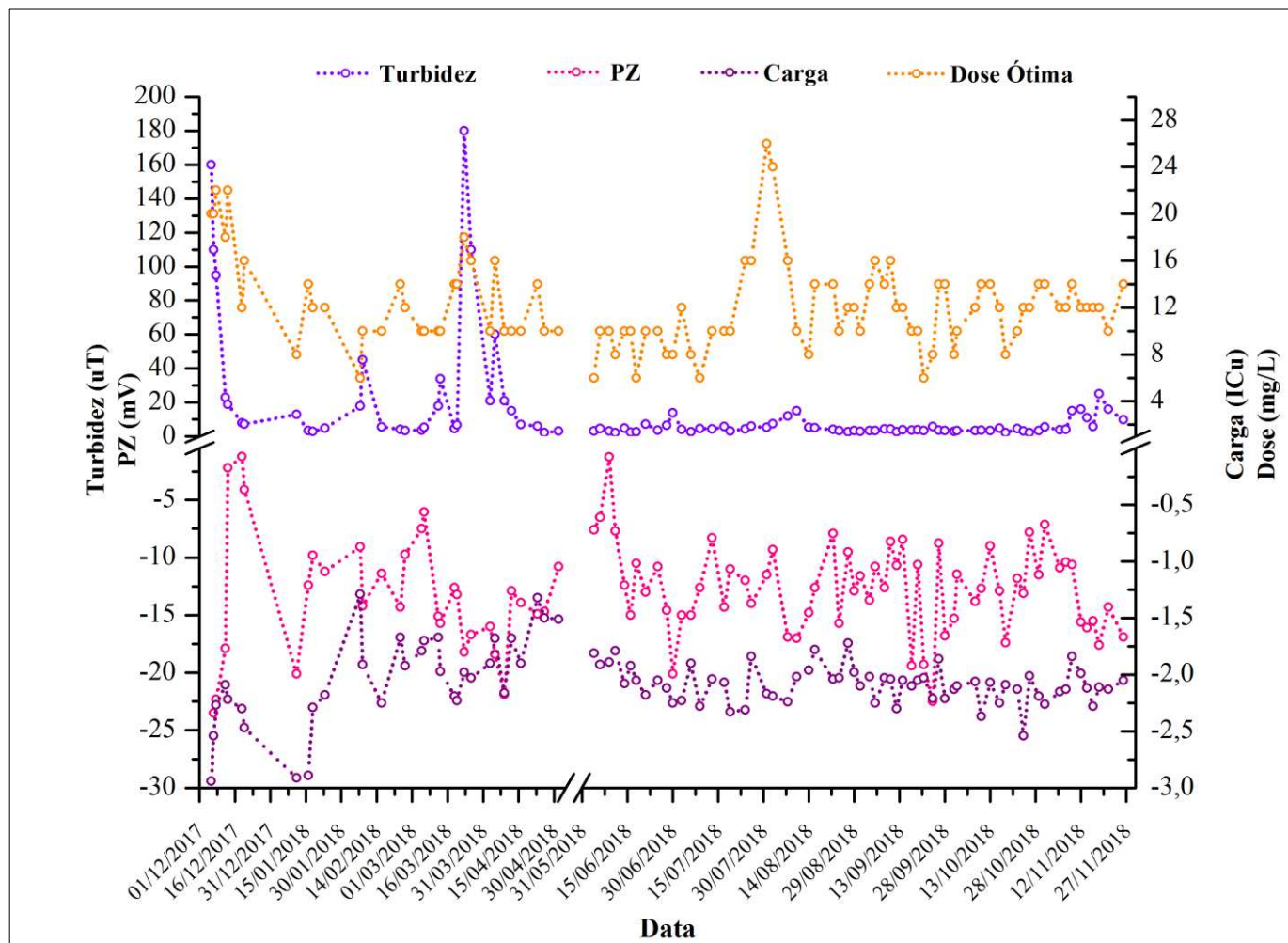
Em experimento semelhante, realizado por Sibiya (2014), o autor constatou que a melhor remoção de turbidez ocorreu para carga elétrica da água coagulada entre 1,5 e -0,5 ICu, e dose ótima de coagulante variando de 5 a 5,5 mg / L, mantendo a turbidez da água decantada próximo de 3 uT. Os valores de carga elétrica encontrados por Sibiya (2014) foram menos eletronegativos que os encontrados nesta pesquisa, esta diferença pode estar relacionada ao fato de que esse autor avaliou a carga da água coagulada, onde as reações químicas entre o coagulante e água podem ainda não ter se completado, enquanto que nesta pesquisa a carga

elétrica medida foi da água decantada. Apesar disso, ambos indicam que os melhores resultados de remoção de turbidez ocorrem para carga elétrica próxima da neutralidade.

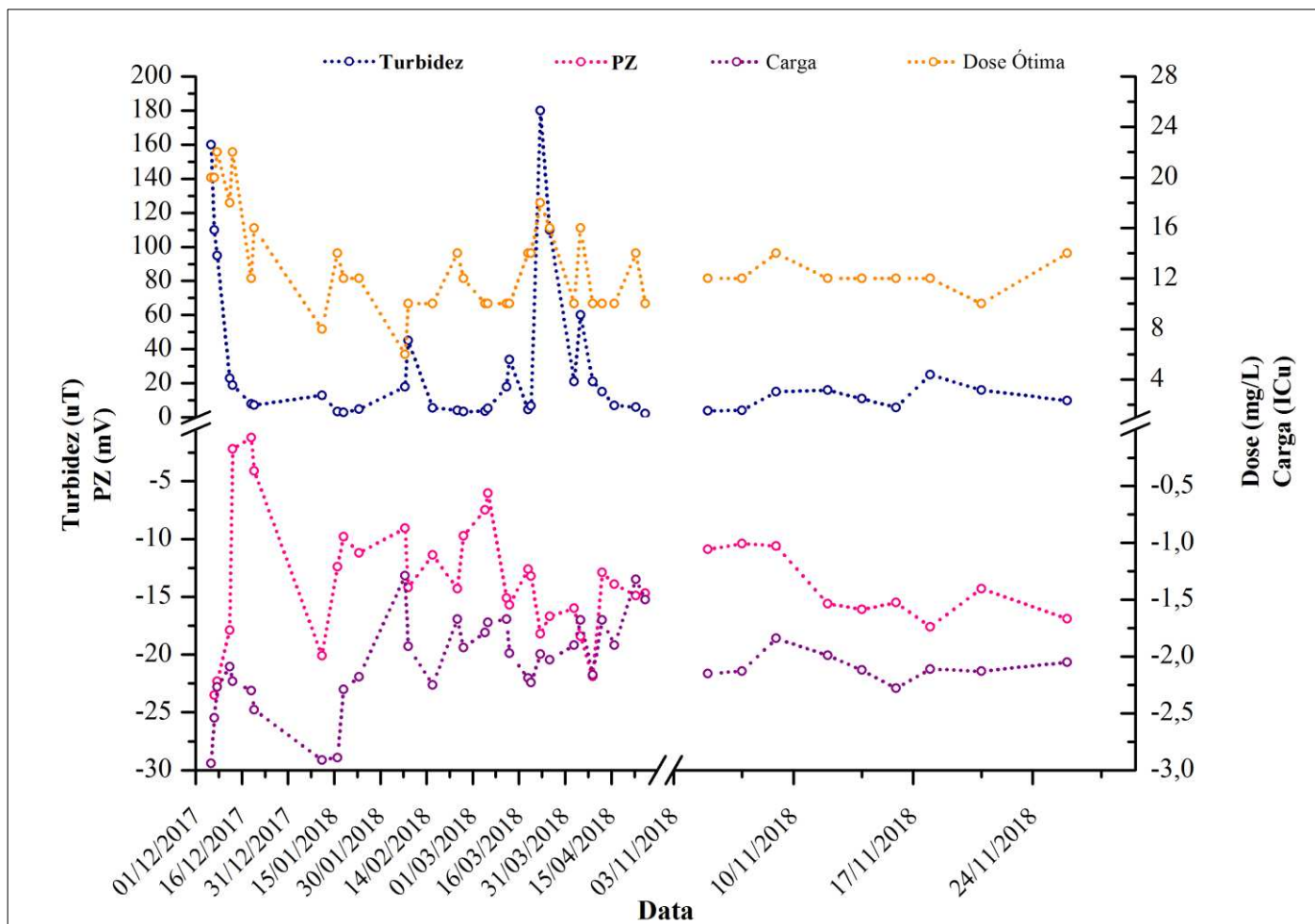
Dentel et al.(1989) também analisaram a relação entre carga elétrica, dose de coagulante e remoção de turbidez porém, em condições bastante controlada, diferentemente do que ocorre em escala real. Uma solução de água tamponada e caulim simulava a água bruta a valores de pH e turbidez pré-determinados. Devido a isso, os autores conseguiram demonstrar com melhor precisão que os menores valores de turbidez remanescente raramente estão associados a valores de carga elétrica zero, e sim, próximos a neutralidade, assim como foi mostrado nesta pesquisa. Além disso, os autores ainda ressaltaram que após a reversão de cargas, há um acréscimo de turbidez. Com o contínuo aumento de dose, a remoção de turbidez volta a ocorrer, mas segundo esses autores, desta vez devido ao mecanismo de varredura.

Nas Figuras 27 a 29 são rerepresentadas as informações das Figuras 17, 18 e 19 (variação da turbidez, potencial zeta e carga da água bruta), acrescidas da variação das doses ótimas de coagulante ao longo do tempo, determinadas nos ensaios de jarros.

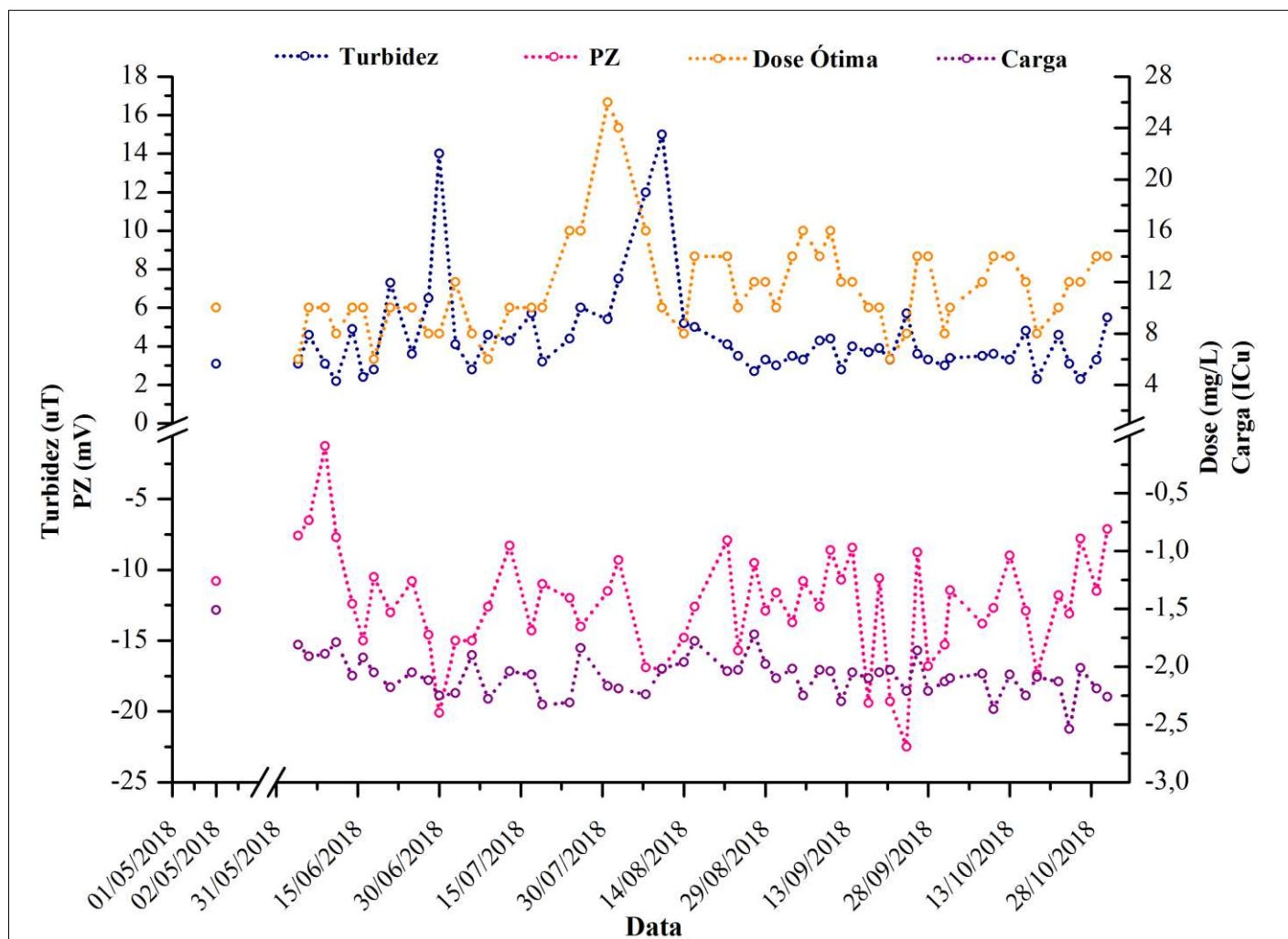
Como esperado, valores de elevada turbidez da água bruta estão associados às maiores doses de coagulante necessárias para promover uma boa coagulação enquanto períodos de turbidez mais baixa exigem doses mais baixas. Identificam-se, porém, duas regiões no gráfico das Figuras 27 e 29 (19/07/18 a 07/08/18) e (03/09/18 a 10/09/2018) onde a relação dose-turbidez não apresenta este padrão. As regiões destacadas correspondem a períodos de seca e baixa turbidez em que ocorreu a floração de algas, conforme análises de clorofila a realizadas em amostras de água do ponto de captação da ETA UFV. Os resultados destas análises (Anexo A) indicam que nos meses de julho a setembro as médias das concentrações de clorofila a foram superiores às médias dos demais meses. Neste período, embora a turbidez da água tenha se mantido baixa, em média 5,4 uT, foi necessário um aumento considerável na dose de coagulante, chegando até 20 mg/L. Devido a isso, os dados referentes a estes períodos não foram incluídos nos resultados desta seção.



**Figura 27.** Variação da turbidez, potencial zeta e carga elétrica da água bruta e dose ótima ao longo de um ano hidrológico, dezembro 2017 a novembro 2018.



**Figura 28.** Variação da turbidez, potencial zeta e carga elétrica da água bruta e dose ótima ao longo do período de chuva, dezembro 2017 a abril 2018 + novembro 2018.

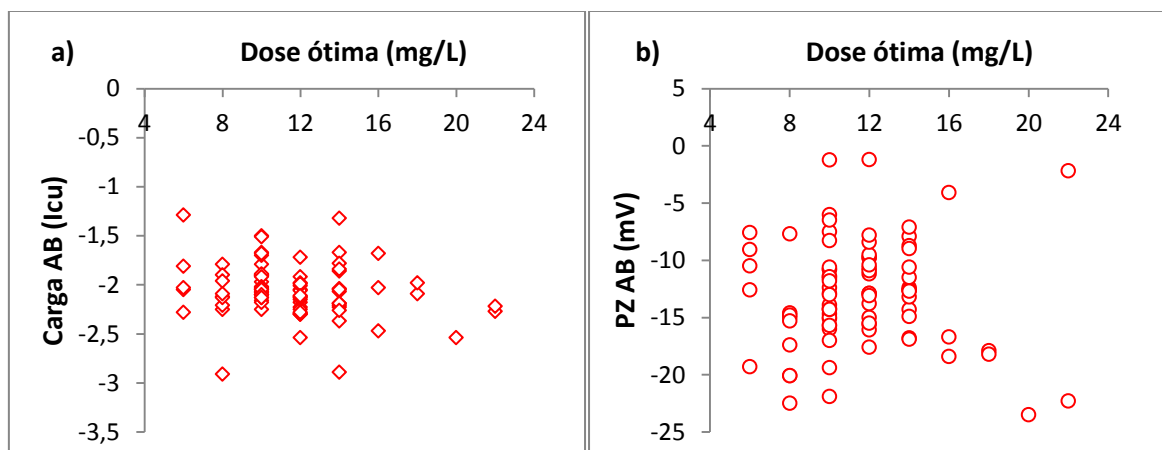


**Figura 29.** Variação da turbidez, potencial zeta e carga elétrica da água bruta e dose ótima ao longo do período de seca, maio 2018 a outubro 2018.

#### 5.4. CONTROLE DA COAGULAÇÃO POR MEIO DO MEDIDOR DE CARGAS

Como visto no item 5.1, correlação numericamente forte / estatisticamente significativa entre carga e turbidez não foi encontrada; por outro lado, turbidez e potencial zeta apresentaram correlação moderada e estatisticamente significativa. Não obstante, em geral, como pode ser verificado nas Figuras 17, 18 e 19 (ou 27, 28 e 29) estas variáveis não deixaram de apresentar alguma correspondência: à medida que a turbidez aumenta, a carga e o PZ tornam-se mais negativos. Em função disto e do fato de que a dose de coagulante a ser empregada é dependente, dentre outros fatores, da turbidez da água bruta, procurou-se, adicionalmente, verificar a eventual correspondência entre dose e carga elétrica da água bruta, a fim de avaliar a possibilidade do controle da coagulação com base na medição de cargas.

Porém, os gráficos da Figura 30, juntamente com os resultados do teste de correlação de Spearman, não indicaram correlação forte / estatisticamente significativa entre dose ótima de coagulante e carga elétrica da dispersão ( $\rho = -0,209$ ;  $p = 0,057$ ) e muito menos entre dose ótima de coagulante e PZ ( $\rho = 0,037$ ;  $p = 0,741$ ). Os valores de turbidez, carga, PZ e dose ótima referentes ao período de proliferação de algas foram excluídos dos testes cujos resultados estão expostos nesta seção. Assim, em princípio, estes resultados sugerem dificuldade em determinar a dose de coagulante a ser empregada no processo de coagulação por meio do controle de carga elétrica da água bruta.



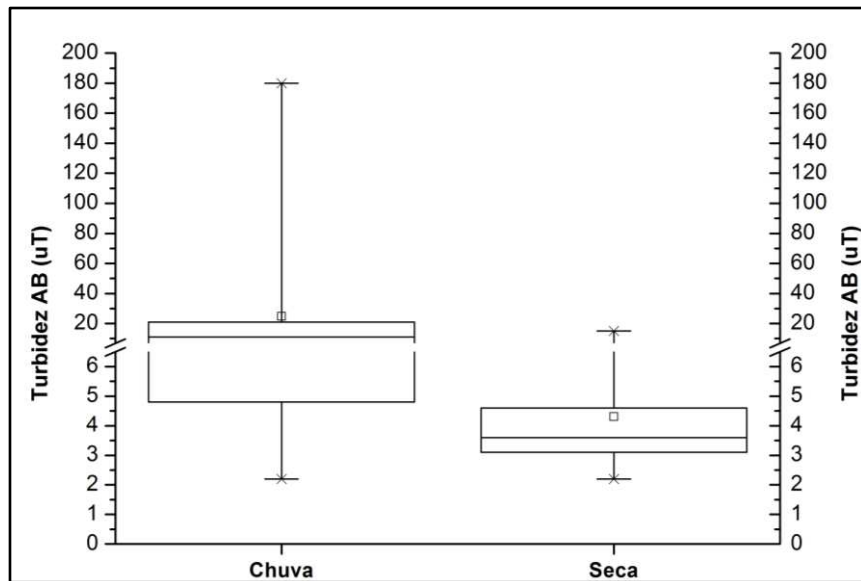
**Figura 30.** Diagrama de dispersão entre as variáveis (a) dose ótima de coagulante e carga elétrica da água bruta e (b) dose ótima de coagulante e PZ da água bruta. Valores referentes aos dois períodos do ano hidrológico, dezembro 2017 a novembro 2018.

Não obstante, testes adicionais foram realizados para verificar a aplicabilidade do controle da coagulação por meio da medida de carga elétrica.

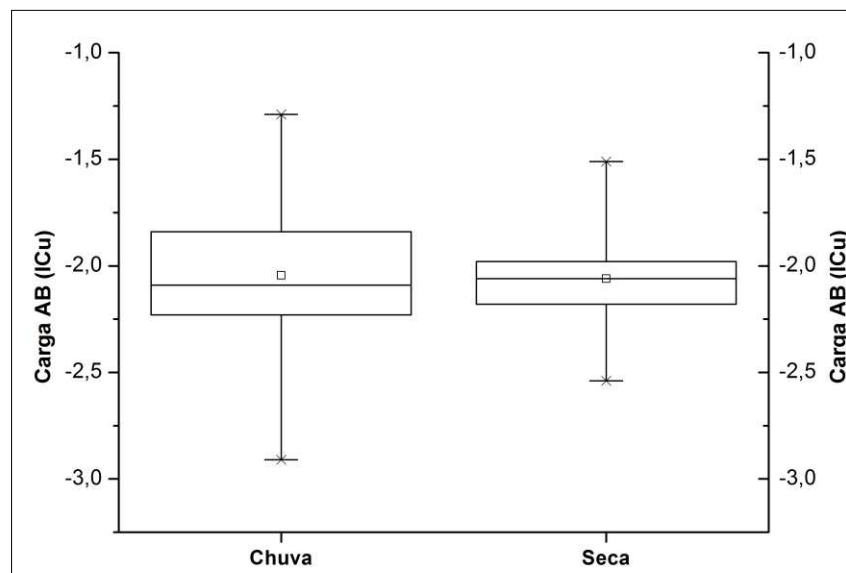
Os dados de turbidez, carga e potencial zeta da água bruta, além da dose ótima de sulfato de alumínio, foram submetidos aos testes de normalidade de Anderson-Darling e Shapiro-Wilk. Ambos os testes indicaram que apenas a variável potencial zeta apresentou distribuição normal ao nível de 5% de significância. Assim, os testes de Anova (potencial zeta) e de Kruskal-Wallis (turbidez, dose e carga) foram aplicados e indicaram que existe diferença significativa entre os períodos de seca e chuva para as variáveis turbidez e dose ( $p = 0$  e  $0,002$ , respectivamente); por outro lado, os valores de carga e de PZ dos períodos de chuva e seca não se mostraram estatisticamente diferentes ( $p = 0,879$  e  $0,245$ , respectivamente).

Os gráficos das Figuras 31 a 34 descrevem como estas variáveis se apresentaram durante os dois períodos. Nota-se que as medianas da turbidez nos períodos de seca e chuva são aquelas que mais diferiram entre si, em relação às demais variáveis. Naturalmente, as doses de coagulante do período de chuvas foram mais elevadas que as do período de seca (embora com amplitude de variação similares, exceto os picos). Entretanto, os valores de potencial zeta e de carga do período de seca pouco diferiram daqueles do período chuvoso.

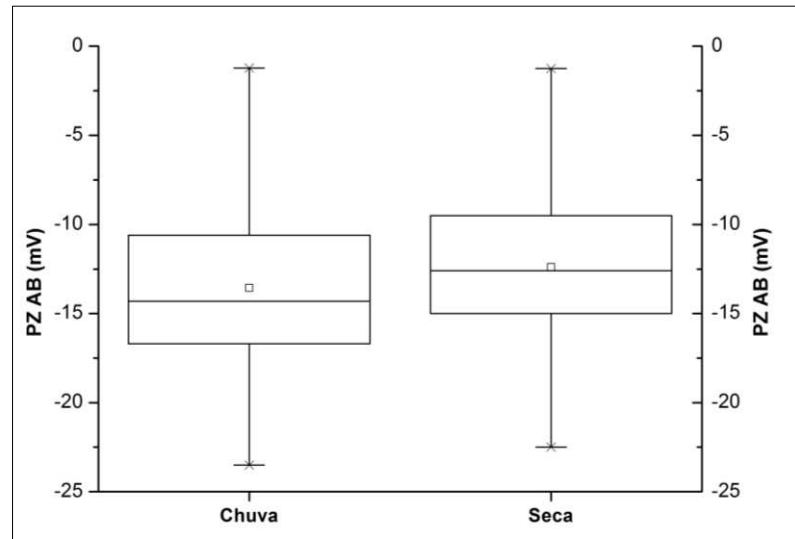
Estes dados, assim organizados, permitiriam associar determinada faixa de turbidez da água bruta no período de chuvas a uma mesma dose ótima de coagulante, por exemplo, a dose média do período em questão. O mesmo se aplicaria para o período de seca. Por outro lado, este raciocínio não se estende ao controle da coagulação por meio da medição de carga ou do potencial zeta na água bruta, já que não foram observadas diferenças significativas destas variáveis entre os períodos de seca e chuva, apesar das respectivas doses de coagulante terem sido estatisticamente diferentes. Isto sinaliza que a análise da carga e/ou PZ, apenas, não é capaz de indicar variações na qualidade da água bruta que requeiram alteração na dose de coagulante.



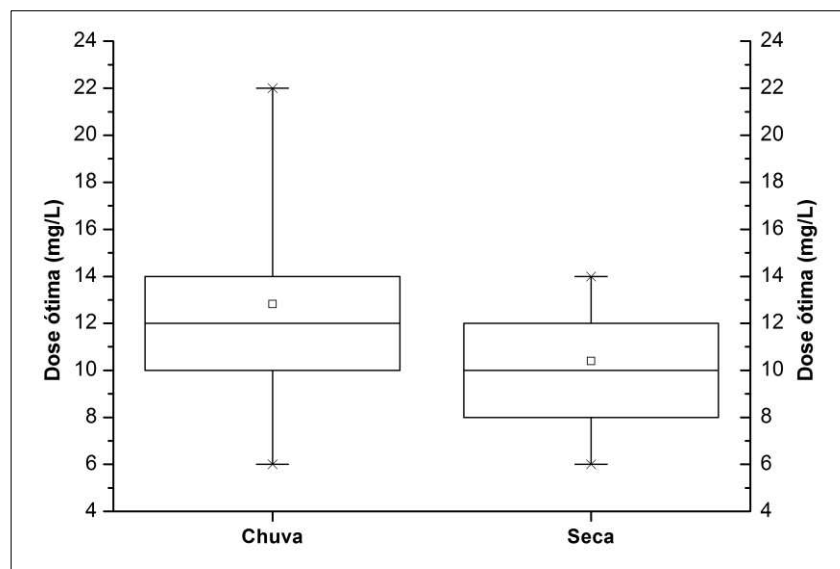
**Figura 31.** Estatística descritiva dos valores de turbidez da água bruta (AB) nos períodos de chuva e seca. Número de dados (n): seca = 45 e chuva = 39. Primeiro e terceiro quartis (limites inferior e superior dos retângulos nos gráficos box-plot); medianas (linhas horizontais internas aos retângulos), valores mínimos e máximos (limites inferior e superior das linhas verticais) e médias (quadrados).



**Figura 32.** Estatística descritiva dos valores de carga elétrica da água bruta (AB) nos períodos de chuva e seca. Número de dados (n): seca = 45 e chuva = 39. Primeiro e terceiro quartis (limites inferior e superior dos retângulos nos gráficos box-plot); medianas (linhas horizontais internas aos retângulos), valores mínimos e máximos (limites inferior e superior das linhas verticais) e médias (quadrados).



**Figura 33.** Estatística descritiva dos valores de potencial zeta da água bruta (AB) nos períodos de chuva e seca. Número de dados (n): seca = 45 e chuva = 39. Primeiro e terceiro quartis (limites inferior e superior dos retângulos nos gráficos box-plot); medianas (linhas horizontais internas aos retângulos), valores mínimos e máximos (limites inferior e superior das linhas verticais) e médias (quadrados).



**Figura 34.** Estatística descritiva dos valores de dose ótima de coagulante nos períodos de chuva e seca. Número de dados (n): seca = 45 e chuva = 39. Primeiro e terceiro quartis (limites inferior e superior dos retângulos nos gráficos box-plot); medianas (linhas horizontais internas aos retângulos), valores mínimos e máximos (limites inferior e superior das linhas verticais) e médias (quadrados).

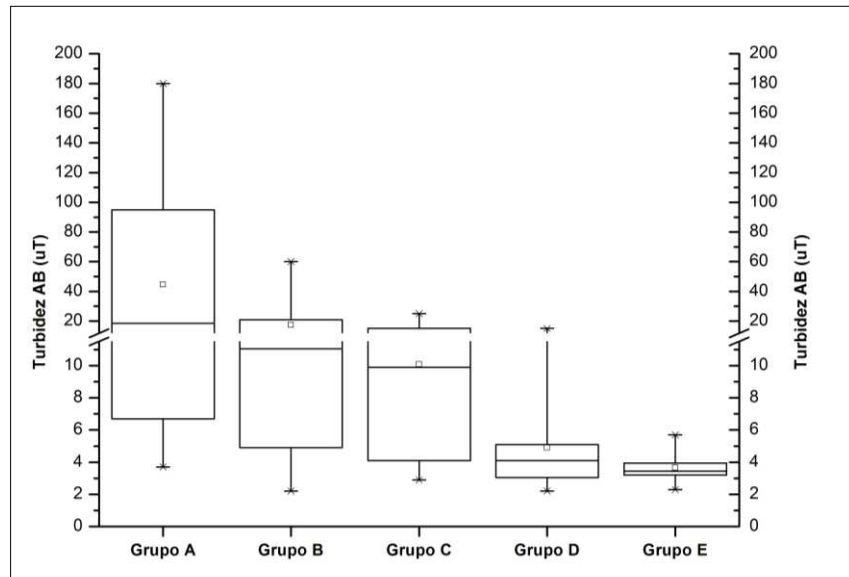
A fim de verificar se flutuações relevantes das variáveis em estudo ocorrem em intervalos de tempo menores, os dois períodos (seca e chuva) foram, então, subdivididos em função do valor de turbidez (médias mensais semelhantes) em grupos menores de meses (Tabela 2) e submetidos aos mesmos testes estatísticos. O mês de maio foi excluído destes testes, pois apenas uma análise foi então realizada.

**Tabela 2.** Subdivisão dos períodos de seca e chuva.

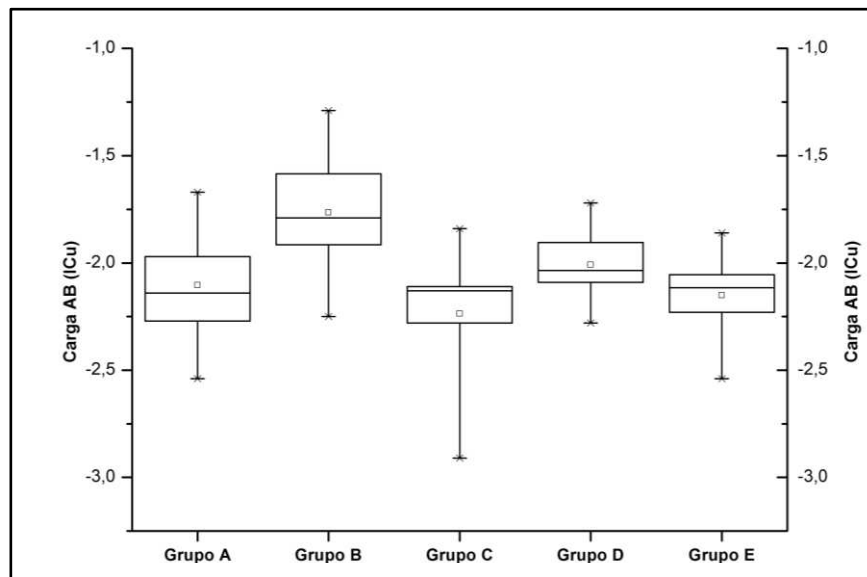
<b>Período</b>	<b>Grupos</b>	<b>Meses</b>	<b>Número de dados</b>
Chuva	A	Dezembro e Março	14
	B	Fevereiro e Abril	12
	C	Novembro e Janeiro	13
Seca	D	Junho, Julho e Agosto	24
	E	Setembro e Outubro	20

Os resultados dos testes Anova e Kruskal-Wallis indicaram diferença entre pelo menos dois grupos das variáveis turbidez, carga e dose ótima ( $p = 0$ ) e que não houve diferença significativa entre os valores de potencial zeta ( $p = 0,589$ ).

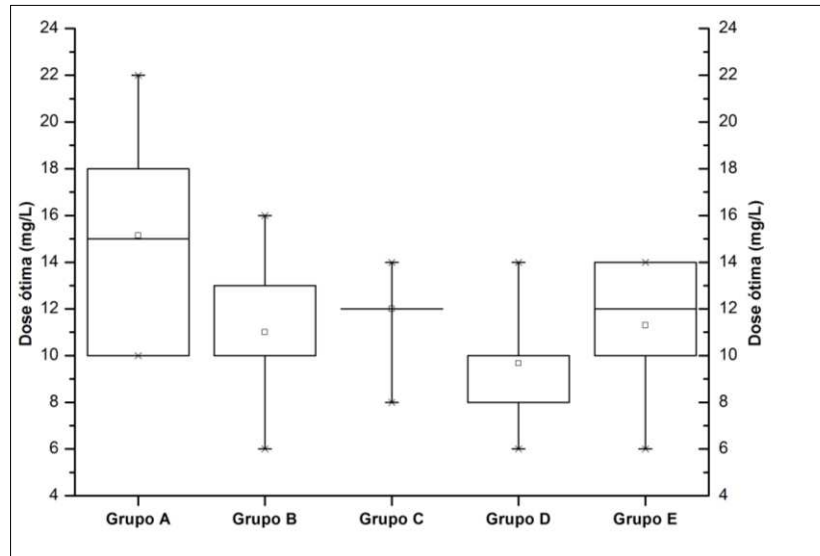
A estatística descritiva dos grupos das quatro variáveis foi resumida em gráficos do tipo “Box Plot” e apresentada nas Figuras 35 a 38.



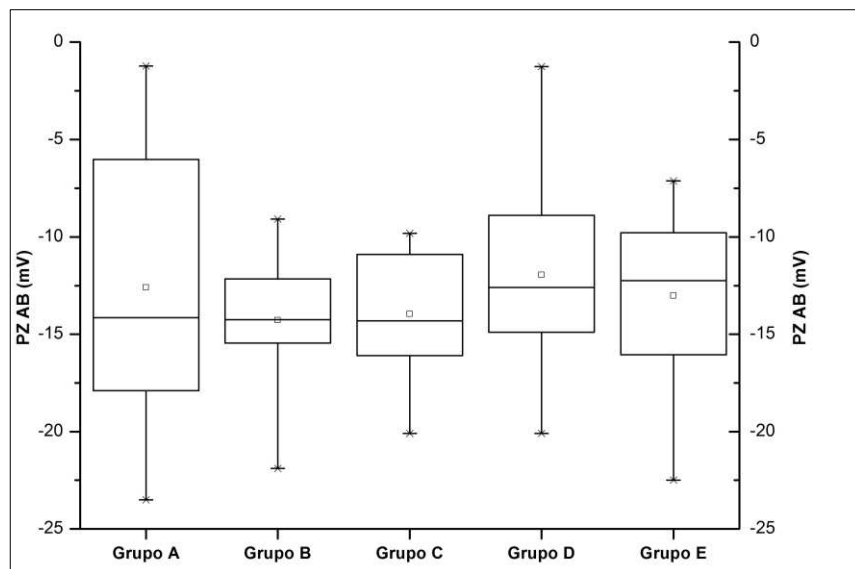
**Figura 35.** Estatística descritiva dos valores de turbidez da água bruta (AB) para os subgrupos dos períodos de seca e chuva. Primeiro e terceiro quartis (limites inferior e superior dos retângulos nos gráficos box-plot); medianas (linhas horizontais internas aos retângulos), valores mínimos e máximos (limites inferior e superior das linhas verticais) e médias (quadrados).



**Figura 36.** Estatística descritiva dos valores de carga elétrica da água bruta (AB) para os subgrupos dos períodos de seca e chuva. Primeiro e terceiro quartis (limites inferior e superior dos retângulos nos gráficos box-plot); medianas (linhas horizontais internas aos retângulos), valores mínimos e máximos (limites inferior e superior das linhas verticais) e médias (quadrados).



**Figura 37.** Estatística descritiva dos valores de dose ótima de coagulante para os subgrupos dos períodos de seca e chuva. Primeiro e terceiro quartis (limites inferior e superior dos retângulos nos gráficos box-plot); medianas (linhas horizontais internas aos retângulos), valores mínimos e máximos ( x nos extremos inferior e superior dos gráficos) e médias (quadrados).



**Figura 38.** Estatística descritiva dos valores de potencial zeta da água bruta (AB) para os subgrupos dos períodos de seca e chuva. Primeiro e terceiro quartis (limites inferior e superior dos retângulos nos gráficos box-plot); medianas (linhas horizontais internas aos retângulos), valores mínimos e máximos (limites inferior e superior das linhas verticais) e médias (quadrados).

Observa-se uma variação mais expressiva entre as medianas da turbidez em relação às demais variáveis, com destaque para a disparidade entre os grupos do período chuvoso e aqueles do período seco. A pequena amplitude dos gráficos de carga das partículas revela oscilações moderadas desta variável ao longo do ano, embora com diferenças estatisticamente significativas.

A dose ótima de coagulante também pouco se alterou ao longo do ano, sendo que as maiores variações ocorreram entre, de um lado, os grupos representativos do período de seca e, de outro, aqueles do período chuvoso. A maior amplitude de variação de doses (Grupo A) ocorreu em período com também ampla variação de turbidez, incluindo meses de chuvas intensas e esporádicas; isso explica tanto a presença de doses tão baixas quanto às aquelas aplicadas no período seco, quanto de valores bem mais altos.

Por fim, nota-se que, embora o intervalo entre os valores de máximo e mínimo do potencial zeta seja bem amplo na maioria dos grupos, 50% das medidas de PZ estiveram abaixo de aproximadamente -13mV em todos os cinco grupos analisados, o que reforça o resultado da análise estatística de que não há diferença entre estas medidas. Infere-se assim, que dificilmente o controle automático de dosagem de coagulante poderia se dar em função das medidas de potencial zeta da água bruta.

As variáveis cujas medidas apresentaram diferenças significativas entre os grupos de meses foram submetidas ao teste de comparações múltiplas de Nemenyi, a fim de descobrir quais pares de grupos diferiam entre si. Os resultados do teste constam na Tabela 3.

**Tabela 3.** Resultados do teste de diferença entre médias das variáveis medidas na água bruta nos subgrupos de períodos de chuva e de seca<sup>1</sup>

Variável	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	Grupo E
Turbidez (uT)	45 <sup>a</sup>	17 <sup>a</sup>	10 <sup>ab</sup>	4,9 <sup>bc</sup>	3,7 <sup>c</sup>
Carga elétrica (ICu)	-2,1 <sup>a</sup>	-1,8 <sup>b</sup>	-2,2 <sup>a</sup>	-2 <sup>ab</sup>	-2,2 <sup>a</sup>
Dose de coagulante (mg/L)	15,1 <sup>a</sup>	11 <sup>ab</sup>	12 <sup>a</sup>	9,7 <sup>b</sup>	11,3 <sup>ab</sup>
Potencial Zeta (mV)	-12,6 <sup>a</sup>	-14,3 <sup>a</sup>	-14 <sup>a</sup>	-11,9 <sup>a</sup>	-13 <sup>a</sup>

(1) Letras minúsculas iguais nas linhas indicam que as médias não diferem entre si pelo teste de Nemenyi ( $p < 0,05$ ).

Mais uma vez, os resultados indicam que as diferenças mais significativas para as variáveis turbidez e dose, ocorrem entre os grupos de meses do período chuvoso e aqueles do período seco e que o mesmo não ocorre para as variáveis carga elétrica e potencial zeta. Assim sendo, infere-se que o controle automático da dosagem de coagulante por meio da análise da carga elétrica na água bruta, tal como do potencial zeta, não se apresenta como uma ferramenta operacional prática já que, analisando a carga elétrica isso poderia implicar mudanças de dose de coagulante, talvez desnecessariamente, em intervalos em que não foram observadas diferenças significativas de doses (entre meses do período de chuvas, por exemplo; ou de seca), ou, de acordo com os resultados para a variável PZ, não seriam necessárias mudanças de dose em período algum.

Em virtude desses resultados, não foi possível estabelecer pares de valores carga - dose (set points) que pudessem ser usados para controlar o processo de coagulação por meio do dispositivo SCD e nem verificar a performance do medidor de cargas no controle da coagulação sob a ótica dos mecanismos de coagulação.

Porém, é de se registrar os resultados do estudo de Nam et al.(2013), em que foi desenvolvido um modelo matemático capaz de prever a dose de coagulante (policloreto de alumínio) indicada pelo SCD como a ótima para neutralizar a carga de amostras de água com diferentes concentrações de caulim (50 ~ 600 uT). As diferenças entre doses estimadas pelo modelo e aquelas determinadas por Jar Test foram no máximo de 3 mg/L e turbidez do sobrenadante (água decantada) manteve-se sempre abaixo de 1 uT. Os autores concluíram que o SCD pode ser utilizado satisfatoriamente para determinar a dosagem de coagulante no tratamento de água de elevada turbidez.

No mesmo sentido, a pesquisa realizada por Dentel et al.(1989) mostrou que o uso do medidor de cargas no controle da dose era praticável já que as doses de coagulante que levaram à melhor remoção de turbidez através dos ensaios de jarros foram também aquelas que aproximaram a leitura de carga da neutralidade. Foi utilizada água sintética, produzida com adição de 300 mg/L de pó de argila em água tamponada, com turbidez inicial variando entre 100 e 200 uT. Segundo os autores, tais valores de turbidez levariam a coagulação para zona combinada de desestabilização por neutralização de cargas e varredura.

Apesar dos resultados encontrados no presente trabalho não respaldarem o controle da coagulação por meio da medição de carga da água bruta, uma vez que não foi possível

estabelecer pares de valores carga – dose, o padrão apresentado pelas variáveis carga elétrica, turbidez e dose nos gráficos das Figuras 27 a 29, juntamente com os resultados apresentados no item 5.3, que também relacionam dose e carga, sugerem que o dispositivo medidor de cargas é sensível a variações das características da água em curtos intervalos de tempo, como por exemplo, durante a adição de coagulante ou flutuações da qualidade da água ao longo de dias subsequentes e, por isso, pode auxiliar no monitoramento da operação das ETA's.

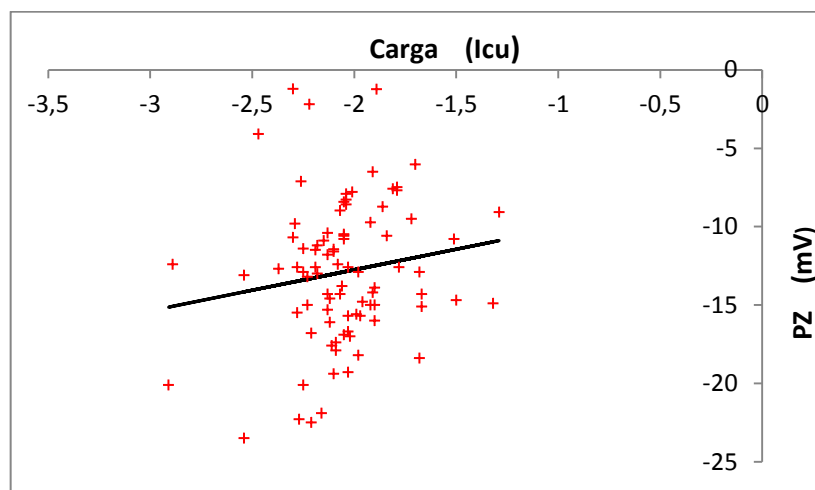
Devido a isso, o medidor de cargas vem sendo empregado na maioria das estações de tratamento de água como auxiliar de monitoramento do processo de coagulação, ou seja, o equipamento avalia a água coagulada e não a bruta, indicando superdosagem ou subdosagem em função de um ponto de ajuste, isto é, de uma dose e carga ótimas pré-determinadas através do teste de jarros. Muitos autores denominam esta técnica de monitoramento como “controle da coagulação por neutralização de cargas”, porém, esta denominação pode levar a uma equivocada associação ao mecanismo de coagulação por adsorção e neutralização de cargas. O termo “neutralização”, neste caso, está vinculado à carga ótima ou ponto de ajuste definida por meio do teste de jarros, onde, oscilações em torno deste valor levam os operadores a ajustar a dose de coagulante para “neutralizar” as diferenças de cargas advindas da variação das características da água bruta ao longo da operação. Isto não quer dizer, necessariamente, que a coagulação se tenha dado por tal mecanismo.

Sibiya (2014) realizou experimento em que a bomba dosadora de coagulante corrigia automaticamente a dose em função das oscilações da leitura de carga da água coagulada em torno do ponto de ajuste, pré-determinado pelo ensaio de jarros, como descrito no parágrafo anterior. O autor concluiu que o controle da dose de coagulante com base no dispositivo SCD tem potencial para otimização da operação de forma eficaz e confiável.

Por fim, Ghernaout et al.(2015) definiram habilmente o uso eficaz do medidor de cargas. Para esses autores, o medidor de cargas deve ser utilizado para correlacionar dose e carga do “melhor jarro” ao ótimo desempenho da estação de tratamento, fornecendo aos operadores, de maneira fácil e rápida, informações sobre a qualidade da operação. Uma vez que esta correlação é determinada, os testes de jarros podem tornar-se menos frequentes, ainda que importantes.

### 5.5. RELAÇÃO ENTRE CARGA E POTENCIAL ZETA

Estudos anteriores como os de Dentel e Kingery (1988), Barron et al. (1994), Edney (2005) e Ghernaout et al. (2015) indicam uma relação proporcional entre as medidas de carga realizada pelo streaming current detector (SCD) e potencial zeta (PZ) ou mobilidade eletroforética (ME). Contudo, os dados obtidos no presente trabalho não confirmam esta premissa (Figura 39). Os resultados do teste de correlação entre PZ e carga reafirmam a hipótese de que não há relação linear entre estas variáveis ( $r = 0,153$ ;  $p = 0,158$ ). Novamente, cabe ressaltar que os dados referentes aos períodos de floração de algas foram excluídos desta análise, pois configuram evento atípico.



**Figura 39.** Diagrama de dispersão carga elétrica versus potencial zeta das amostras de água bruta e reta de regressão linear.

Resultado semelhante foi encontrado por Dentel et al. (1989) e justificado devido à carga negativa dos materiais que compõem o pistão e o cilindro do SCD, em geral Teflon ou polietileno, que podem não ser completamente recobertos pelas partículas como descreve a teoria, ou ainda que as partículas já aderidas em suas superfícies podem repelir as demais.

WASCHE et al. (2002) destacaram a viscosidade do fluido como fator interferente, o que está em acordo com a relação teórica entre PZ e carga, que depende da viscosidade. Os autores mediram o potencial zeta e a corrente de fluxo em suspensões com 1 e 10% dos sólidos  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC e  $\text{Si}_3\text{N}_4$  e encontraram relação linear entre PZ e carga. Os coeficientes de correlação foram superiores a 0,99 para as suspensões com 1% de sólidos; para as suspensões

com 10% de sólidos, os coeficientes de correlação foram ligeiramente inferiores, devido à influência do aumento da viscosidade.

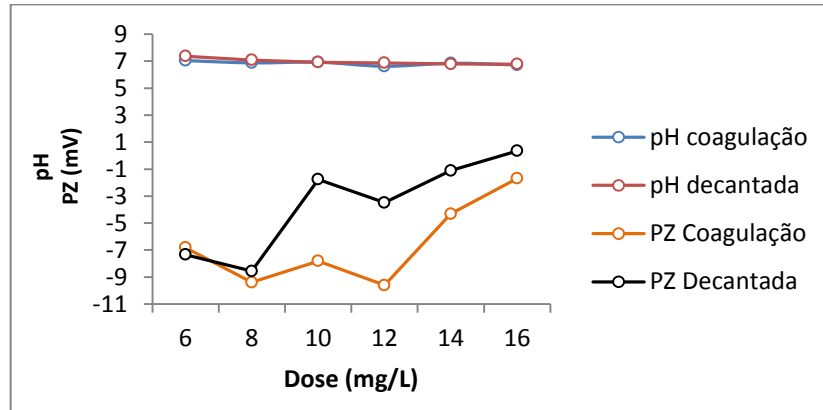
Ainda que os resultados do presente trabalho não tenham indicado linearidade entre PZ e carga elétrica, nota-se que o comportamento destas duas variáveis é bastante semelhante quando submetidas às mesmas condições. A Figura 17 do item 5.1 mostra como PZ e carga elétrica reagem à variação da turbidez da água bruta: à medida que a turbidez aumenta ou decresce, o mesmo tende a ocorrer com a carga elétrica e o PZ. As Figuras 22 e 23 do item 5.3 também mostram variação semelhante do PZ e da carga elétrica das partículas em função da dose de coagulante para dois testes de jarros. Como já destacado, incremento na dose de coagulante leva à diminuição da carga e PZ das partículas, ou seja, tendem a neutralidade, uma vez que íons de carga positiva são inseridos ao meio contrabalaneando a carga total da dispersão.

Para Dentel et al. (1989), o SCD fornece informações importantes sobre o grau de desestabilização de uma suspensão particulada mesmo que a medida não seja diretamente proporcional a mobilidade eletroforética ou PZ, pois o controle adequado da coagulação requer apenas que a dose ótima de coagulante corresponda a um valor único de carga. Porém, os autores ressaltam que podem ocorrer situações em que para diferentes doses de coagulante se obtenha o mesmo valor de carga.

## 5.6. RELAÇÃO ENTRE ÁGUA COAGULADA E ÁGUA DECANTADA

Conforme explicado no item 4 deste trabalho, em função do local de instalação do sensor do equipamento medidor de cargas e do volume de água necessário para a medição, a análise das medidas de carga foi feita nas amostras de água decantada e não, na água coagulada (logo após a mistura rápida). Assim, prudentemente, procurou-se comparar outros parâmetros, como pH e potencial zeta, cujas análises puderam ser feitas em ambas as amostras (de água decantada e de água coagulada), a fim de verificar se existiam diferenças significativas entre esses valores. O objetivo desta comparação era de respaldar a possibilidade de se assumir que os resultados encontrados para a carga da água decantada pudessem ser estendidos à água coagulada.

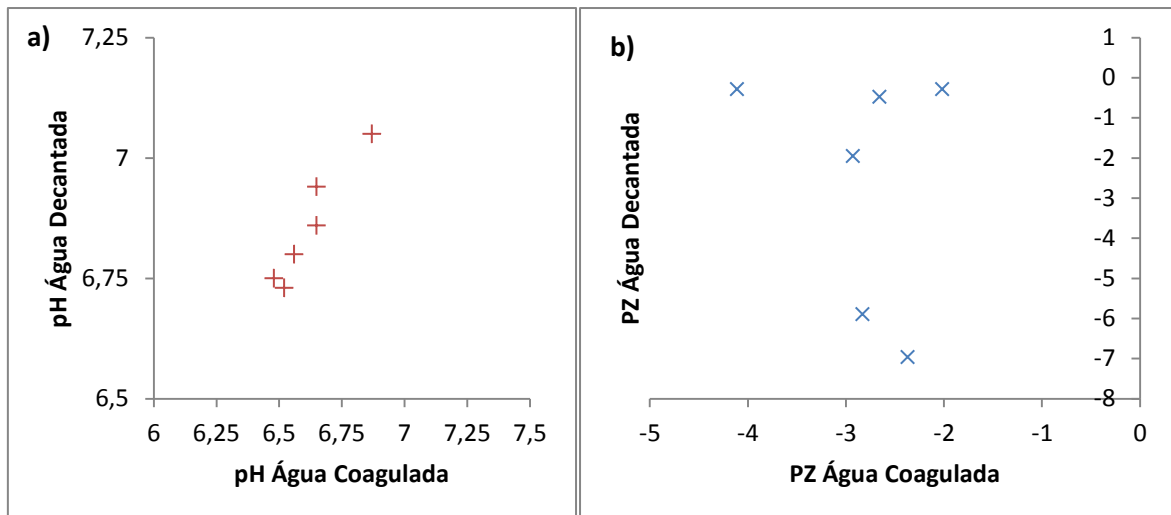
A Figura 40 mostra dados de um ensaio específico de jarros (16/01/2018). Nota-se que os valores de pH das amostras de água decantada e de água coagulada foram praticamente os mesmos.



**Figura 40.** Variação do pH e do potencial zeta da água coagulada e da água decantada em função da dose de coagulante. Data do Jar test: 16/01/2018. Água bruta: pH=6,86; temperatura 25,7<sup>0</sup>C; PZ=12,4 mV. Temperatura média água coagulada= 24,3<sup>0</sup>C e da água decantada=24,7<sup>0</sup>C.

Os valores de PZ das amostras de água coagulada e de água decantada também se mostraram próximos entre si, embora com diferenças um pouco mais largas em doses mais elevadas de coagulante (no caso, a partir de 8 mg/L), sendo as medidas da água decantada um pouco menos eletronegativas. Infere-se que isso se deva, nas amostras de água decantada, à completude das reações do coagulante, bem como do mecanismo de neutralização de cargas.

Os valores de pH das amostras de água decantada e de água coagulada revelaram uma relação de proporcionalidade, linear ( $r = 0,959$ ), mas os valores de PZ não ( $r = 0,264$ ) (Figura 41) (ver também Apêndice D).



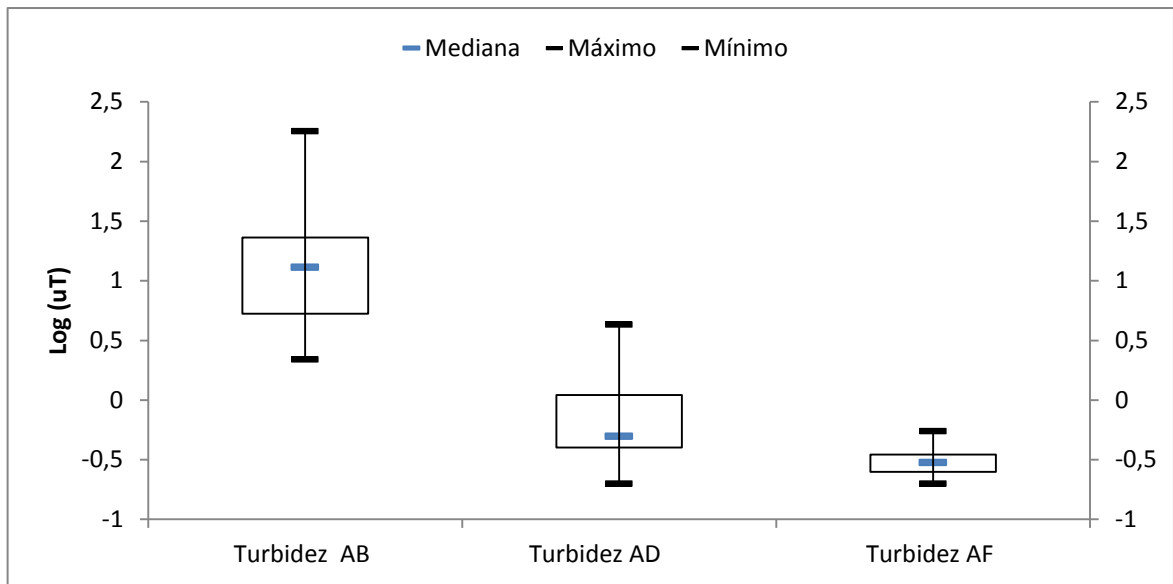
**Figura 41.** (a) pH água coagulada vs. pH água decantada.; (b) PZ água coagulada vs. PZ água decantada. Data do Jar test: 18/01/2018.

Estes resultados servem de alerta para que as conclusões aqui obtidas base em análises de carga da água decantada (medidor de cargas) não sejam generalizadas para a água coagulada.

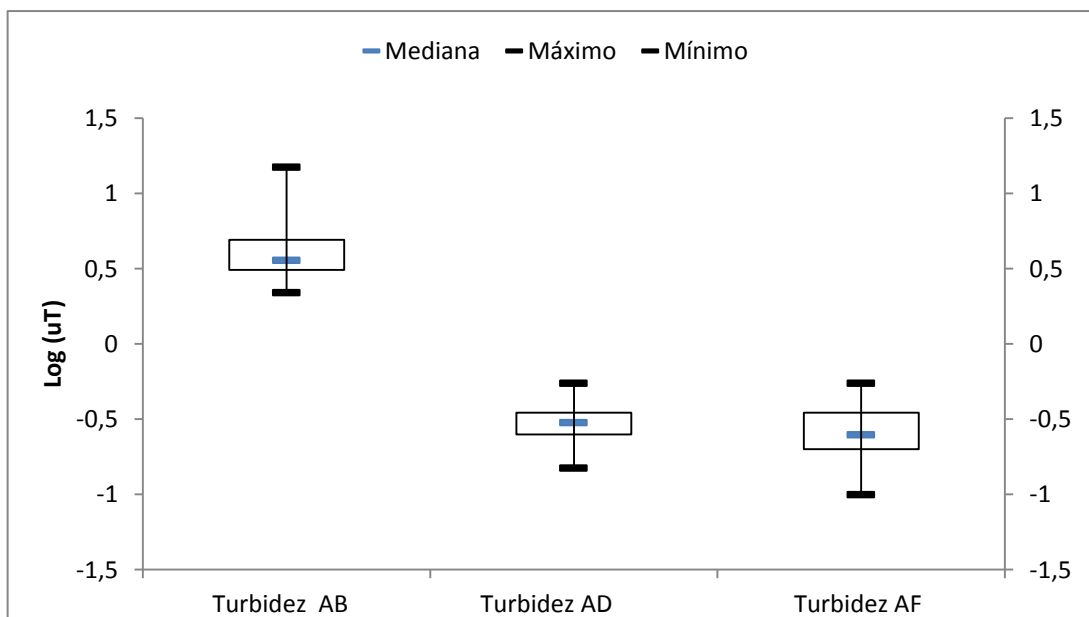
### 5.7. INFLUÊNCIA DA CARGA NA EFICIÊNCIA DA FILTRAÇÃO

Como visto no item 3.7, quando as partículas suspensas e coloidais e os grãos do meio filtrante possuem potencial zeta de mesmo sinal, a interação entre as duplas camadas elétricas dificulta o mecanismo de adesão que combina as forças eletrostáticas e de van der Waals, reduzindo a eficiência da etapa de filtração. Como os materiais que usualmente compõem os leitos filtrantes apresentam potencial zeta negativo, é conveniente para uma boa filtração que os flocos estejam suficientemente desestabilizados.

As Figuras 42 e 43 incluem resultados dos testes de jarros respectivamente para os períodos de chuva e seca: turbidez (log) da água bruta (AB) e da água decantada (AD) dos melhores jarros (menor turbidez da água decantada), e da água filtrada (AF) referente a estes jarros. Em ambos os casos a variação natural da turbidez da água bruta foi bem absorvida na decantação. Cumpre registrar que os ensaios de jarros foram realizados simulando o tratamento na ETA UFV, que apresenta tempo de detenção no decantador elevadíssimo (portanto, elevada taxa aplicação superficial) e isso explica a elevada remoção de turbidez na decantação mesmo no período de seca.



**Figura 42.** Representação gráfica da estatística descritiva dos dados de turbidez da água bruta (AB), água decantada dos melhores jarros (AD) e água filtrada destes jarros (AF) no período de chuva.

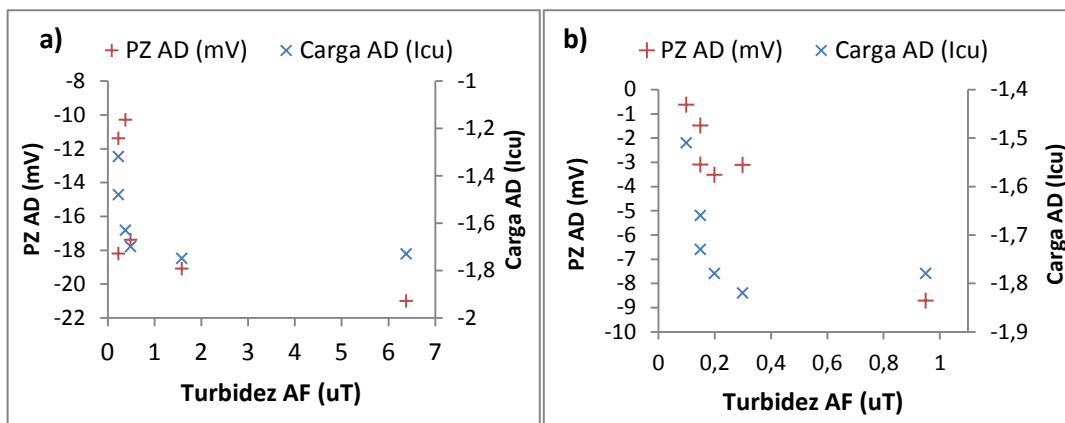


**Figura 43.** Representação gráfica da estatística descritiva dos dados de turbidez da água bruta (AB), água decantada dos melhores jarros (AD) e água filtrada destes jarros (AF) no período de seca.

Ao analisar os gráficos da Figura 44, é possível perceber que, de maneira geral, à medida que a carga elétrica e potencial zeta das partículas se aproximam da neutralidade, a turbidez da

água filtrada decresce, inclusive durante o período de chuvas. Embora este comportamento não seja padrão, pode ser observado em grande parte dos resultados dos testes de jarros, (ver Apêndice E).

Enfim, em seu conjunto os dados aqui apresentados reforçam a importância da adequada desestabilização das partículas, tanto para a decantação, quanto para a filtração, no pressuposto que possa ter ocorrido, em ambos os períodos, a combinação de mecanismos de neutralização de cargas e de varredura.



**Figura 44.** Correspondência entre carga elétrica e potencial zeta (PZ) da água decantada (AD) e turbidez da água filtrada (AF). (a) Data 07/12/17- Período chuvoso, turbidez inicial 113 uT e (b) Data 16/08/18- Período seco, turbidez inicial 5 uT.

## 6. CONCLUSÕES

Uma das premissas deste trabalho era que se pudessem identificar amplitudes de variação de carga elétrica da água bruta associada a uma dada amplitude de turbidez da água bruta que, efetivamente, acarretariam alterações na dose de coagulante. Em outras palavras, procurava-se estabelecer set points no equipamento medidor de cargas que pudessem nortear a escolha da dose de coagulante, como alternativa mais rápida e menos laboriosa que os ensaios de jarros. Porém, essa premissa não foi confirmada, pois (i) não se encontrou correlação entre turbidez e carga elétrica, nem entre dose ótima e carga; (ii) diferenças significativas entre valores de turbidez da água bruta e doses de coagulante em diversas épocas do ano não foram acompanhadas por diferenças entre medidas de carga e de potencial zeta. Conclui-se, assim, que a medida de carga, bem como de potencial zeta, não é capaz de indicar variações na qualidade da água bruta que requeiram alteração na dose de coagulante.

Contrariamente a pressupostos teóricos e resultados de outros trabalhos, não foi encontrada relação de proporcionalidade entre as medidas de carga elétrica e de potencial zeta. Ressalva-se que, neste trabalho, foi utilizada água bruta “real”, diferente da maioria dos trabalhos, onde esta relação foi testada com águas cujas principais características como pH e turbidez eram controladas.

Não obstante, as medidas de carga, bem como de potencial zeta, se mostraram bastante sensíveis à variação da dose de coagulante, sendo que com incrementos da dose os valores de carga e de potencial zeta tenderam à neutralidade. As maiores eficiências de remoção de turbidez na decantação se deram em valores de carga em torno de -1,93 e -0,39 ICu e de potencial zeta entre - 22,1 e 0,345 mV no período de chuva e, entre -0,12 e -1,84 ICu (carga) e entre - 8,63 e - 0,07 mV (potencial zeta) durante o período seco. Adicionalmente, em geral, a remoção de turbidez na filtração foi melhor quando as medidas de carga e de potencial zeta da água afluyente aos filtros se aproximaram da neutralidade. Respalda-se, assim, o uso mais corriqueiro do equipamento SCD: medição de carga da água coagulada e acompanhamento de sua oscilação em torno do valor correspondente à dose ótima, pré-definida em ensaio de jarros. Dessa forma, os testes de jarros podem se tornar menos frequentes, ainda que indispensáveis.

## 7. REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22<sup>nd</sup> ed. Washington, D.C.: APHA; AWWA; WEF, 2012.

AMIRTHARAJAH, A; MILLS, K.J. Rapid-mix design for mechanism of alum coagulation. **Journal of the American Water Works Association**, v.74, n. 4, p. 210-216, 1982.

BARRON, W.; MURRAY, B. S.; SCALES, P. J.; HEALY, T.W.; DIXON, D. R.; PASCOE, M. The streaming current detector: a comparison with conventional electrokinetic techniques. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 88, p. 129-139, 1994.

BROOKE, D.; RIBEIRO, D.; RODRIGUES, L.; CAMPOS, M.; MENDES, R.; **Algas e seus impactos em sistemas de tratamento de águas para abastecimento: estudo de caso sistema Guarapiranga**. Universidade de São Paulo – USP. Escola Politécnica - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária - PHD. 2008.

DENTEL, S.K. Coagulant control in water treatment. **Critical Reviews in Environmental Control**, v. 21,n.1, p. 41-135, 1991.

DENTEL, S.K; THOMAS, A. V.; KINGERY, K. M. Evaluation of streaming current detector-I: Use in jar tests. **Water Research**, v. 23, n. 4, p. 413-421, 1989.

DENTEL, S.K; KINGERY, K. M. An evaluation of streaming current detectors. **American Water Works Association Research Foundation**. Department of Civil Engineering, University of Delaware Newark. Denver, 1988.

DERJAGUIN, B.; LANDAU, L. Theory of the Stability of Strongly Charged Lyophobic Sols and of the Adhesion of Strongly Charged Particles in Solutions of Electrolytes. **Progress in Surface Science**. v. 43, p. 30-59, 1993.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2<sup>a</sup> edição. São Carlos: RiMa, v.1, 2005.

**DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N.** Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. **São Carlos: LDiBe, 2011.**

DI BERNARDO, L.; PAES, C. R. A. P. Efeito da Acidez da Solução de Sulfato de Alumínio na Coagulação. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 1, n.4, p. 144-151, 1996.

EDNEY, D. **Introduction to the theory of the streaming current meter**. 10 p., 2005.

ELICKER, M. L.; RESTA, J. J.; HUNT, J. W.; DENTEL, S. K. **Chemical Water and Wastewater Treatment II**. Springer Verlag, Berlin, 1992.

FULBRIGHT, B.; VAISMAN, A.; KRUMRINE, H.; WATSON, K.; MORFESIS, A. **Online Zeta Potential Measurement Provides Water Treatment**. *Water World*. 2015. Disponível em: < <http://www.waterworld.com>>. Acesso em: 30 Setembro 2017.

GHERNAOUT, D.; AL-GHONAMY, A. I.; NACEUR, M. W.; BOUCHERIT, A.; MESSAOUDENE, N. A.; AICHOUNI, M.; MAHJOUBI, A. A.; ELBOUGHDIRI, N. A.; Controlling Coagulation Process: From Zeta Potential to Streaming Potential. **American Journal of Environmental Protection**. v. 4, p. 16-27, 2015.

GHERNAOUT, D.; GHERNAOUT, B. Sweep flocculation as a second form of charge neutralisation- A review. **Desalination and Water Treatment**, v. 44, p.15-28, 2012.

HENDERSON, R.; PARSONS, S.A.; JEFFERSON, B. The impact of algal properties and preoxidation on solid-liquid separation of algae. **Water Research**. v. 42, p. 1827-1845, 2008.

HUBBE, M.A.; CHEN, J. Charge-Related Measurements – A Reappraisal. Part 1. Streaming Current. **Paper Technology**, North Carolina State University, Department of Wood and Paper Science, 2004.

IVES, K.J; CLEASBY, J. L. Filtration of water and wastewater. **Critical Reviews in Environmental Control**, v.2, n.1-4, p.293-335, 1972.

MALVERN MATERIAL RELATIONSHIP. **Water treatment solutions**, 2017. Disponível em: <[https://www.malvern.com/en/assets/MRK2254\\_tcm22-29130.pdf](https://www.malvern.com/en/assets/MRK2254_tcm22-29130.pdf)>. Acesso em: 1 Setembro de 2017.

MORFESIS, A.; JACOBSON, A. M.; FROLLINI, R.; HELGESON, M.; BILLICA, J.; GERTIG, K. R. Role of Zeta Potential in the Optimization of Water Treatment Facility Operations. **Industrial and Engineering Chemistry Research**. v 48, p. 2305–2308, 2009.

NAM, S.W.; JO, B.I.; KIM, M. K.; KIM, W.K.; ZOH, K. D. Streaming current titration for coagulation of high turbidity water. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. v. 419, p. 133-139, 2013.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento)-Escola de Engenharia de São Carlos- Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SANTOS, E. P. C. C.; TEIXEIRA, A. R.; ALMEIDA, C. P.; LIBÂNIO, M.; PÁDUA V. L. Estudo da coagulação aplicada à filtração direta descendente. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 12, n. 4, p. 361-370, 2007.

SARI, V.; PEREIRA, M. A.; CASTRO, N.M.R.; KOBIYAMA, M. Efeitos do tamanho da partícula e da concentração de sedimentos suspensos sobre a turbidez. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 22, n.2, p. 213-219, 2017.

SHARP, E.L.; BANKS, J.; BILLICA, J.A.; GERTIG, K.R. Application of zeta potential measurements for coagulation control:pilot-plant experiences from UK and US waters with elevated organics. **Water Science and Technology: Water Supply**. v. 5, p. 49-56, 2005.

SIBIYAA, S. M. Evaluation of the streaming current detector (SCD) for coagulation control. **Procedia Engineering**. v. 70, p. 1211-1220, 2014.

SILVA, B. M. R.; PAULA, J.G.T. **Avaliação de desempenho e proposta de adequação da estação de tratamento de água da Universidade Federal de Viçosa**. Projeto final de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

TREFALT, G.; BORKOVEC, M. **Overview of DLVO theory**. Laboratory of Colloid and Surface Chemistry (LCSC) University of Geneva. 2014. Disponível em: <<http://www.colloid.ch/dlvo>>. Acesso em: 5 setembro 2017.

VARGAS, D. L. **Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida Manual I: Teoría Tomo I**. CEPIS/OPS, Lima, 2004.

VENEU, D. M.; SILVA, M. P. M.; DI SALVIO, A. M.; DELPHINO, I. A. Z. Tratamento de água eutrofizada através dos processos de pré-oxidação, coagulação e floculação. **Engevista**. v. 17, n. 2, p. 175-186, 2015

WALKER, C. A.; KIRBY, J. T. DENTEL, S. K. The Streaming Current Detector: A Quantitative Model. **Journal of colloid and interface science**. v. 182, p. 71-81, 1996.

WASCHE, R.; NAITO, M.; HACKLEY, V.A. Experimental study on zeta potential and streaming potential of advanced ceramic powders. **Powder Technology**. v. 123, p. 275-281, 2002.

WIMMER, A. C. S. **Aplicação do processo eletrolítico no tratamento de efluentes de uma indústria petroquímica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais). Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2007.

**APÊNDICE A: DADOS DAS ANÁLISES REFERENTES À ÁGUA BRUTA.**

<b>Data</b>	<b>Vazão (L/s)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (lcu)</b>	<b>PZ (mV)</b>	<b>Condutividade (ms/cm)</b>
06/12/2017	31	160	-	6,35	-	-2,94	-	-
07/12/2017	27,5	110	-	6,55	-	-2,54	-23,5	-
08/12/2017	21	95	-	6,55	-	-2,27	-22,3	0,072
12/12/2017	27,5	23	-	7,11	-	-2,09	-17,9	0,079
13/12/2017	29	19	-	7,54	-	-2,22	-2,2	0,0811
19/12/2017	27,5	8	-	7,34	-	-2,3	-1,22	0,0856
20/12/2017	25,5	7,2	-	7,97	-	-2,47	-4,1	0,0908
11/01/2018	32,5	13	11,7	6,9	25,1	-2,91	-20,1	0,0797
16/01/2018	23	3,5	11,4	6,86	25,7	-2,89	-12,4	0,074
18/01/2018	23	2,9	7,4	7,11	24,9	-2,29	-9,82	0,0757
23/01/2018	32,5	4,8	12,8	7,38	25,5	-2,18	-11,2	0,0802
07/02/2018	30	18	15,3	6,86	23,1	-1,29	-9,08	0,074
08/02/2018	30	45	21,9	7	22,4	-1,91	-14,2	0,0689
16/02/2018	31	5,6	9,4	7,23	25,3	-2,25	-11,4	0,0733
24/02/2018	30	4,2	9,4	7,17	25,7	-1,67	-14,3	0,0743
26/02/2018	31	3,4	14	7,9	25	-1,92	-9,74	0,0743
05/03/2018	33,5	3,7	2,5	7,19	24,5	-1,79	-7,49	0,0783
06/03/2018	30	5,3	5,6	7,33	25,7	-1,7	-6,03	0,0741
12/03/2018	32,5	18	2,2	8,27	25,4	-1,67	-15,1	0,0733
13/03/2018	33,5	34	8,2	7,04	25	-1,97	-15,7	0,0724
19/03/2018	33,5	4,7	2,8	7,53	26	-2,19	-12,6	0,0788
20/03/2018	32,5	6,7	8	7,46	25,4	-2,23	-13,2	0,075
23/03/2018	33	180	16,3	7,67	23,5	-1,98	-18,2	0,0659
26/03/2018	31	110	12,7	7,25	23,8	-2,03	-16,7	0,0718

<b>Data</b>	<b>Vazão (L/s)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (Icu)</b>	<b>PZ (mV)</b>	<b>Condutividade (ms/cm)</b>
09/04/2018	35	21	10,6	6,93	23,9	-2,16	-21,9	0,0696
16/04/2018	42,5	7,1	7,5	7,55	24	-1,9	-13,9	0,0702
23/04/2018	33,5	6	9,8	7,52	21,3	-1,32	-14,9	0,0773
26/04/2018	35	2,2	4,4	7,66	24,5	-1,5	-14,7	0,0801
02/05/2018	32,5	3,1	2,9	7,8	21,2	-1,51	-10,8	0,0782
04/06/2018	32,5	3,1	6	7,57	23	-1,81	-7,59	0,075
06/06/2018	33,5	4,6	-	7,11	22,3	-1,91	-6,5	0,091
09/06/2018	31	3,1	8	7,41	20,2	-1,89	-1,25	0,0697
11/06/2018	33,5	2,2	12	7,31	21,3	-1,79	-7,7	0,0692
14/06/2018	50	4,9	19	7,4	21	-2,08	-12,4	0,0698
16/06/2018	32,5	2,4	12	7,64	20,3	-1,92	-15	0,0776
18/06/2018	45,5	2,8	15	7,63	19,8	-2,05	-10,5	0,0695
21/06/2018	33,5	7,3	10	7,31	19,4	-2,18	-13	0,0705
25/06/2018	32,5	3,6	6	7,04	19	-2,05	-10,8	0,0727
28/06/2018	36	6,5	7	7,12	19,8	-2,12	-14,6	0,0699
30/06/2018	49,5	14	7	6,87	19,5	-2,25	-20,1	0,0738
03/07/2018	51	4,1	-	7,41	18,8	-2,23	-15	0,0712
06/07/2018	32,5	2,8	9	6,77	17,7	-1,9	-15	0,0737
09/07/2018	32,5	4,6	14	6,9	18,6	-2,28	-12,6	0,0708
13/07/2018	31	4,3	7	6,54	17,7	-2,04	-8,29	0,0661
17/07/2018	32,5	5,7	14	7,22	19	-2,07	-14,3	0,0698
19/07/2018	50	3,2	13	7,38	18,9	-2,33	-11	0,0655
24/07/2018	-	4,4	5	7,03	19,5	-2,31	-12	0,0689
26/07/2018	27,5	6	5	7	19,6	-1,84	-14	0,0708
31/07/2018	-	5,4	9	6,79	19,4	-2,17	-11,5	0,0691
02/08/2018	30	7,5	-	6,59	19,9	-2,19	-9,31	0,0739
07/08/2018	31	12	13	6,61	19,5	-2,24	-16,9	0,0752

Data	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)	Cor Verd. (uC)	pH	Temperatura (°C)	Carga (Icu)	PZ (mV)	Condutividade (ms/cm)
14/08/2018	54	5,2	13	7	19,3	-1,96	-14,8	0,0777
22/08/2018	57	4,1	6	6,98	20,1	-2,04	-7,92	0,0821
24/08/2018	38,5	3,5	19	7,5	20,3	-2,03	-15,7	0,0816
27/08/2018	35	2,7	14	7,19	20	-1,72	-9,51	0,083
29/08/2018	32,5	3,3	3	7,55	20,5	-1,98	-12,9	0,0807
31/08/2018	37,5	3	23	7,75	21,7	-2,1	-11,6	0,0868
03/09/2018	57	3,5	29	8,76	22,4	-2,02	-13,7	0,0888
05/09/2018	30	3,3	23	7,66	21,9	-2,25	-10,8	0,0978
08/09/2018	30	4,3	-	7,55	19,9	-2,03	-12,6	0,0799
10/09/2018	57	4,4	66	7,37	19,4	-2,04	-8,6	0,0857
12/09/2018	29	2,8	9	7,49	20,4	-2,3	-10,7	0,0832
14/09/2018	30	4	0	7,38	21,7	-2,05	-8,42	0,0844
17/09/2018	32,5	3,7	65	8,65	22,2	-2,1	-19,4	0,0817
19/09/2018	32,5	3,9	0	7,12	22,8	-2,05	-10,6	0,0805
21/09/2018	-	3,3	48	7,31	23,1	-2,03	-19,3	0,0818
24/09/2018	33,5	5,7	11	7,72	23,6	-2,21	-22,5	0,0861
26/09/2018	31	3,6	30	7,28	24,1	-1,86	-8,74	0,0847
28/09/2018	31	3,3	17	7,27	25,4	-2,21	-16,8	0,0823
01/10/2018	33,5	3	4	7,4	25	-2,13	-15,3	0,0858
02/10/2018	29	3,4	15	7,2	24,9	-2,1	-11,45	0,0845
08/10/2018	30	3,5	2	7,62	23,4	-2,06	-13,8	0,0837
10/10/2018	46,5	3,6	19	7,42	25,9	-2,37	-12,7	0,0854
13/10/2018	32,5	3,3	0	7,4	25	-2,07	-8,98	0,0933
16/10/2018	52,5	4,8	-	7,3	24,7	-2,25	-12,9	0,0867
18/10/2018	52,5	2,3	-	7,56	21,6	-2,09	-17,4	0,107
22/10/2018	35	4,6	11	7,75	23,1	-2,13	-11,8	0,0831
24/10/2018	35	3,1	-	7,4	23,2	-2,54	-13,1	0,0842
26/10/2018	31	2,3	-	7,76	21,3	-2,01	-7,8	0,0821

<b>Data</b>	<b>Vazão (L/s)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (Icu)</b>	<b>PZ (mV)</b>	<b>Condutividade (ms/cm)</b>
29/10/2018	33,5	3,3	20	7,44	22,4	-2,19	-11,5	0,0839
05/11/2018	33,5	3,9	16	7,28	24,3	-2,15	-10,9	0,0844
07/11/2018	31	4,1	10	7,21	23,1	-2,13	-10,4	0,0811
09/11/2018	32,5	15	0	7,28	22,7	-1,84	-10,6	0,0816
12/11/2018	32,5	16	27	6,84	22,7	-1,99	-15,6	0,0792
14/11/2018	31	11	26	7,23	23,8	-2,12	-16,1	0,0835
16/11/2018	32,5	5,9	11	7,31	24,1	-2,28	-15,5	0,0746
18/11/2018	32,5	25	31	7	23,9	-2,11	-17,6	0,0816
21/11/2018	31	16	30	7,04	21,5	-2,13	-14,3	0,0764
26/11/2018	33,5	9,9	5	7,09	22,7	-2,05	-16,9	0,0713

**APÊNDICE B: DADOS DAS ANÁLISES REFERENTES À ÁGUA DECANTADA.**

<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
06/12/2017	16	8,10	-	-	-	-	-	-
	18	8,40	-	-	-	-	-	-
	20	4,30	-	-	-	-	-	-
	22	5,40	-	-	-	-	-	-
	24	8,50	-	-	-	-	-	-
	26	5,60	-	-	-	-	-	-
07/12/2017	12	11,00	-	5,2	-	-1,73	-21	0,0739
	14	3,20	-	6,44	-	-1,75	-19,1	0,062
	16	2,20	-	6,41	-	-1,7	-17,4	0,0759
	18	2,10	-	6,34	-	-1,63	-10,3	0,0748
	20	1,10	-	6,25	-	-1,48	-11,4	0,0747
	22	2,60	-	6,2	-	-1,32	-18,2	0,0785
08/12/2017	12	11,00	-	6,8	-	-1,5	-19,8	0,0729
	14	3,50	-	6,4	-	-1,55	-18,1	0,0778
	16	2,70	-	6,37	-	-1,44	-17,3	0,0746
	18	3,00	-	6,27	-	-1,34	-11,7	0,0816
	20	3,90	-	6,16	-	-1,12	-15	0,0598
	22	1,40	-	6,13	-	-0,98	-22,1	0,0814
12/12/2017	8	25,00	-	7,25	-	-1,9	-19,4	0,0797
	10	5,80	-	6,25	-	-1,82	-11,1	0,0789
	12	2,30	-	6,7	-	-1,7	-4,15	0,0804
	14	1,30	-	6,59	-	-1,68	-5,68	0,0843
	16	1,60	-	6,68	-	-1,61	-1,51	0,0848
	18	0,85	-	6,67	-	-1,42	-0,16	0,0852

Data	Dose (mg/L)	Turbidez (uT)	Cor Verd. (uC)	pH	Temperatura (°C)	Carga (ICu)	PZ (mv)	Contutividade (ms/cm)
13/12/2017	12	7,70	-	7,41	-	-1,59	-2,78	0,0085
	14	6,90	-	7,22	-	-1,49	-0,387	0,0851
	16	5,60	-	7,08	-	-1,43	-1,39	0,0862
	18	6,90	-	6,92	-	-1,41	-1,15	0,0869
	20	6,10	-	6,9	-	-1,26	-0,917	0,0866
	22	2,10	-	6,87	-	-1,14	-1,13	0,0877
19/12/2017	6	7,80	-	7,24	-	-1,9	-5,35	0,0872
	8	3,10	-	7,15	-	-2	-3,84	0,095
	10	1,50	-	7,03	-	-2,01	-1,98	0,0955
	12	1,40	-	6,93	-	-1,93	-0,7	0,0947
	14	1,90	-	6,85	-	-1,81	-1,31	0,0949
	16	1,40	-	6,78	-	-1,65	-0,799	0,0921
20/12/2017	12	1,40	-	7,2	-	-1,76	-1,81	0,0899
	14	0,70	-	7,03	-	-1,88	-4,52	0,0935
	16	0,65	-	6,94	-	-1,82	-2,63	0,0917
	18	1,00	-	6,88	-	-1,73	-1,06	0,0955
	20	1,20	-	6,84	-	-1,65	-3,38	0,0973
	22	0,90	-	6,77	-	-1,49	0,58	0,095
11/01/2018	6	0,5	4,8	7,07	25,4	-1,99	-1,79	0,081
	8	0,3	2,8	6,66	24,5	-1,81	-1,07	0,0834
	10	0,5	1,6	6,6	24,5	-1,83	-1,33	0,09
	12	0,4	5,1	6,52	24,4	-1,73	-0,399	0,088
	14	0,4	3,7	6,49	24,5	-1,54	-0,114	0,0894
	16	0,6	2,1	6,49	24,6	-1,3	-0,0356	0,0861

Data	Dose (mg/L)	Turbidez (uT)	Cor Verd. (uC)	pH	Temperatura (°C)	Carga (ICu)	PZ (mv)	Contutividade (ms/cm)
16/01/2018	4	3,6	5,7	7,37	28,8	-2,11	-7,34	0,0749
	6	0,9	5,2	7,08	26,1	-2,22	-8,56	0,0707
	8	0,5	5	6,92	26,1	-2,15	-1,76	0,0733
	10	0,5	4,5	6,87	26	-1,87	-3,49	0,076
	12	0,5	5	6,79	26	-1,81	-1,11	0,0803
	14	0,4	6	6,78	26,4	-1,76	-0,345	0,0805
18/01/2018	6	0,70	1,8	7,05	24,1	-1,93	-6,96	0,0765
	8	0,50	0,7	6,94	24,3	-1,92	-5,89	0,0793
	10	0,50	1	6,86	24,3	-1,84	-0,286	0,0787
	12	0,35	1,3	6,8	24,8	-1,68	-1,95	0,081
	14	0,50	2,2	6,73	24,8	-1,57	-0,473	0,0797
	16	0,40	1	6,75	25	-1,46	-0,285	0,0815
23/01/2018	6	1,00	8	7,24	24,8	-1,35	-3,94	0,0805
	8	0,65	11,1	7,17	24,7	-1,42	-2,69	0,0795
	10	0,55	11,9	7,06	24,8	-1,38	-1,57	0,0851
	12	0,50	9,3	7,07	24,9	-1,25	-1,39	0,0855
	14	0,55	9,3	7,07	24,8	-1,22	-0,439	0,0848
	16	0,75	11,1	7,06	24,7	-1,13	-0,512	0,0855
07/02/2018	2	3,60	5,3	6,82	23,4	-0,61	-2,75	0,0734
	4	0,80	11,8	6,79	23,4	-0,5	-1,35	0,0747
	6	0,70	5,9	6,75	23,3	-0,39	-1,08	0,076
	8	0,75	4,2	6,71	23,3	-0,26	-1,01	0,0755
	10	1,30	9,5	6,54	23,4	0,08	-0,416	0,0792
	12	2,30	11,1	6,51	23,4	0,24	-0,0261	0,0813

Data	Dose (mg/L)	Turbidez (uT)	Cor Verd. (uC)	pH	Temperatura (°C)	Carga (ICu)	PZ (mv)	Contutividade (ms/cm)
08/02/2018	6	1,20	4,2	6,98	21,6	-0,89	-2,13	0,0721
	8	0,70	7,2	6,84	21,7	-0,81	0,39	0,071
	10	0,65	10,5	6,79	21,8	-0,79	-0,509	0,0736
	12	0,90	7,9	6,72	22,3	-0,75	-0,185	0,0736
	14	0,95	9,4	6,63	22,4	-0,6	-0,989	0,0745
	16	1,10	11,5	6,57	22,5	-0,5	-0,717	0,0751
16/02/2018	4	3,10	6,2	7,2	25,4	-1,69	-11,5	0,0704
	6	1,00	4,8	7,22	25,2	-1,73	-4,07	0,074
	8	0,45	8,6	7,13	25,4	-1,65	-2,04	0,0743
	10	0,45	5,1	7,07	25,4	-1,5	-3,58	0,0735
	12	0,45	6	7,02	25,4	-1,37	-0,79	0,0781
	14	0,45	4,2	6,97	25,8	-1,21	-0,498	0,0772
24/02/2018	4	1,30	7,9	8,47	24,7	-1,3	-0,761	0,0757
	6	0,65	9	8,33	24,7	-1,37	-2,12	0,0752
	8	0,50	4,8	8,18	24,7	-1,38	-0,528	0,0765
	10	0,35	4,3	8,03	25,1	-1,34	-0,456	0,0784
	12	0,35	5	7,97	25	-1,2	-0,977	0,0788
	14	0,30	1,5	7,83	24,9	-0,62	-0,558	0,0858
26/02/2018	6	0,55	10,1	7,11	25,1	-0,93	-0,179	0,0782
	8	0,45	10,6	7,14	25,1	-1,03	-0,918	0,094
	10	0,35	12	7,12	25,1	-0,84	-1,83	0,0852
	12	0,35	10,5	7,06	25,2	-0,79	-1,66	0,0825
	14	0,35	10,1	6,98	25,3	-0,7	-0,67	0,0814
	16	0,65	11,1	6,9	25,5	-0,67	-0,0789	0,0809

<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
05/03/2018	6	0,30	3,4	7,53	23,7	-1,1	-5,36	0,0779
	8	0,35	3,9	7,56	23,9	-1,13	-1,6	0,079
	10	0,30	3,7	7,49	23,9	-1,1	-2,43	0,0799
	12	0,30	1,2	7,42	23,8	-0,98	-5,06	0,079
	14	0,30	2,2	7,37	23,9	-0,95	-0,495	0,0811
	16	0,35	2,4	7,31	23,9	-0,9	-0,158	0,0825
06/03/2018	6	0,50	1,6	7,39	25,3	-1,36	-1,37	0,0775
	8	0,40	2,6	7,41	25,1	-1,14	-0,633	0,0778
	10	0,30	1	7,33	25,2	-1,09	-2,62	0,078
	12	0,35	4,4	7,23	25,2	-0,97	-0,236	0,0791
	14	0,40	1,6	7,18	25,4	-0,89	-0,125	0,0801
	16	0,40	1,9	7,13	25,4	-0,77	-2,67	0,0806
12/03/2018	4	11,00	3,4	8,11	24,9	-1,2	-14,4	0,0735
	6	1,70	0,6	8,02	24,7	-1,3	-6,4	0,0778
	8	0,80	1,9	7,98	24,6	-1,25	-10,1	0,0761
	10	0,60	1,2	7,95	24,6	-1,17	-1,1	0,0777
	12	0,65	6,2	7,82	24,7	-1,08	-1,04	0,00376
	14	0,65	2,7	7,68	24,7	-0,97	-1,62	0,0778
13/03/2018	6	2,00	2	7,16	24	-1,42	-5,33	0,0743
	8	0,85	3	7,34	24,1	-1,41	-0,834	0,0747
	10	0,50	2,8	7,19	24,1	-1,35	-1,04	0,076
	12	0,60	4,8	7,24	24,3	-1,26	-1,67	0,0761
	14	0,70	0,7	7,02	24,3	-1,16	-0,273	0,011
	16	0,55	4,7	7,16	24,2	-1,04	-0,00345	0,0777

<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
19/03/2018	4	5,20	1,9	8,79	25,2	-1,91	-11,2	0,075
	6	1,20	2,8	8,25	25,2	-1,89	-3,9	0,0758
	8	0,55	1,9	8,09	25,3	-1,84	-1,21	0,0754
	10	0,55	2,4	7,99	25,1	-1,73	-0,956	0,0775
	12	0,55	0,7	7,83	25,2	-1,68	-0,658	0,0821
	14	0,45	2,2	7,8	25,3	-1,44	-0,399	0,0863
20/03/2018	4	3,40	3,1	7,99	24,7	-2,25	-14,4	0,0757
	6	0,75	4,1	7,79	24,7	-2,18	-5,83	0,0772
	8	0,45	7,5	7,62	24,7	-2,04	-2,18	0,0818
	10	0,35	3,1	7,38	24,7	-1,94	-0,761	0,0786
	12	0,35	2,8	7,38	24,5	-1,85	-0,725	0,082
	14	0,30	3	7,19	24,6	-1,69	-0,541	0,0799
23/03/2018	10	5,00	8,7	8,69	23,1	-1,37	-8,66	0,0695
	12	1,70	8,3	8,15	23	-1,42	-5,86	0,0697
	14	1,00	5,1	7,92	23,1	-1,33	-2,36	0,0713
	16	0,90	7,8	7,76	23,1	-1,1	-3,77	0,077
	18	0,80	5,5	7,63	23,1	-1,02	-1,25	0,0733
	20	1,30	3,6	7,6	23	-0,9	-2,38	0,0732
26/03/2018	10	12,00	3,8	8,82	24,6	-1,34	-12,1	0,0675
	12	2,30	4,1	8,35	24,4	-1,43	-5,21	0,0686
	14	1,40	0,7	8,04	24,5	-1,29	-1,44	0,0714
	16	1,10	5,6	7,9	24,4	-1,25	-1,75	0,0749
	18	1,20	5	7,84	24,2	-1,14	-1,27	0,0793
	20	1,10	2,7	7,73	24,3	-1,05	-0,762	0,0765

<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
03/04/2018	6	1,20	2,7	8,16	23,5	-1,18	-5,44	0,073
	8	0,70	5,1	7,9	23,5	-1,2	-0,78	0,0743
	10	0,40	3,6	7,68	23,4	-1,08	-1,4	0,0749
	12	0,55	10,6	7,16	23,5	-1,01	-1,36	0,0744
	14	0,65	9,3	7,18	23,5	-0,88	-0,479	0,0762
	16	0,95	12,4	6,93	23,7	-0,75	-0,0608	0,0774
05/04/2018	6	5,30	1,1	7,15	23,9	-1,36	-11,1	0,0713
	8	1,50	8,7	7,3	23,4	-1,31	-8,4	0,0742
	10	0,70	9,4	7,31	23,4	-1,19	-13,7	0,0745
	12	0,55	10	7,21	23,4	-1,08	-15,7	0,0761
	14	0,45	7,3	7,15	23,4	-0,98	-12,6	0,0759
	16	0,40	7,7	7,1	23,5	-0,88	-1,64	0,0759
09/04/2018	8	0,85	5,1	8,,16	24,3	-0,78	-7,94	0,0824
	10	0,75	6,5	7,79	24,4	-0,76	-6,74	0,0728
	12	1,00	5,8	7,56	24,3	-0,62	-11,1	0,0727
	14	1,40	8,2	7,32	24,5	-0,57	-1,38	0,0743
	16	1,50	4,5	7,19	24,6	-0,47	-3,91	0,0809
	18	1,20	6,9	7,14	24,4	-0,3	-1,08	0,0807
12/04/2018	6	1,40	8,6	8,59	21,4	-1,23	-5,39	0,0718
	8	0,55	1,4	8,41	21,4	-1,48	-2,34	0,074
	10	0,40	6,4	8,24	21,4	-1,35	-4,14	0,0737
	12	0,45	7,1	8,15	21,4	-1,2	-4,98	0,0781
	14	0,45	6,8	8,17	21,5	-1,17	-4,04	0,0763
	16	0,40	4,6	8,03	21,5	-0,89	-9,57	0,0768

<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
16/04/2018	4	2,20	6,1	9,13	22,5	-1,47	-9,4	0,0707
	6	0,60	3	8,41	22,4	-1,49	-2,55	0,0715
	8	0,45	6,3	8,03	22,4	-1,1	-2,08	0,073
	10	0,40	2	7,76	22,5	-1,27	-3,63	0,0756
	12	0,45	2,6	7,63	22,4	-1,15	-1,51	0,0738
	14	0,40	5,8	7,56	22,6	-0,97	-1,4	0,0743
23/04/2018	4	2,00	2,4	8,52	20,9	-1,01	-12,9	0,0756
	6	0,75	6	8,13	20,8	-1,03	-4,54	0,0777
	8	0,60	4,6	8,07	20,8	-0,98	-7,73	0,0776
	10	0,60	5,1	7,83	20,8	-0,95	-1,77	0,0779
	12	0,50	6,9	7,69	20,9	-0,89	-1,51	0,0771
	14	0,50	4,6	7,49	21,1	-0,76	-1,67	0,0797
26/04/2018	6	0,30	7,4	8,22	23,9	-1,21	-3,34	0,0801
	8	0,25	3,4	8	24,1	-1,24	-2,43	0,0812
	10	0,20	6,2	7,84	24,2	-1,12	-2,17	0,0816
	12	0,25	10,8	7,57	24,3	-1,06	-0,97	0,0818
	14	0,40	4,6	7,41	24,4	-0,87	-1,38	0,0863
	16	0,45	8,8	7,35	24,2	-0,76	-2,36	0,084
02/05/2018	4	0,30	0,7	8,51	23,8	-1,07	-2,53	0,0782
	6	0,20	6,6	8,2	23,9	-1,04	-10,9	0,0791
	8	0,15	2,8	7,8	24	-1,02	-0,553	0,0778
	10	0,15	1,6	7,71	23,9	-0,94	-2,27	0,0825
	12	0,25	1,7	7,38	23,6	-0,84	-0,499	0,0837
	14	0,25	2,9	7,15	23,8	-0,67	-0,686	0,0828

<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
04/06/2018	2	0,25	5	8,86	22,3	-1,58	-2,46	0,072
	4	0,25	4,3	7,8	22,1	-1,62	-0,543	0,0758
	6	0,25	4,1	7,66	22	-1,5	-8,63	0,0751
	8	0,30	5,2	7,61	22	-1,39	-0,217	0,0741
	10	0,60	11,2	7,56	22	-1,24	-0,836	0,0761
	12	3,80	4	7,57	22,7	-1,1	-0,958	0,0767
06/06/2018	2	3,20	-	7,96	22,1	-1,85	-7,62	0,0762
	4	0,65	-	7,57	22	-1,77	-0,966	0,0729
	6	0,40	-	7,36	22	-1,66	-0,438	0,0756
	8	0,30	-	7,26	22	-1,46	-0,648	0,0803
	10	0,30	-	7,08	22	-1,35	-1,7	0,078
	12	0,30	-	7,02	22,2	-1,18	-1,86	0,0778
09/06/2018	4	0,95	6	7,41	20,2	-1,64	-6,12	0,0719
	6	0,35	8	7,23	20,2	-1,75	-0,473	0,0729
	8	0,25	2	7,1	20,4	-1,54	-3,3	0,0727
	10	0,20	3	7	20,3	-1,49	-3,05	0,0735
	12	0,30	0	6,88	20,3	-1,32	-1,39	0,0744
	14	0,25	5	6,87	20,4	-1,19	-0,161	0,0746
11/06/2018	2	2,30	14	7,51	20,6	-1,37	-1,96	0,0698
	4	0,65	11	7,27	20,6	-1,55	-3,64	0,0692
	6	0,60	9	7,11	20,5	-1,47	-1,07	0,0723
	8	0,25	8	7,06	20,5	-1,38	-0,46	0,0714
	10	0,30	5	7,09	20,6	-1,27	-0,538	0,074
	12	0,35	7	6,98	20,7	-1,16	-0,544	0,074

<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
14/06/2018	4	0,75	10	7,6	21,7	-1,68	-7,38	0,0724
	6	0,40	8	7,27	21,6	-1,66	-2,05	0,0715
	8	0,25	4	7,12	21,7	-1,52	-6,4	0,0726
	10	0,25	8	7,07	21,7	-1,37	-0,66	0,0735
	12	0,30	7	6,94	21,5	-1,12	-0,676	0,0775
	14	0,30	4	6,84	21,8	-0,92	-0,742	0,0749
16/06/2018	2	2,40	6	7,33	20,4	-1,8	-5,27	0,0711
	4	0,55	11	7,3	20,4	-1,82	-4	0,0753
	6	0,25	5	7,14	20,3	-1,73	-1,44	0,0702
	8	0,25	6	7,12	20,4	-1,64	-0,616	0,0708
	10	0,15	15	7,07	20,5	-1,41	-1,52	0,071
	12	0,30	8	7,05	20,5	-1,27	-1,78	0,0738
18/06/2018	2	2,40	2	7,24	20,2	-1,67	-2,48	0,0675
	4	0,60	0	7,17	20,1	-1,95	-1,86	0,0681
	6	0,20	0	7,06	20,1	-1,79	-0,379	0,0709
	8	0,25	0	6,93	20,1	-1,44	-1,94	0,072
	10	0,30	5	6,96	20,1	-1,37	-0,802	0,0726
	12	0,20	5	7,01	20,2	-1,19	-3,27	0,0766
21/06/2018	2	3,50	11	7,53	20,4	-2,32	-10,7	0,0697
	4	0,80	23	7,23	20,2	-2,24	-4,74	0,0718
	6	0,50	18	7,11	20,3	-2,09	-11,2	0,0756
	8	0,40	7	6,92	20,3	-1,95	-19,7	0,075
	10	0,40	7	6,98	20,3	-1,82	-3,52	0,0756
	12	0,45	5	6,73	20,5	-1,58	-5,43	0,0755

Data	Dose (mg/L)	Turbidez (uT)	Cor Verd. (uC)	pH	Temperatura (°C)	Carga (ICu)	PZ (mv)	Contutividade (ms/cm)
25/06/2018	2	2,60	6	7,45	19,2	-1,76	-10,9	0,0691
	4	0,60	3	7,27	19,2	-1,83	-2,34	0,0701
	6	0,45	1	7,18	19,1	-1,83	-1,09	0,0706
	8	0,40	7	7,06	19,3	-1,7	-2,97	0,0713
	10	0,40	6	6,86	19,3	-1,52	-0,515	0,0694
	12	0,55	13	6,87	19,5	-1,32	-0,202	0,07
28/06/2018	2	4,40	8	7,22	20,7	-1,93	-7,17	0,0695
	4	0,80	7	7,08	20,5	-1,91	-5,71	0,0715
	6	0,35	8	6,85	20,6	-1,82	-12,3	0,0722
	8	0,35	3	6,81	20,4	-1,72	-3,76	0,0738
	10	0,45	5	6,77	20,4	-1,54	-2,76	0,0762
	12	0,45	5	6,68	20,7	-1,35	-1,74	0,0749
30/06/2018	4	0,60	0	6,94	19,6	-1,43	-5,85	0,0709
	6	0,25	5	6,77	19,5	-1,43	-1,94	0,0726
	8	0,20	2	6,71	19,8	-1,33	-1,01	0,0729
	10	0,25	5	6,69	19,9	-1,19	-1,74	0,0788
	12	0,35	1	6,59	19,8	-1,04	0,331	0,0755
	14	0,30	7	6,57	20	-0,76	0,626	0,076
03/07/2018	2	1,30	-	7,66	18,3	-2,05	-1,56	0,0698
	4	1,00	-	7,29	18,3	-2,01	-4,73	0,0716
	6	0,25	-	7,14	18,3	-2,06	-3,28	0,0726
	8	0,20	-	6,93	18,2	-1,95	-2,31	0,0729
	10	0,25	-	6,96	18,5	-1,89	-0,633	0,0735
	12	0,15	-	6,86	18,5	-1,8	-0,0716	0,0758

<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
06/07/2018	4	0,40	6	7,04	18,3	-1,44	-5,13	0,0713
	6	0,20	4	6,75	18,2	-1,52	-3,36	0,0723
	8	0,15	6	6,59	18,3	-1,26	-6,09	0,0732
	10	0,20	5	6,48	18,3	-1,2	-5,67	0,074
	12	0,30	3	6,39	18,3	-1,09	-4,48	0,0742
	14	0,30	4	6,42	18,4	-0,84	0,0337	0,0831
09/07/2018	2	3,80	18	7,33	19,5	-2,03	-4,73	0,0691
	4	0,55	18	7,06	19,5	-1,99	-8,43	0,0708
	6	0,20	13	6,99	19,7	-1,84	-8,39	0,0716
	8	0,25	4	6,97	19,5	-1,68	-1,83	0,0724
	10	0,40	9	6,89	19,7	-1,56	-5,55	0,0733
	12	0,40	12	6,62	20	-1,4	-3,23	0,0736
13/07/2018	4	2,70	9	6,75	17,9	-1,42	-17	0,0682
	6	0,50	4	6,51	18	-1,42	-6,92	0,0691
	8	0,25	0	6,31	18	-1,31	-3,69	0,0712
	10	0,25	0	6,44	18	-1,15	-2,72	0,0733
	12	0,40	4	6,25	17,9	-1,06	-2,74	0,0711
	14	0,45	1	6,18	18,2	-0,85	-0,348	0,0737
17/07/2018	4	4,00	12	7,18	19,3	-1,81	-10,2	0,0715
	6	0,50	15	6,9	19,1	-1,77	-3,85	0,0726
	8	0,25	10	6,91	19,1	-1,77	-2,33	0,0749
	10	0,25	6	6,82	19,2	-1,7	-2,18	0,0735
	12	0,25	9	6,74	19,2	-1,53	-4,11	0,0737
	14	0,35	10	6,69	19,5	-1,44	-0,263	0,0749

<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
19/07/2018	4	3,10	13	7,65	18,7	-2,16	-7,39	0,0711
	6	3,30	11	7,26	18,7	-2,21	-9,75	0,0697
	8	0,30	16	7,1	18,7	-2,22	-6,98	0,0723
	10	0,30	15	6,85	18,8	-2,19	-1,61	0,0763
	12	0,30	18	6,89	18,6	-2,13	-1,55	0,0753
	14	0,30	8	6,78	19	-2,04	-1,27	0,0733
24/07/2018	8	3,50	2	7,06	20,2	-1,79	-11,8	0,0756
	10	0,95	2	6,91	20,1	-1,74	-17,6	0,0752
	12	0,35	3	6,73	20,1	-1,71	-0,998	0,0733
	14	0,35	3	6,69	20,2	-1,62	-2,02	0,0771
	16	0,20	1	6,57	20	-1,53	-7,7	0,0753
	18	0,30	0	6,47	20,3	-1,29	-2,89	0,0759
26/07/2018	14	0,65	6	6,76	19,6	-1,35	-10	0,0757
	16	0,30	1	6,61	19,4	-1,31	-3,72	0,0747
	18	0,40	6	6,43	19,5	-1,3	-9,6	0,0748
	20	0,45	6	6,44	19,5	-1,26	-5,1	0,0759
	22	0,50	1	6,38	19,6	-1,19	-5,47	0,0762
	24	0,50	2	6,32	19,5	-1,09	-1,55	0,0777
31/07/2018	16	0,85	0	6,65	19,9	-1,2	-10,3	0,076
	18	0,50	0	6,25	19,6	-1,18	-2,84	0,0762
	20	0,40	0	6,38	19,7	-1,14	-3,45	0,0798
	22	0,35	0	6,32	19,6	-1,04	-2,52	0,0779
	24	0,50	0	6,1	19,6	-0,96	-6,01	0,0783
	26	0,30	0	6,06	19,8	-0,88	-2,88	0,0807

<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
02/08/2018	20	0,25	1	6,22	19,3	-0,62	-1,19	0,0822
	22	0,35	0	6,07	19,3	-0,46	0,0197	0,0834
	24	0,25	1	6,15	19,3	-0,32	-0,163	0,0875
	26	0,30	2	5,95	19,2	-0,18	-0,148	0,0864
	28	0,50	0	5,75	19,2	-0,01	1,5	0,0871
	30	0,65	1	5,7	19,3	0,12	1,73	0,0885
07/08/2018	10	0,70	1	6,71	20,4	-0,51	-5,19	0,0877
	12	0,85	1	6,39	20,2	-0,42	-0,899	0,0818
	14	0,75	0	6,29	20,2	-0,28	1,3	0,0818
	16	0,55	0	6,12	20,2	-0,13	-1,33	0,0815
	18	0,80	0	6,11	20,2	0,15	-0,261	0,0825
	20	1,40	0	6,1	20,4	0,33	2,24	0,0835
10/08/2018	4	4,40	1	7,49	19,9	-1,7	-3,45	0,0784
	6	0,55	2	7,1	19,5	-1,6	-3,01	0,0819
	8	0,45	0	7,02	19,3	-1,55	-2,65	0,0801
	10	0,35	5	6,97	19,7	-1,4	-5,28	0,0842
	12	0,45	0	6,82	19,7	-1,23	-1,49	0,0819
	14	0,55	0	6,81	19,8	-1,03	-1,63	0,0832
14/08/2018	4	2,00	0	7,46	19,9	-1,68	-3,39	0,0815
	6	0,40	2	7,1	19,5	-1,6	-11,6	0,0788
	8	0,35	3	6,98	19,6	-1,58	-3,69	0,0795
	10	0,50	0	6,78	19,8	-1,39	-13,1	0,0797
	12	0,45	0	6,76	19,8	-1,25	-2,35	0,0821
	14	0,55	0	6,73	19,9	-1,07	-2,16	0,083

<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
16/08/2018	4	2,00	10	7,88	19,9	-1,78	-8,72	0,079
	6	0,65	0	7,39	19,7	-1,82	-3,11	0,0819
	8	0,35	0	7,23	19,7	-1,78	-3,52	0,0822
	10	0,45	0	6,93	19,6	-1,73	-3,1	0,0819
	12	0,25	0	6,9	19,7	-1,66	-1,49	0,0827
	14	0,25	0	6,82	20,1	-1,51	-0,627	0,083
22/08/2018	10	0,35	16	6,81	20,7	-0,45	-3,72	0,0818
	12	0,30	9	6,6	20,4	-0,3	-0,822	0,083
	14	0,30	0	6,51	20,4	-0,12	-0,691	0,0833
	16	0,50	0	6,32	20,5	0	0,339	0,085
	18	0,60	0	6,32	20,4	0,18	0,676	0,0861
	20	0,50	0	6,29	20,3	0,29	-0,282	0,0881
24/08/2018	6	0,55	16	7,670	20,4	-1,79	-11,2	0,0813
	8	0,30	10	7,420	19,9	-1,81	-5,52	0,0822
	10	0,30	10	7,25	19,9	-1,72	-3,57	0,0831
	12	0,35	4	7,27	19,8	-1,62	-1,8	0,0845
	14	0,35	3	7,11	20,11	-1,35	-1,99	0,0869
	16	0,50	1	7,04	20,4	-1,08	-0,627	0,0874
27/08/2018	6	1,30	16	7,48	20,1	-1,65	-5,44	0,0812
	8	0,35	11	7,25	20	-1,53	-2,68	0,0836
	10	0,25	14	7,16	20,1	-1,39	-1,09	0,0945
	12	0,20	5	7,06	20,1	-1,18	-1,23	0,108
	14	0,30	2	6,99	20	-1,04	-1,44	0,0971
	16	0,35	1	6,91	20,2	-0,83	-1,78	0,101

<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
29/08/2018	6	1,40	9	7,74	21,1	-1,74	-7,29	0,0844
	8	0,35	2	7,49	20,6	-1,64	-5,66	0,0837
	10	0,35	4	7,31	20,8	-1,56	-2,94	0,0859
	12	0,25	0	7,29	21	-1,41	-2,12	0,0877
	14	0,50	0	7,04	20,8	-1,24	-3,26	0,0863
	16	0,50	0	6,98	21,1	-1,02	-1,43	0,0873
31/08/2018	8	0,35	26	7,47	22,2	-1,84	-4,16	0,0909
	10	0,20	18	7,39	22,5	-1,82	-1,53	0,0909
	12	0,35	21	7,31	22,8	-1,71	-3,41	0,0913
	14	0,30	11	7,31	22,9	-1,52	-1,64	0,0914
	16	0,50	12	7,21	22,7	-1,27	-2,93	0,0926
	18	0,45	12	7,22	22,8	-1,07	-0,563	0,0931
03/09/2018	6	3,70	31	7,84	22,7	-1,9	-13	0,0906
	8	3,20	55	7,55	22,3	-1,89	-14,2	0,103
	10	0,65	57	7,29	21,9	-1,87	-11	0,0969
	12	0,45	31	7,24	21,9	-1,74	-8,16	0,0906
	14	0,35	10	6,99	22,1	-1,61	-3,45	0,091
	16	0,50	11	7,02	22,2	-1,43	-9,8	0,0898
05/09/2018	12	0,40	30	7,79	22,4	-1,07	-4,62	0,0922
	14	0,30	21	7,37	21,7	-1,01	-1,87	0,0901
	16	0,25	17	7,17	22,1	-1,02	-1,65	0,088
	18	0,30	20	7,02	21,8	-0,83	-4,89	0,0881
	20	0,45	19	6,97	22,2	-0,72	-2,09	0,0902
	22	0,45	18	6,98	22,2	-0,58	-2,99	0,0882

<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
08/09/2018	10	0,45	-	7,8	20,7	-1,12	-0,529	0,0847
	12	0,40	-	7,55	20,6	-1,08	-1,83	0,0848
	14	0,40	-	7,31	20,4	-1,02	-1,52	0,0842
	16	0,45	-	7,26	20,7	-0,82	-0,937	0,0876
	18	0,65	-	7,15	20,4	-0,72	-2,09	0,0895
	20	0,80	-	7,08	20,5	-0,62	-2,86	0,0891
10/09/2018	10	0,45	17	7,48	20,1	-0,87	-8,29	0,088
	12	0,35	18	7,23	20	-0,92	-1,64	0,0885
	14	0,30	18	7,12	19,7	-0,84	-0,735	0,0905
	16	0,25	18	7,06	19,8	-0,76	-0,514	0,0932
	18	0,65	21	6,95	19,8	-0,66	-9,08	0,095
	20	0,90	14	6,93	20	-0,54	-0,205	0,092
12/09/2018	8	0,45	0	7,73	20,4	-1,38	-3,02	0,081
	10	0,20	0	7,5	20,6	-1,29	-3,13	0,0827
	12	0,20	0	7,3	20,6	-1,14	-4,96	0,083
	14	0,25	0	7,31	20,6	-1,02	-2,17	0,0829
	16	0,45	0	7,16	20,5	-0,77	-0,622	0,0848
	18	0,40	0	6,99	20,7	-0,63	-3,56	0,085
14/09/2018	6	0,65	0	7,58	21,9	-1,49	-1,72	0,0836
	8	0,60	0	7,3	22	-1,39	-9,97	0,0887
	10	0,55	0	7,18	22	-1,28	-2,04	0,0858
	12	0,45	0	7,03	22,1	-1,18	-6,33	0,0906
	14	0,60	0	7,03	22	-1,01	-1,88	0,0861
	16	0,55	0	6,94	22,1	-0,91	-0,822	0,0833

<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
17/09/2018	6	0,65		7,58	22,1	-1,41	-7,39	0,0836
	8	0,55	8	7,4	22,2	-1,35	-6,94	0,0887
	10	0,35	4	7,22	22,4	-1,33	-0,555	0,0909
	12	0,50	0	7,1	22,3	-1,22	-1,02	0,0874
	14	0,55	1	7,02	22,4	-1,02	-0,127	0,0901
	16	0,60	0	6,96	22,3	-0,84	-1,72	0,091
19/09/2018	6	0,45	0	7,31	24,1	-1,34	-6,18	0,081
	8	0,25	0	7,12	24,2	-1,22	-0,576	0,0844
	10	0,25	0	7	24,1	-1,14	-0,352	0,0153
	12	0,25	0	6,94	24,2	-1,01	-0,449	0,0835
	14	0,35	0	6,89	24,3	-0,84	-0,266	0,0847
	16	0,45	0	6,79	24,4	-0,69	-0,113	0,0859
21/09/2018	4	0,80	28	7,34	23,9	-1,69	-10,2	0,0938
	6	0,50	25	7,2	24,1	-1,64	-3,45	0,0896
	8	0,55	21	7,15	24,5	-1,55	-2,86	0,0922
	10	0,65	21	7,1	24,8	-1,32	-1,71	0,0882
	12	0,70	-	7,05	24,8	-1,25	-0,687	0,0878
	14	0,80	30	6,97	25	-1,12	-0,363	0,0922
24/09/2018	4	1,10	6	7,52	23,6	-1,8	-12,2	0,0877
	6	0,55	0	7,27	23,4	-1,67	-5	0,0873
	8	0,40	0	7,14	23,4	-1,63	-3,09	0,0875
	10	0,45	0	6,99	23,3	-1,48	-11,3	0,0895
	12	0,60	0	6,87	23,4	-1,26	-2,51	0,0898
	14	0,70	0	6,86	23,7	-1,14	-4,91	0,0898

<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
26/09/2018	4	1,20	0	7,55	25,4	-1,61	-10,2	0,084
	6	0,60	0	7,42	24,7	-1,6	-8,23	0,0864
	8	0,50	0	7,31	24,8	-1,51	-3,36	0,0857
	10	0,55	0	7,18	24,8	-1,39	-0,216	0,0866
	12	0,60	0	7,11	24,8	-1,32	-0,868	0,086
	14	0,30	0	7	24,9	-1,19	-2,39	0,0873
28/09/2018	4	1,10	25	7,2	24,7	-1,72	-6,4	0,0879
	6	0,70	16	7,22	25,1	-1,71	-0,959	0,0845
	8	0,45	-	7,15	25,2	-1,59	-1,35	0,0862
	10	0,45	16	7,05	25,3	-1,48	-5,83	0,0863
	12	0,40	12	7	25,3	-1,37	-1,54	0,0876
	14	0,30	10	6,92	25	-1,29	-2,8	0,0879
01/10/2018	4	0,85	3	7,37	24,8	-1,68	-7,89	0,0918
	6	0,50	0	7,31	24,3	-1,62	-6,97	0,0851
	8	0,35	0	7,23	24,3	-1,51	-5,01	0,0916
	10	0,40	7	7,18	24,5	-1,41	-2,08	0,102
	12	0,45	5	7,1	24,5	-0,86	-3,43	0,105
	14	0,45	4	7,08	25	-0,88	-3,4	0,109
02/10/2018	6	0,70	9	7,24	25,6	-1,56	-9,56	0,0885
	8	0,55	6	7,14	25,3	-1,52	-6,16	0,0868
	10	0,55	6	7,04	25,1	-1,4	-3,76	0,0868
	12	0,65	7	6,99	25	-1,29	-1,31	0,0959
	14	0,65	7	6,9	25,3	-1,12	-3,61	0,0893
	16	0,55	11	6,84	25	-0,94	-0,959	0,0916

<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
08/10/2018	4	2,90	0	7,36	23,1	-1,97	-14	0,0845
	6	0,70	3	7,14	23,3	-1,9	-5,39	0,0869
	8	0,60	8	7,16	23,6	-1,83	-4,64	0,0879
	10	0,50	7	7,05	23,4	-1,66	-5,23	0,0882
	12	0,45	0	7,02	23,2	-1,62	-5,37	0,0892
	14	0,45	6	6,93	23,4	-1,35	-5,17	0,0925
10/10/2018	6	0,70	0	7,31	25,5	-1,96	-7,87	0,087
	8	0,45	0	7,17	25,6	-1,86	-4,12	0,0888
	10	0,45	1	7,14	25,7	-1,85	-4,83	0,0899
	12	0,35	11	6,99	25,7	-1,69	-2,66	0,0896
	14	0,25	0	6,91	25,7	-1,55	-6,59	0,0942
	16	0,50	0	6,88	25,8	-1,37	-2,39	0,0923
13/10/2018	6	0,70	0	7,25	24,8	-1,62	-9,79	0,0942
	8	0,45	0	7,14	24,7	-1,58	-10,5	0,094
	10	0,55	0	7,09	24,6	-1,54	-6	0,0938
	12	0,45	0	7,05	24,5	-1,36	-8,05	0,0951
	14	0,40	0	6,9	24,6	-1,14	-5,78	0,0949
	16	0,60	0	6,94	24,8	-0,98	-2,77	0,0931
16/10/2018	6	0,50	-	7,2	24,8	-1,69	-3,65	0,0861
	8	0,55	-	7,16	24,7	-1,63	-4,55	0,0873
	10	0,40	-	7,13	24,8	-1,54	-3,28	0,09
	12	0,35	-	7,08	24,7	-1,4	-2,34	0,0883
	14	0,45	-	6,89	24,7	-1,21	-6,92	0,0925
	16	0,50	-	6,91	24,8	-0,98	-1,13	0,0986

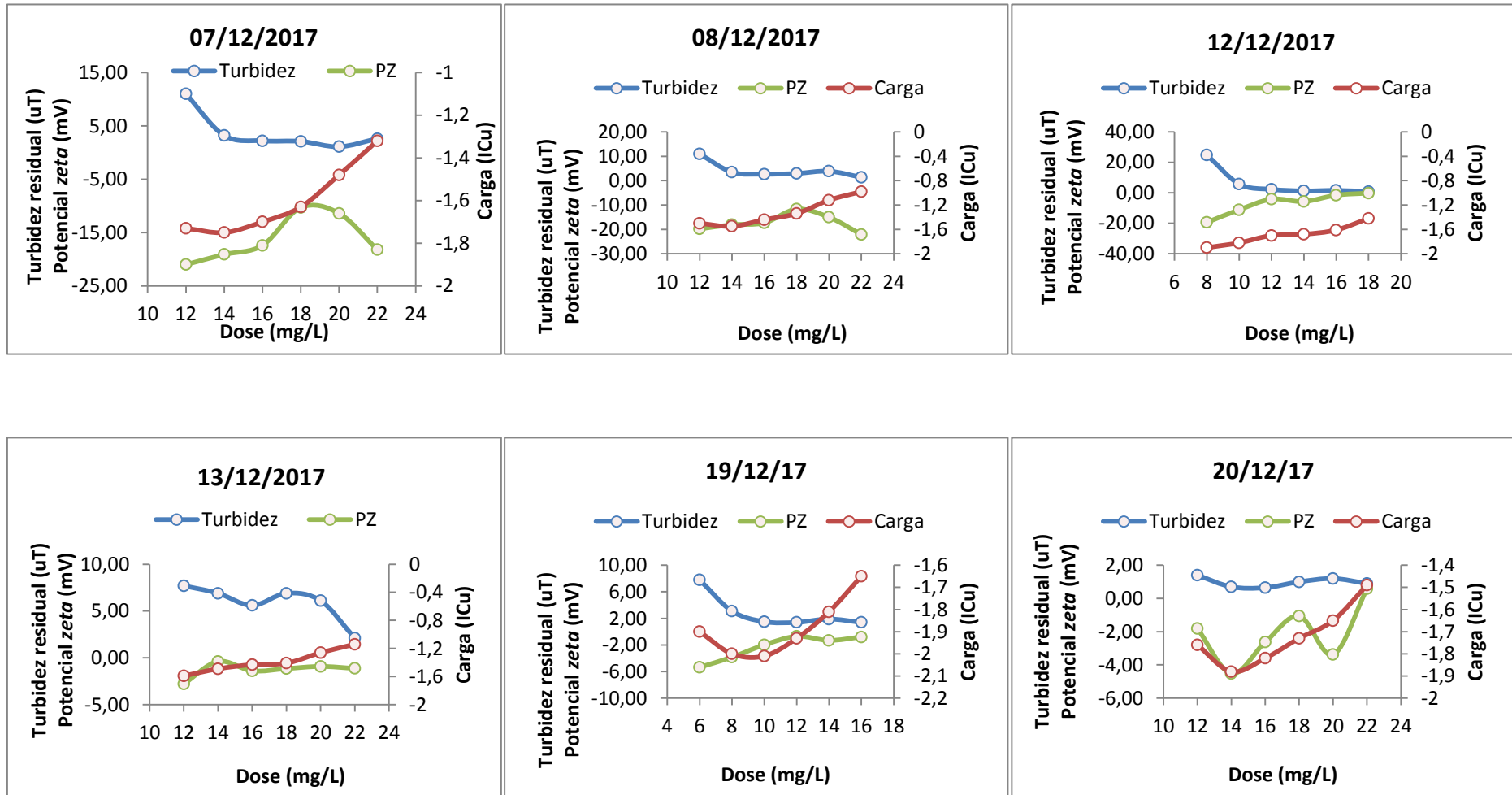
<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
18/10/2018	6	0,35	-	7,41	21,7	-1,76	-6,81	0,0951
	8	0,30	-	7,18	21,5	-1,71	-4,33	0,0941
	10	0,55	-	7,15	21,6	-1,6	-2,69	0,0977
	12	0,65	-	7,17	21,6	-1,5	-4,44	0,0932
	14	0,45	-	7,09	21,5	-1,3	-3,01	0,093
	16	0,65	-	6,97	21,9	-1,14	-2,48	0,0932
22/10/2018	4	2,80	2	7,36	22,7	-2,07	-12,6	0,0842
	6	0,55	0	7,19	22,4	-1,86	-2,48	0,0854
	8	0,45	3	7,13	23	-1,75	-1,45	0,0855
	10	0,35	9	7,21	22,8	-1,58	-8,04	0,0871
	12	0,45	0	7,18	23,1	-1,48	-6,41	0,0876
	14	0,40	0	7,1	23,2	-1,29	-5,69	0,0911
24/10/2018	4	1,60	-	7,33	24,6	-2,21	-15,2	0,0876
	6	0,70	-	7,36	24,3	-2,13	-4,13	0,0884
	8	0,50	-	7,18	24,2	-2,04	-8,04	0,086
	10	0,50	-	7,22	24,3	-1,91	-7,02	0,0883
	12	0,45	-	0,17	24,2	-1,69	-5,69	0,0875
	14	0,50	-	7,2	24	-1,44	-2,43	0,0892
26/10/2018	4	0,70	-	7,55	21,4	-1,83	-9,05	0,0835
	6	0,45	-	7,53	21,3	-1,77	-3,93	0,0855
	8	0,45	-	7,56	21,3	-1,75	-7,05	0,0853
	10	0,35	-	7,3	21,3	-1,65	-2,39	0,0877
	12	0,35	-	7,28	21,3	-1,52	-1,55	0,0911
	14	0,45	-	7,05	21,3	-1,36	-1,99	0,0891

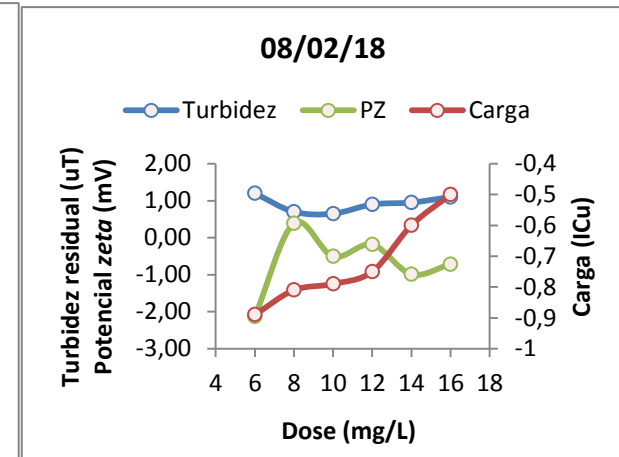
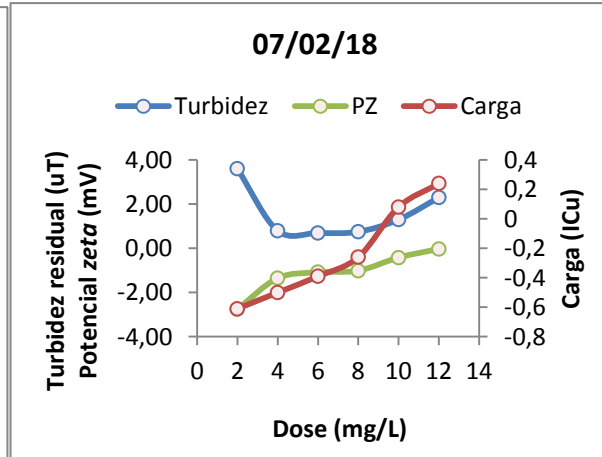
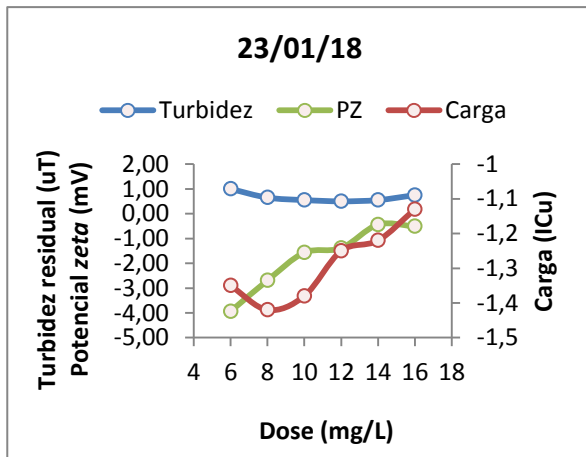
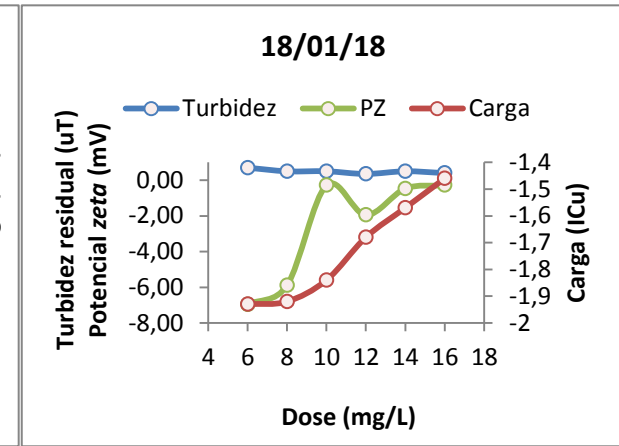
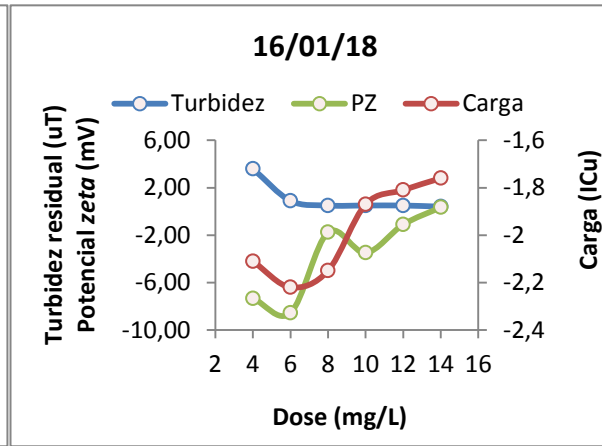
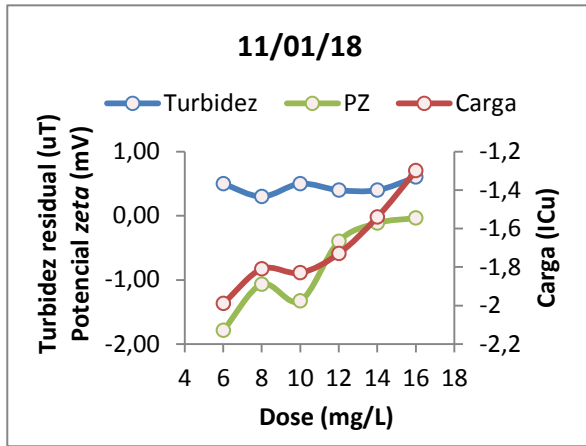
<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
29/10/2018	6	0,50	11	7,16	22,4	-1,38	-3,93	0,0856
	8	0,45	9	7,08	22	-1,43	-7,11	0,0874
	10	0,40	13	6,98	22,2	-1,32	-3,44	0,0858
	12	0,50	14	6,94	22,1	-1,2	-5,46	0,0866
	14	0,35	15	6,88	21,9	-1,08	-1,38	0,0879
	16	0,45	13	6,78	22,3	-0,86	-0,962	0,0881
31/10/2018	4	1,40	-	7,49	23,9	-1,79	-3,63	0,0827
	6	0,75	-	7,33	23,9	-1,7	-4,08	0,0833
	8	0,75	-	7,37	23,8	-1,6	-1,58	0,0843
	10	0,80	-	7,17	23,6	-1,48	-1,22	0,0871
	12	0,75	-	7,15	23,6	-1,26	-2,07	0,0875
	14	0,50	-	7,06	23,6	-1,07	-1,63	0,101
05/11/2018	6	0,80	8	7,21	23,7	-1,67	-6,27	0,0846
	8	0,50	10	7,05	23,7	-1,6	-3,41	0,0847
	10	0,35	2	6,98	23,7	-1,51	-2,43	0,0843
	12	0,30	9	6,84	23,9	-1,39	-2,36	0,0864
	14	0,35	15	6,82	23,8	-1,27	-1,2	0,0891
	16	0,45	24	6,77	23,7	-1,02	-1,66	0,0881
07/11/2018	4	1,60	12	7,11	24,2	-1,72	-3,28	0,0799
	6	0,85	23	6,97	24	-1,63	-2,49	0,0818
	8	0,65	13	7,03	23,9	-1,45	-1,81	0,0824
	10	0,75	10	6,98	23,4	-1,28	-0,847	0,0844
	12	0,35	8	6,85	23,5	-1,17	-1,5	0,0845
	14	0,45	3	6,8	23,5	-1,04	-2,29	0,0857

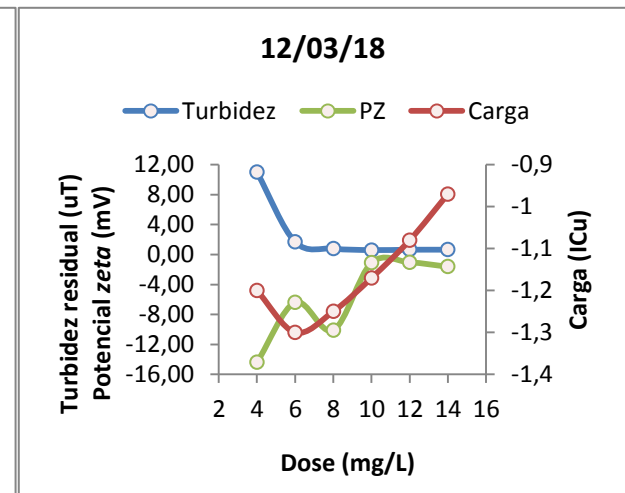
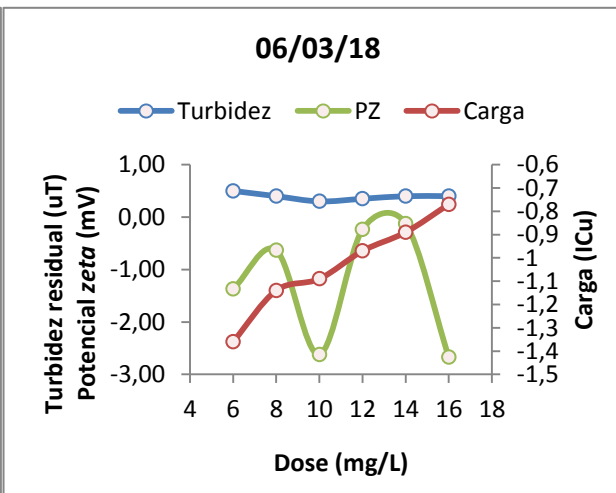
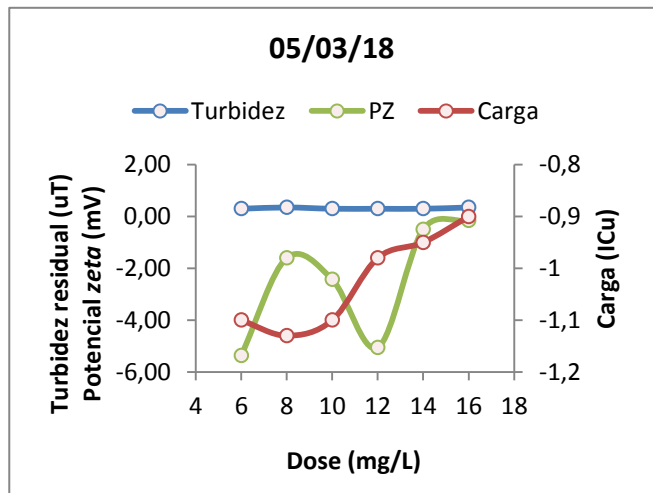
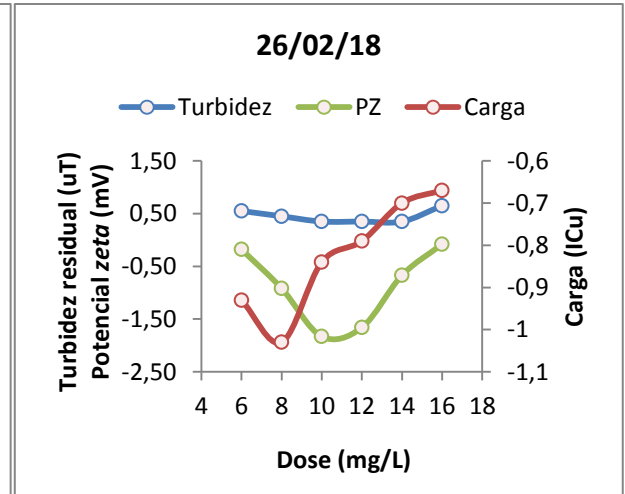
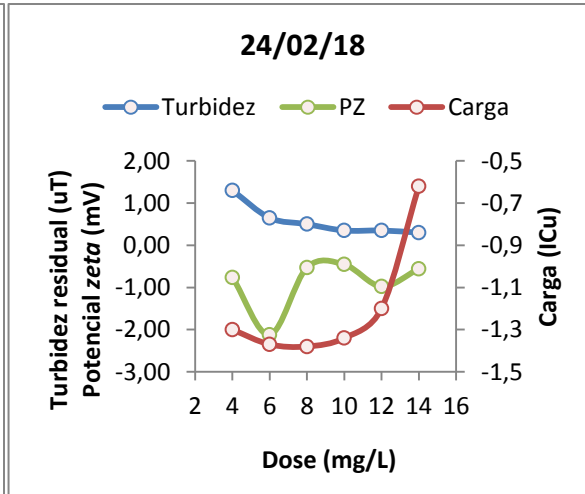
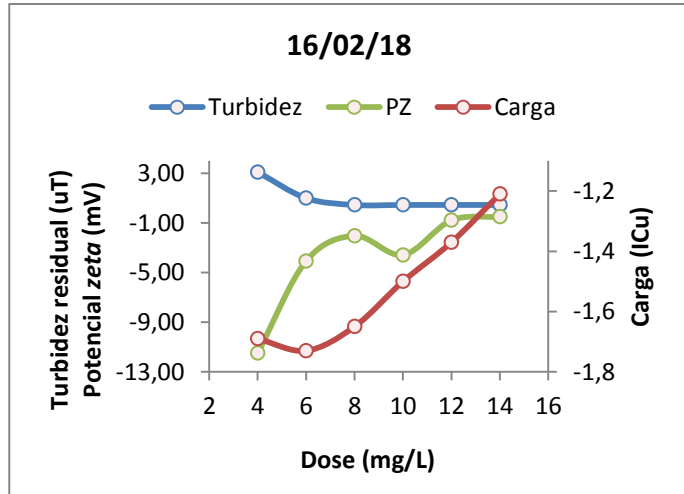
<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
09/11/2018	8	0,90	0	7	23,8	-1,27	-0,75	0,0844
	10	0,75	0	7,21	23,9	-1,19	-1,22	0,0864
	12	1,00	1	7,02	24	-1,09	-1,95	0,0882
	14	0,75	0	6,95	23,9	-1,01	-1,53	0,0906
	16	1,10	0	6,8	23,7	-0,83	-2,18	0,0923
	18	1,10	0	6,8	24	-0,59	-0,348	0,0924
12/11/2018	8	1,60	14	6,75	23,4	-1,21	-9,39	0,0825
	10	1,60	12	6,65	23,2	-1,13	-8,36	0,0822
	12	1,50	14	6,62	23,3	-0,96	-4,1	0,0845
	14	1,90	16	6,56	23,2	-0,94	-2,19	0,0844
	16	2,70	19	6,51	23,2	-0,79	-1,22	0,085
	18	2,80	18	6,45	23,2	-0,59	0,105	0,0864
14/11/2018	4	3,30	16	7,27	24,2	-1,54	-9,27	0,078
	6	1,40	19	7,24	24,2	-1,46	-3,96	0,0806
	8	1,30	16	7,25	24,5	-1,32	-4,57	0,0788
	10	1,50	19	7,25	24,3	-1,23	-3,85	0,0798
	12	1,30	20	7,13	24,4	-1,11	-4,95	0,0844
	14	2,80	19	6,87	24,4	-0,86	-1,27	0,0832
16/11/2018	4	2,00	0	7,24	24,2	-1,49	-9,22	0,0771
	6	1,10	0	7,08	24,2	-1,5	-4,91	0,0775
	8	0,85	0	6,95	24,1	-1,41	-4,09	0,079
	10	1,00	0	6,85	24	-1,27	-2,76	0,0839
	12	0,45	0	6,78	24,2	-1,09	-1,21	0,0862
	14	1,10	0	6,94	24,1	-0,96	-1,86	0,0861

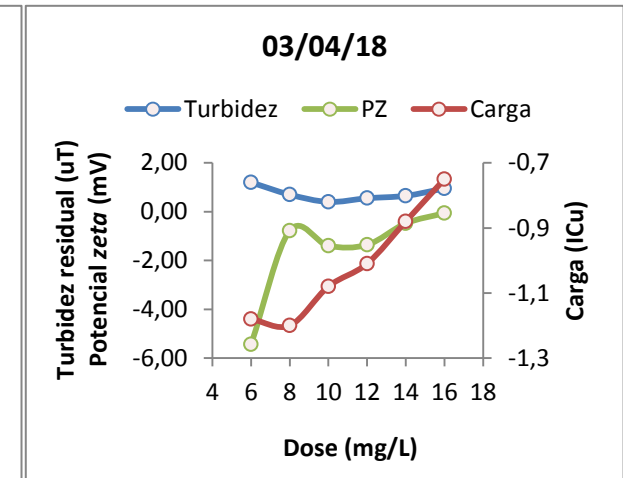
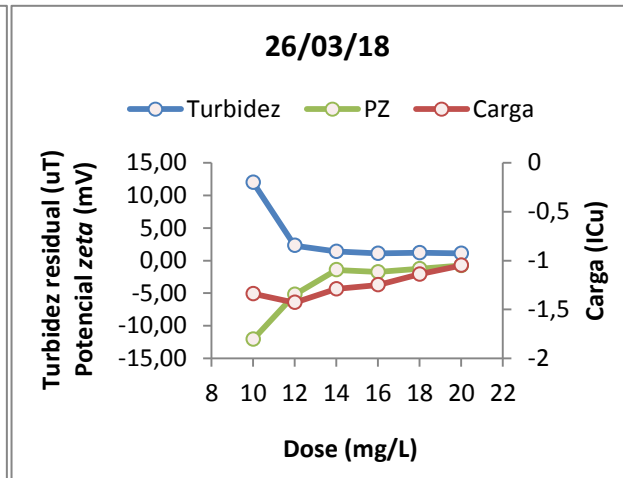
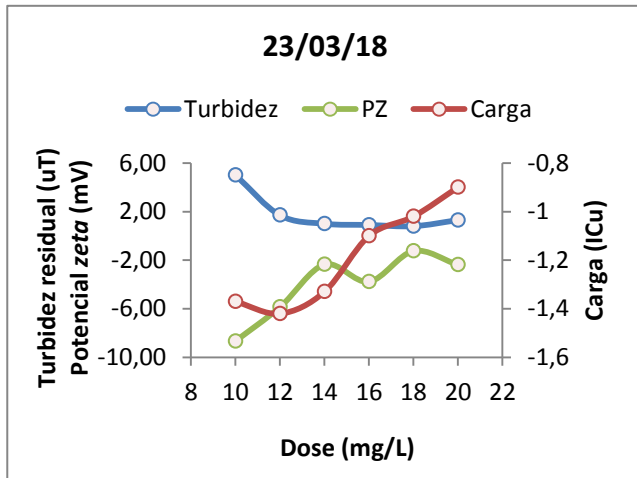
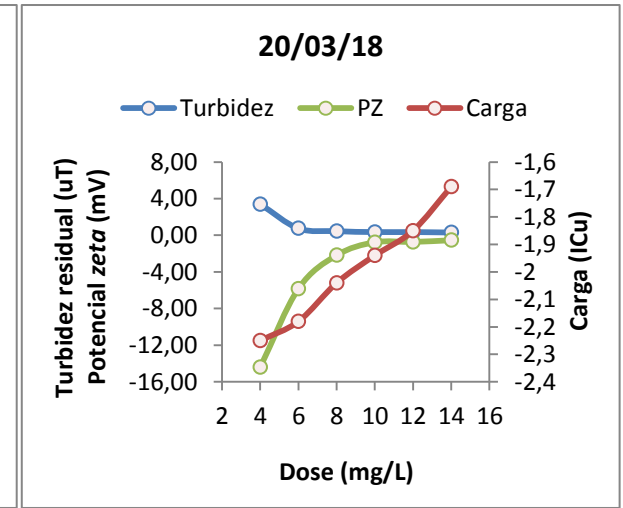
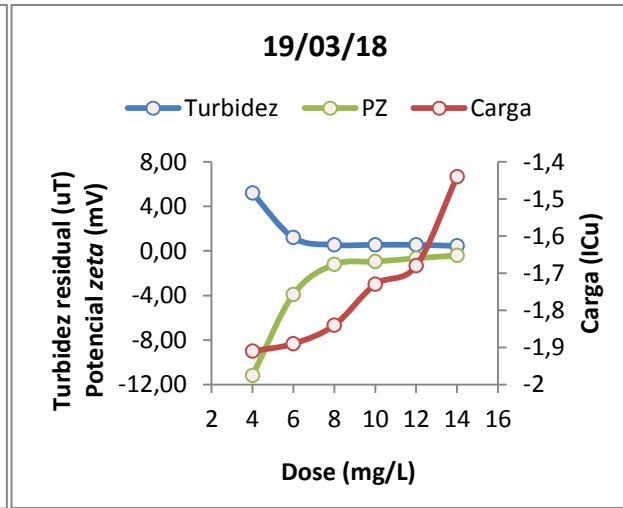
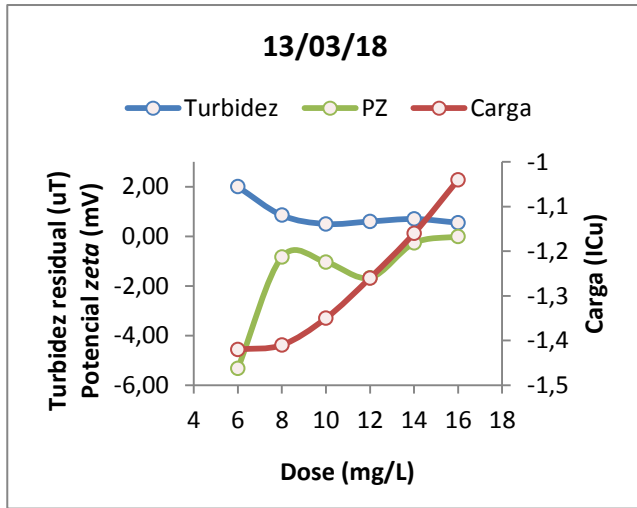
<b>Data</b>	<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor Verd. (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (ICu)</b>	<b>PZ (mv)</b>	<b>Contutividade (ms/cm)</b>
18/11/2018	8	2,20	27	7,02	23,9	-1,2	-10,9	0,0831
	10	1,50	21	6,9	23,8	-1,1	-7,23	0,0839
	12	1,50	18	6,87	24	-0,97	-5,41	0,085
	14	1,70	22	6,74	23,8	-0,84	-5,22	0,0853
	16	1,90	23	6,67	23,8	-0,8	-4,36	0,0888
	18	2,10	10	6,64	24	-0,68	-3,09	0,0882
21/11/2018	6	1,70	23	6,9	22,1	-0,83	-7,69	0,0792
	8	1,50	21	6,85	22	-0,73	-9,29	0,0803
	10	1,20	15	6,77	22	-0,61	-7,34	0,0798
	12	1,40	18	6,75	22	-0,5	-2,29	0,0834
	14	1,70	16	6,71	21,9	-0,39	-1,11	0,0821
	16	1,80	22	6,78	21,9	-0,26	-1,69	0,0824
26/11/2018	8	1,40	0	7,07	23,8	-1,16	-6,68	0,0734
	10	1,00	0	6,96	23,6	-1,07	-7,36	0,0752
	12	1,20	0	6,75	23,6	-1	-7,58	0,0767
	14	1,20	0	6,9	23,5	-0,85	-6,02	0,0776
	16	1,30	0	6,87	23,4	-0,63	-5,41	0,0798
	18	1,70	0	6,83	23,7	-0,43	-2,8	0,079

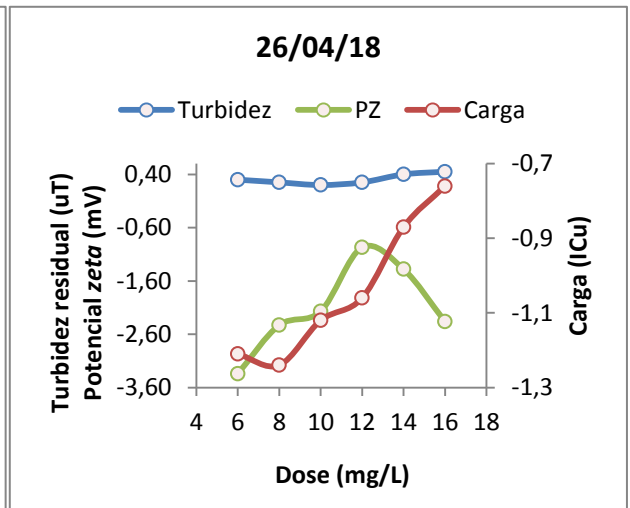
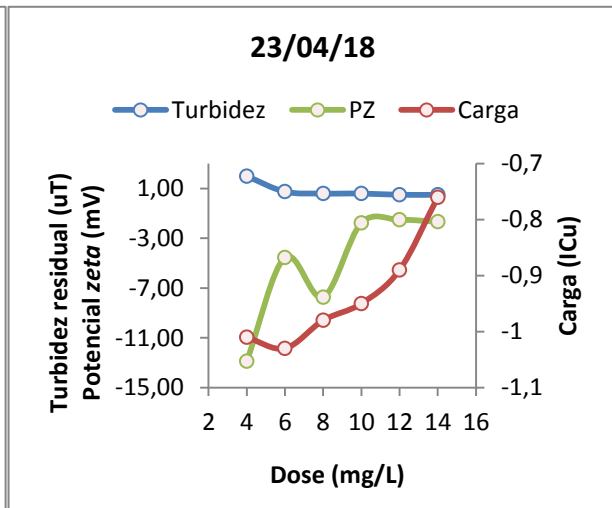
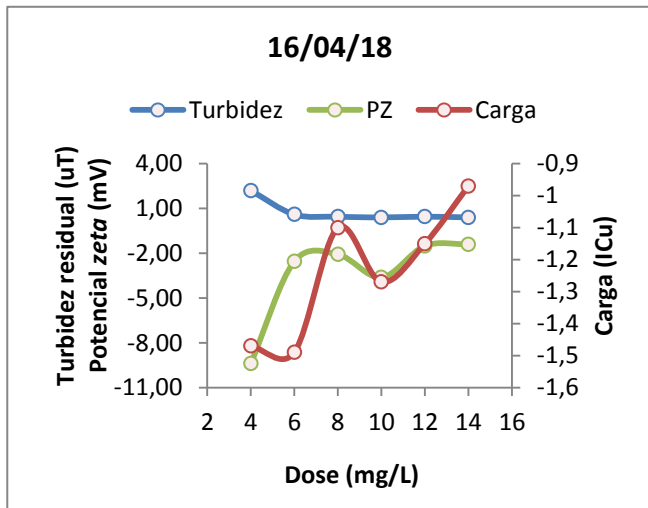
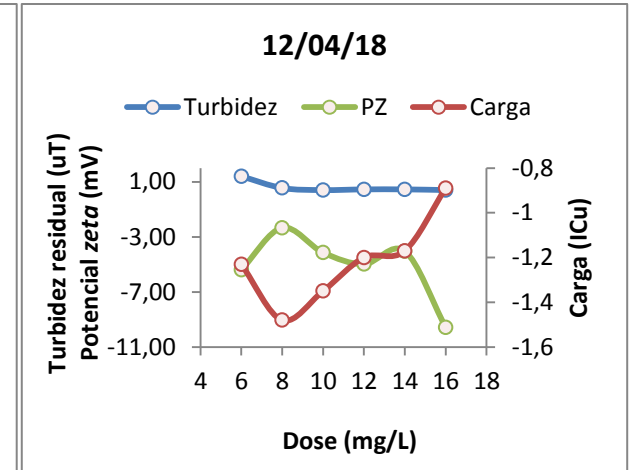
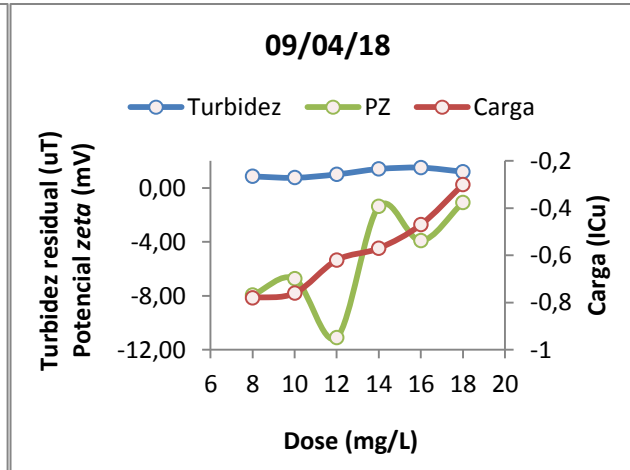
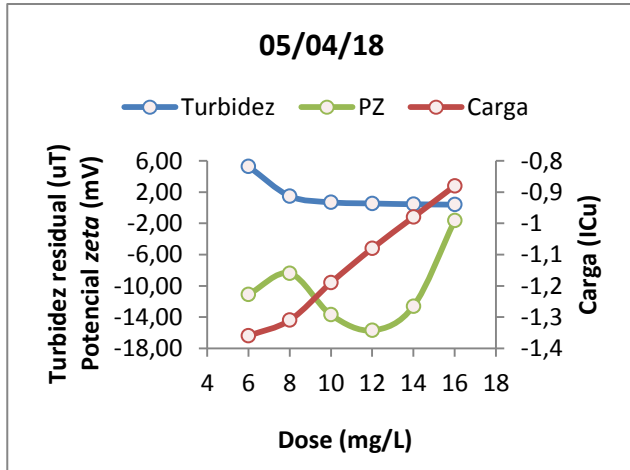
**APÊNDICE C: VARIAÇÃO DA TURBIDEZ, CARGA E PZ DA ÁGUA DECANTADA EM FUNÇÃO DA DOSE DE SULFATO DE ALUMÍNIO POR DATA.**

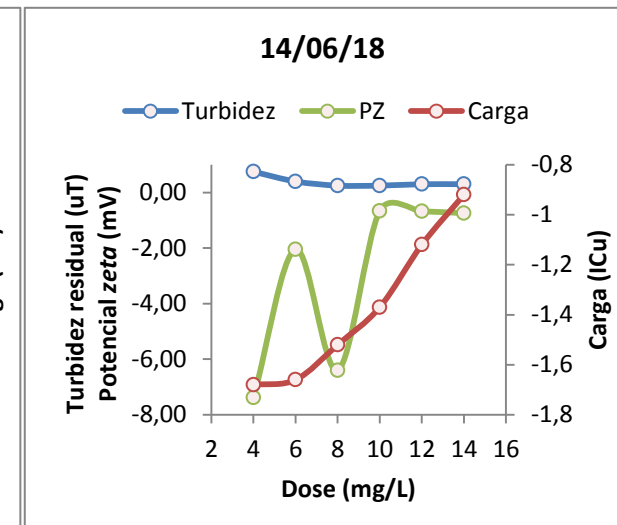
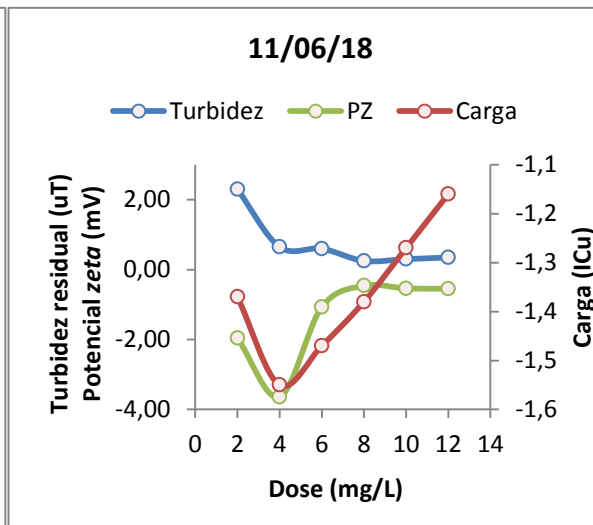
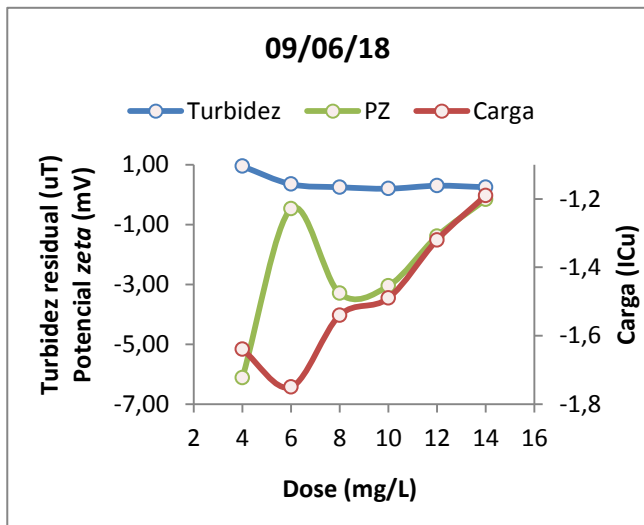
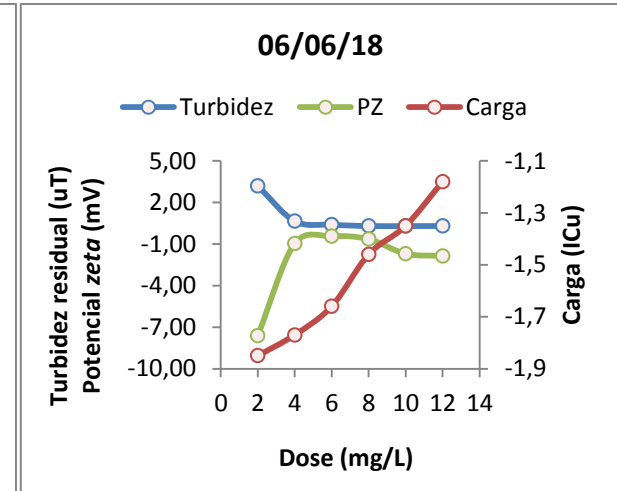
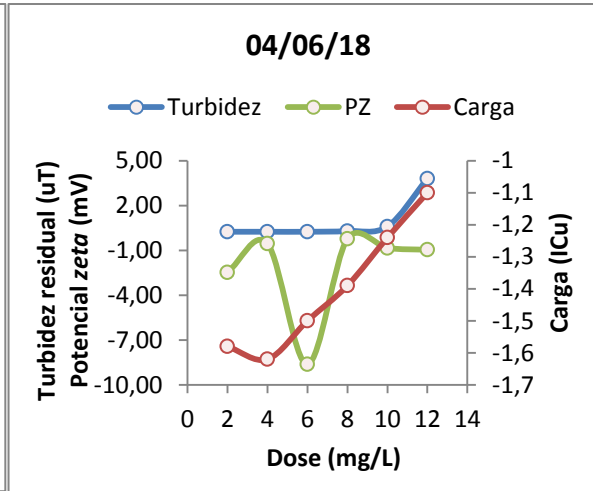
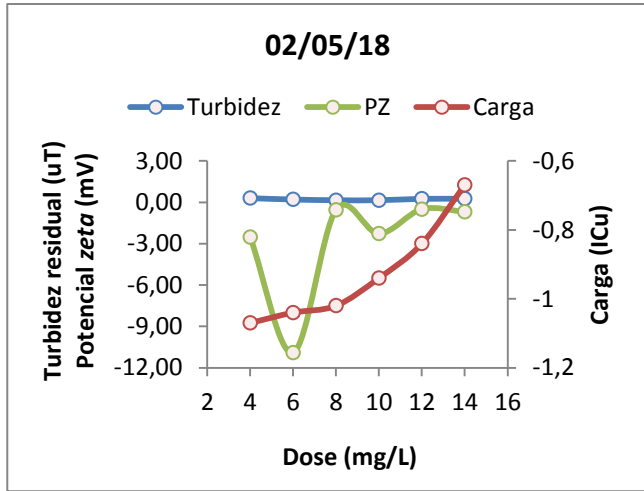


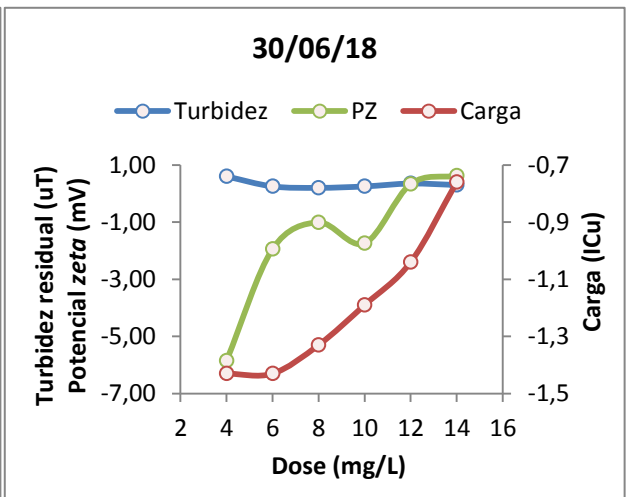
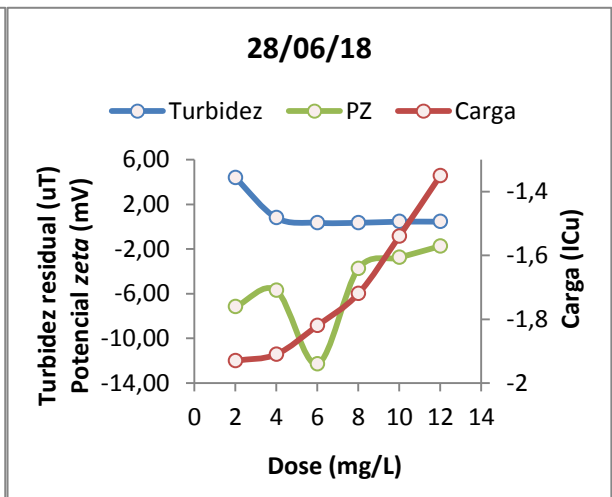
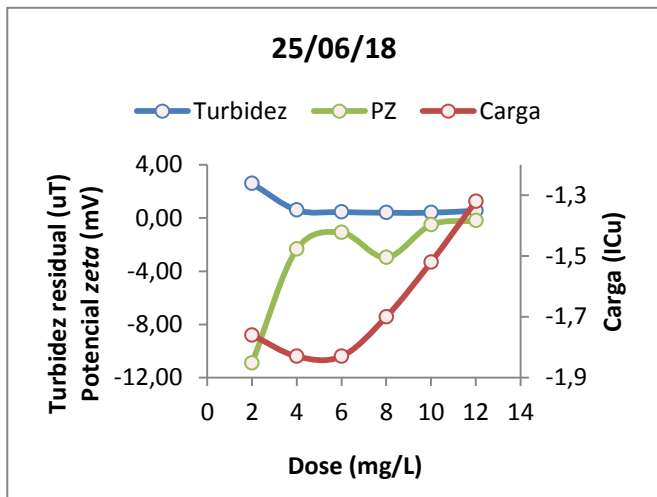
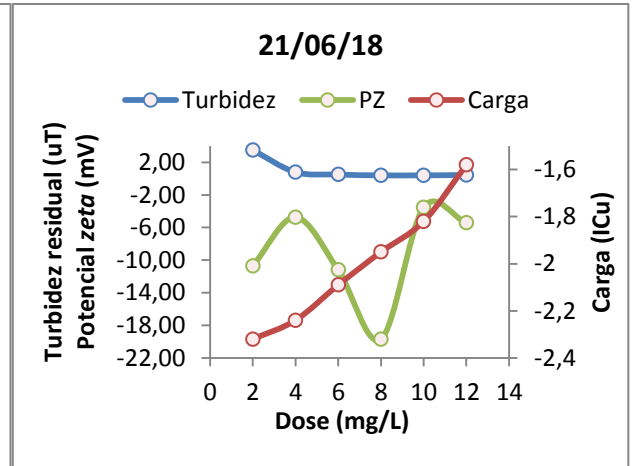
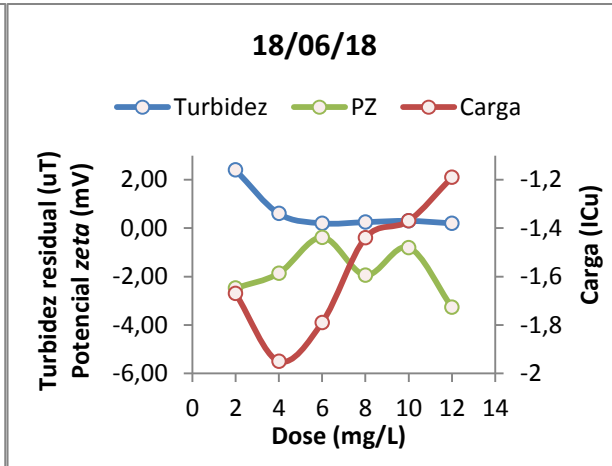
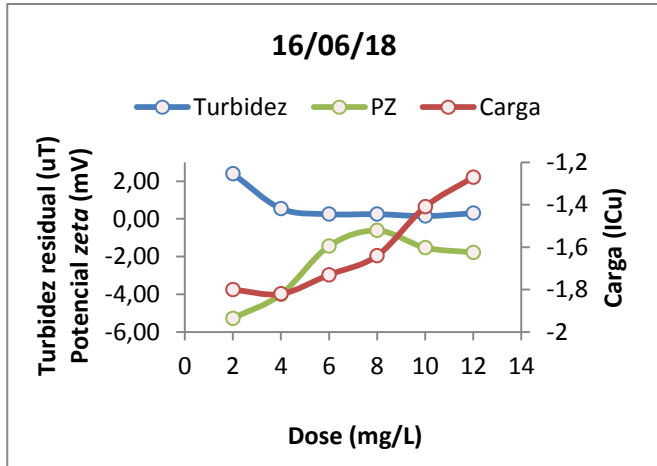


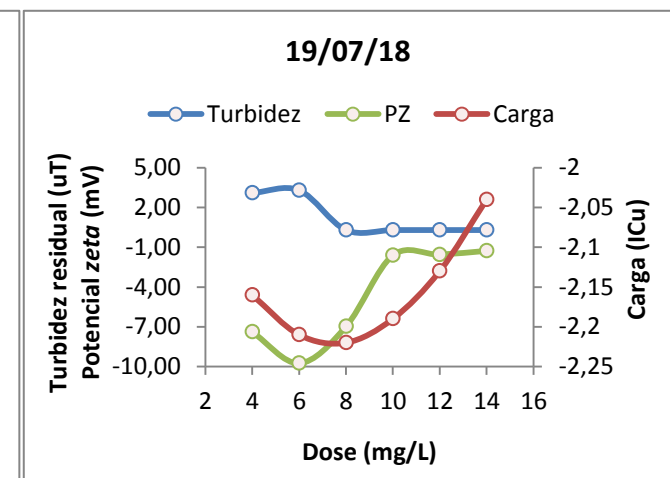
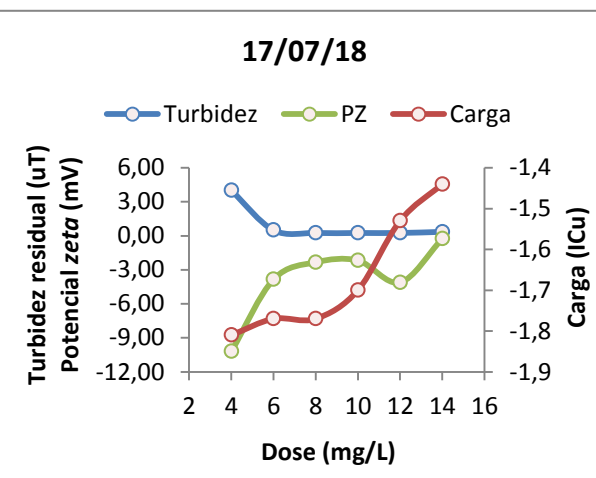
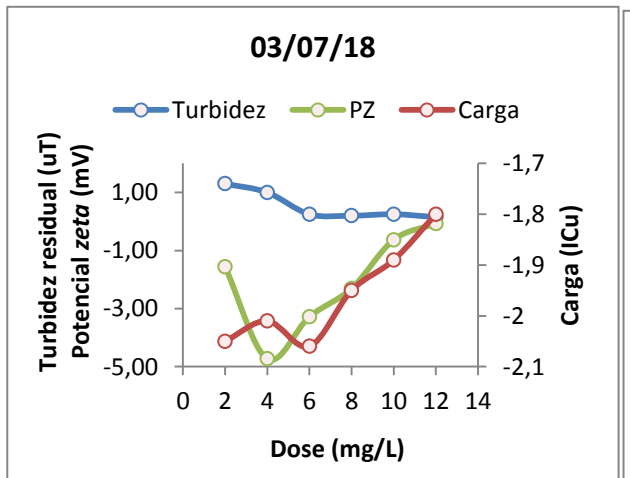
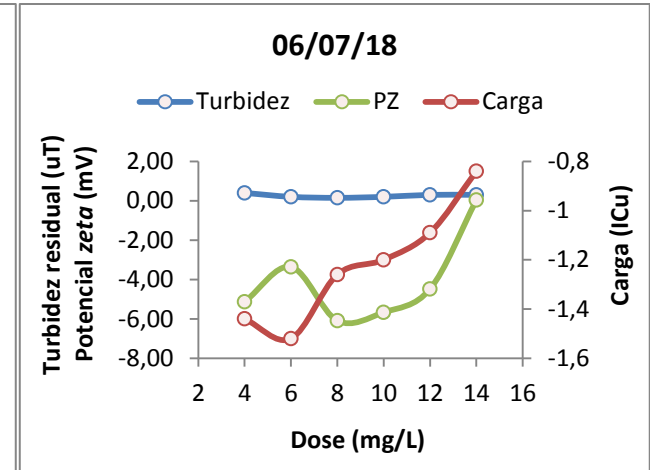
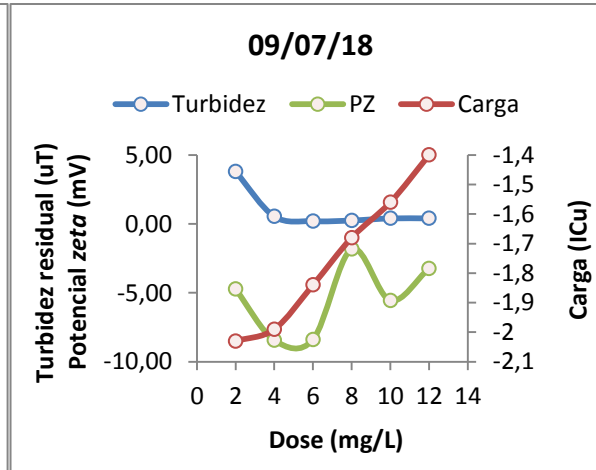
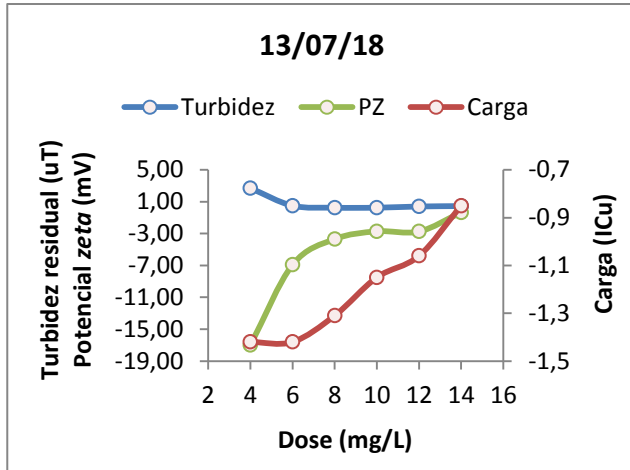


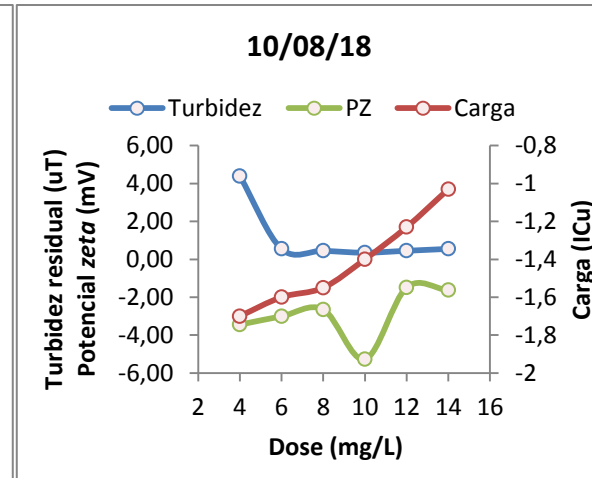
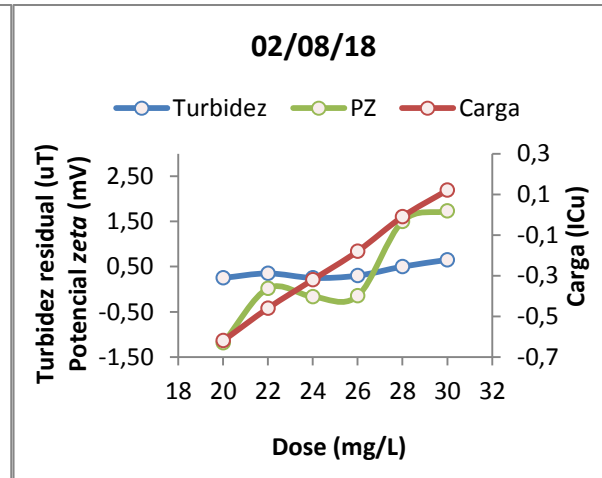
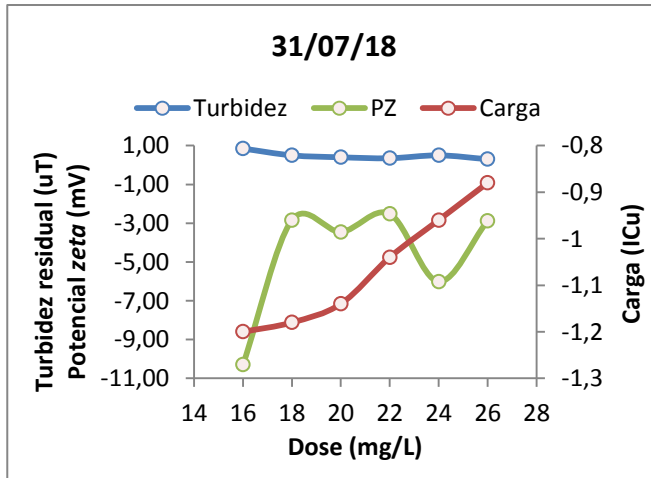
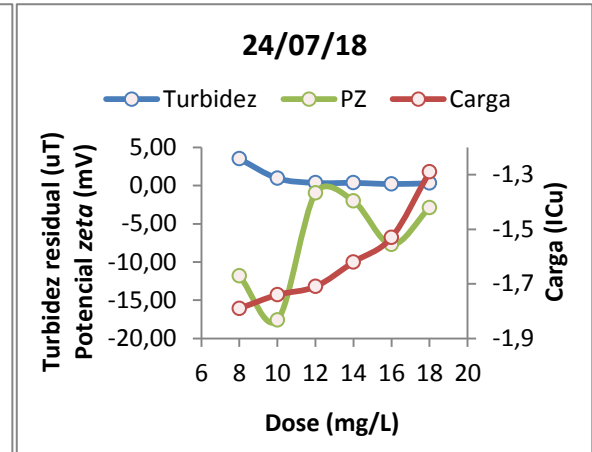
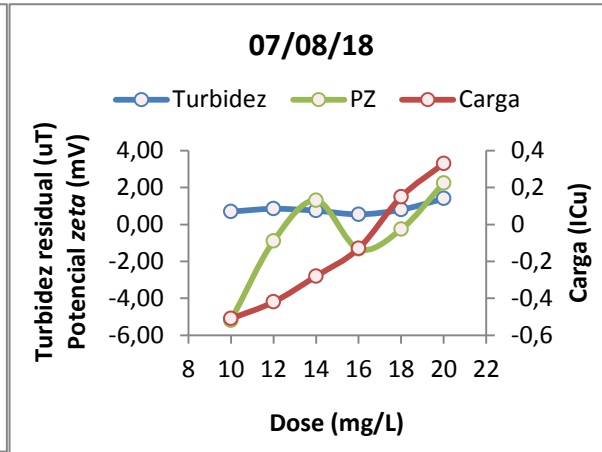
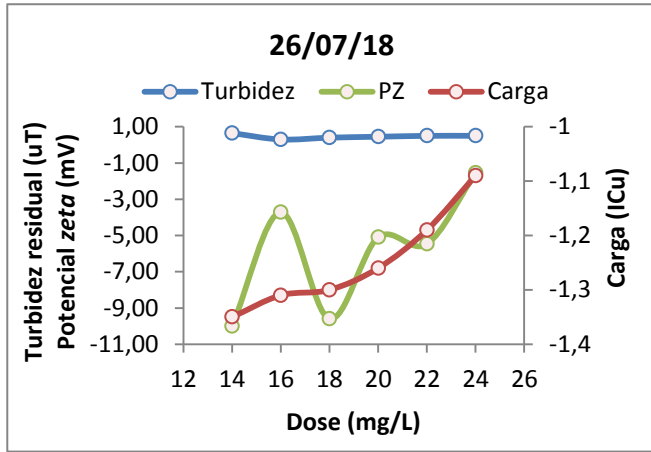


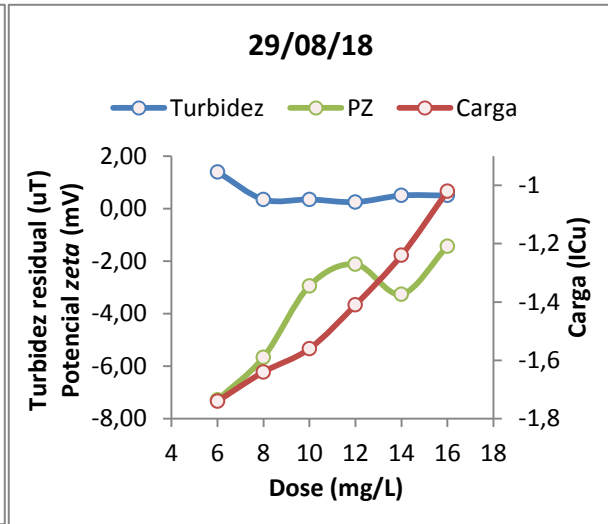
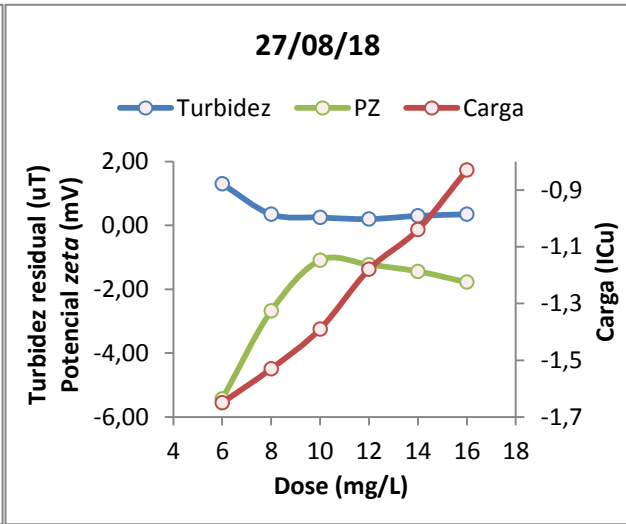
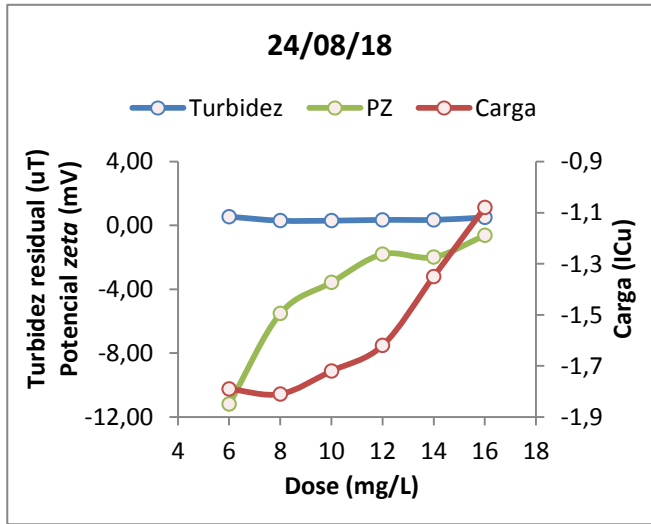
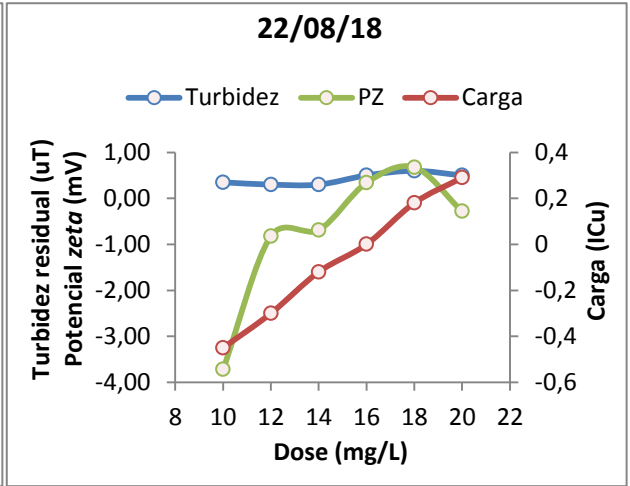
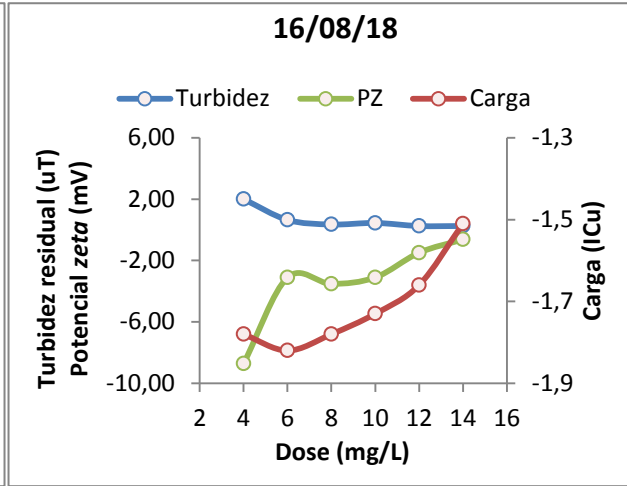
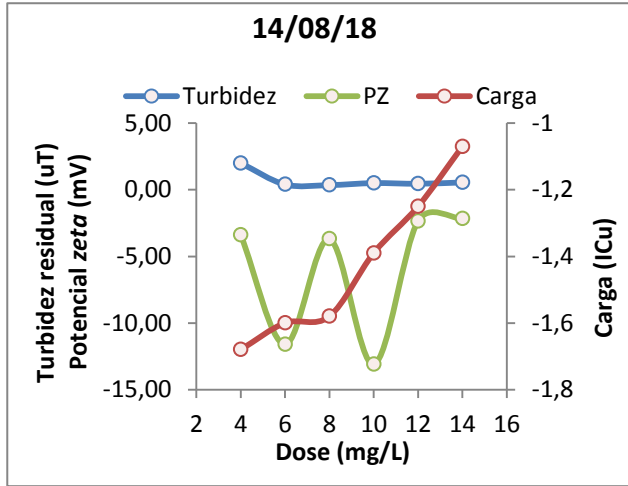


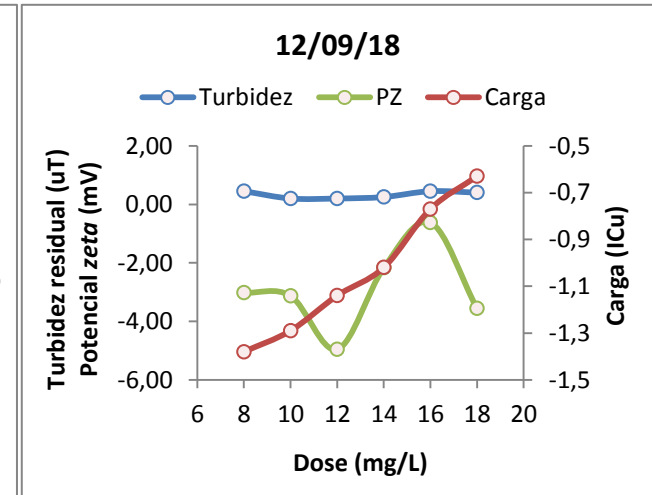
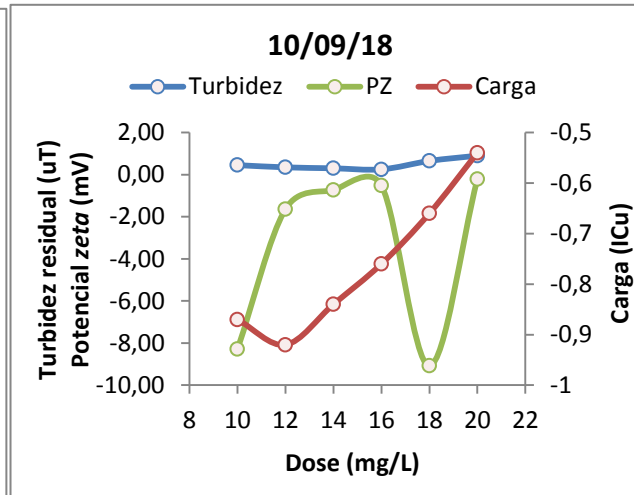
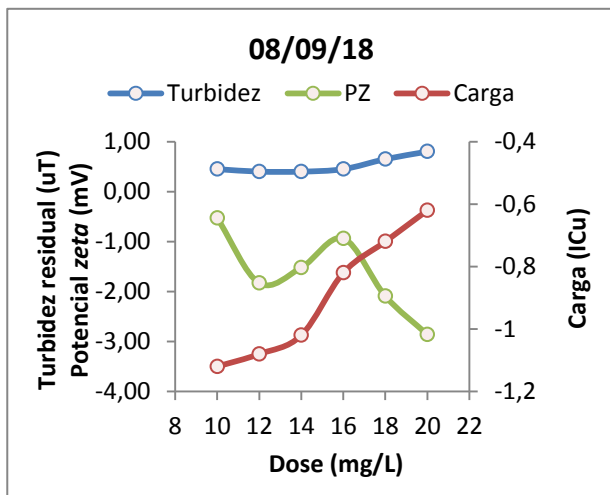
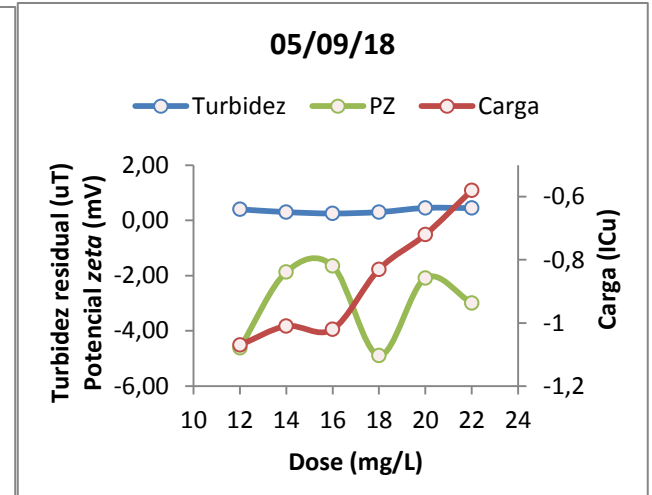
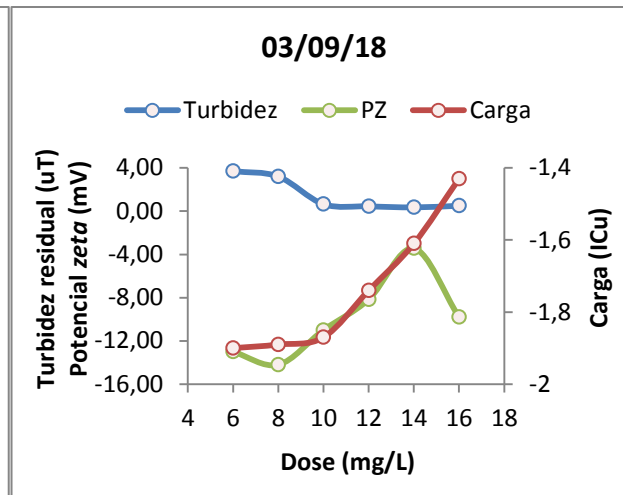
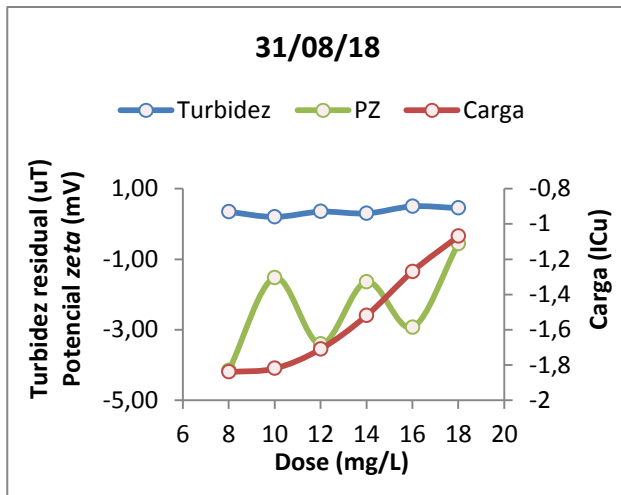


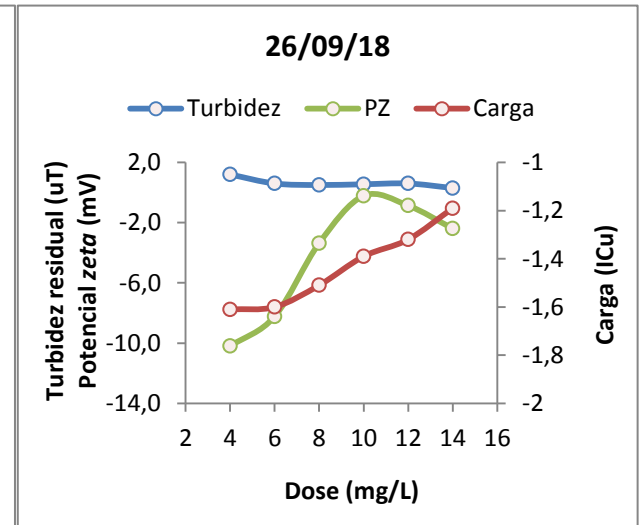
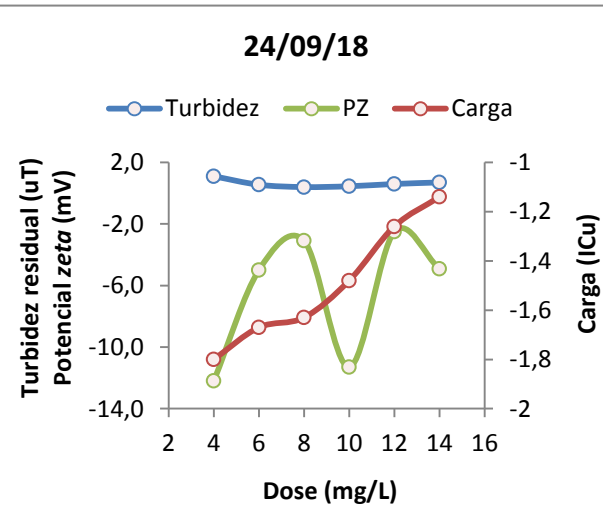
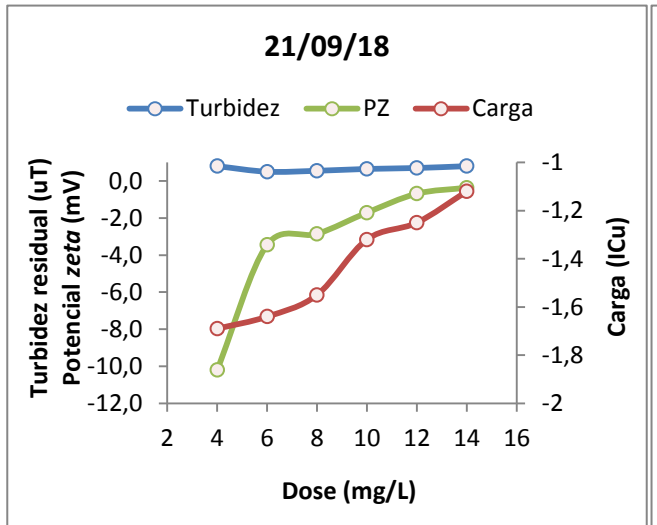
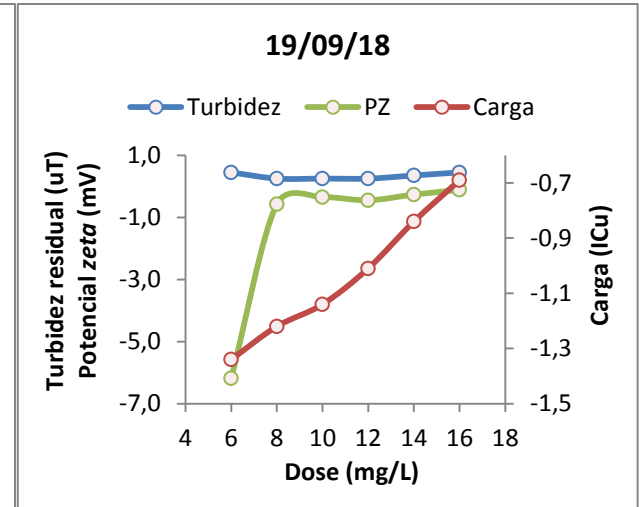
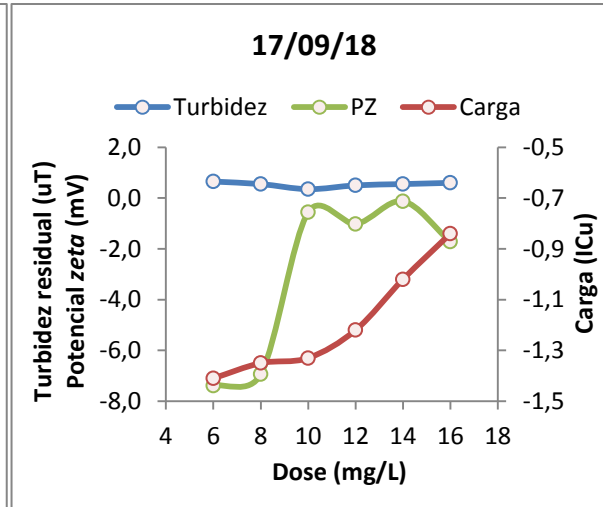
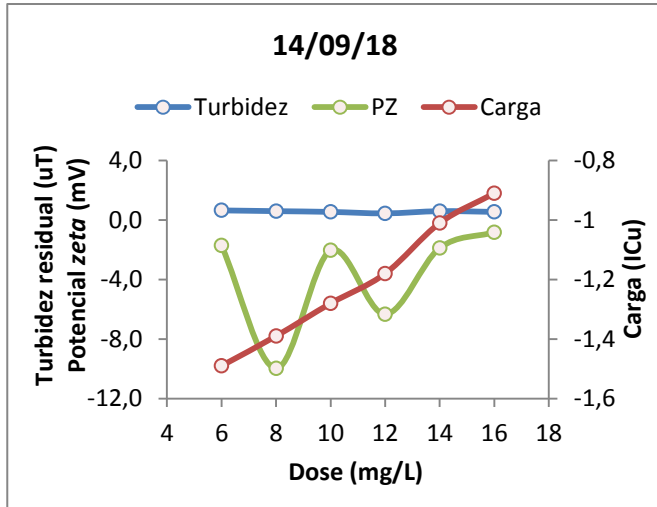


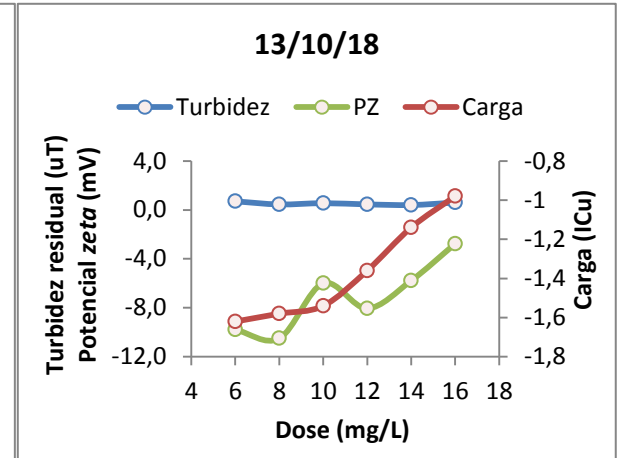
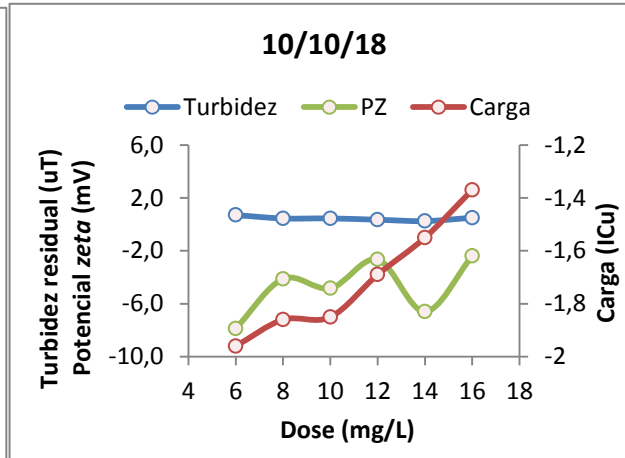
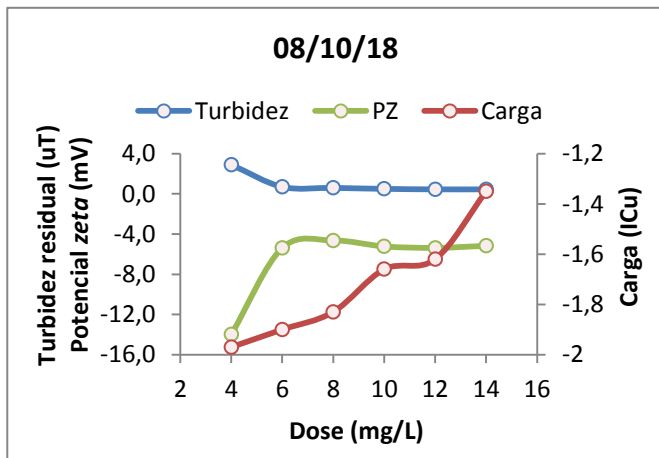
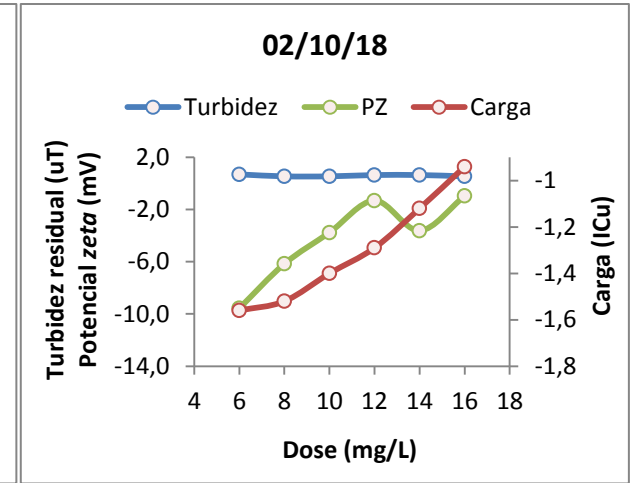
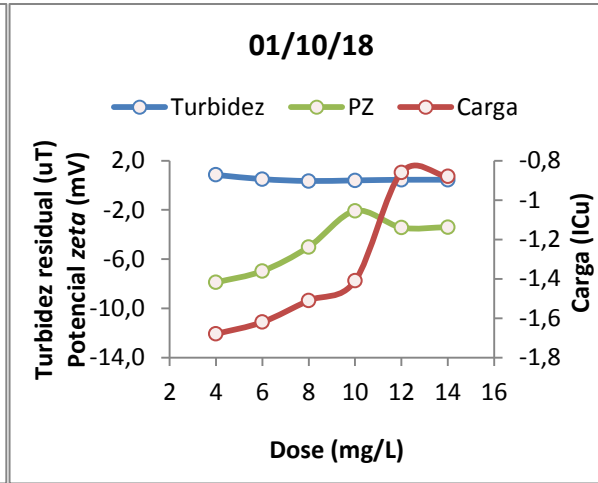
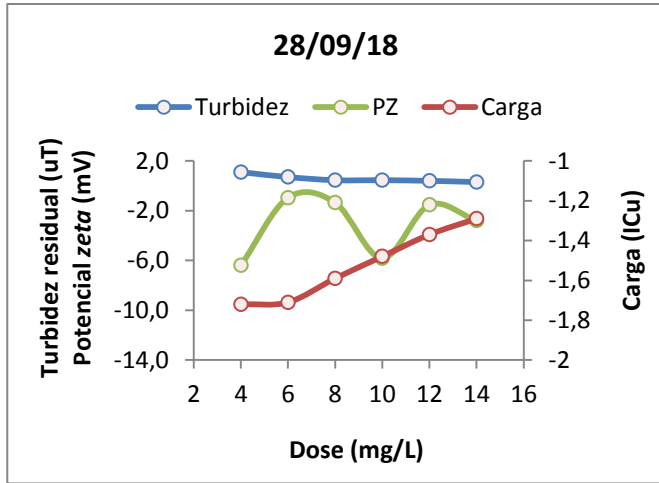


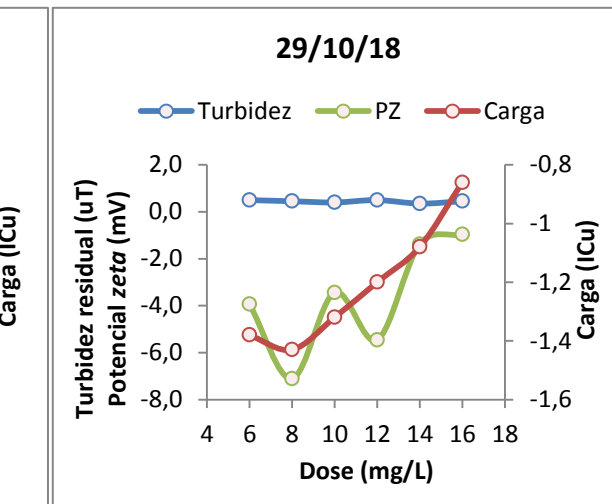
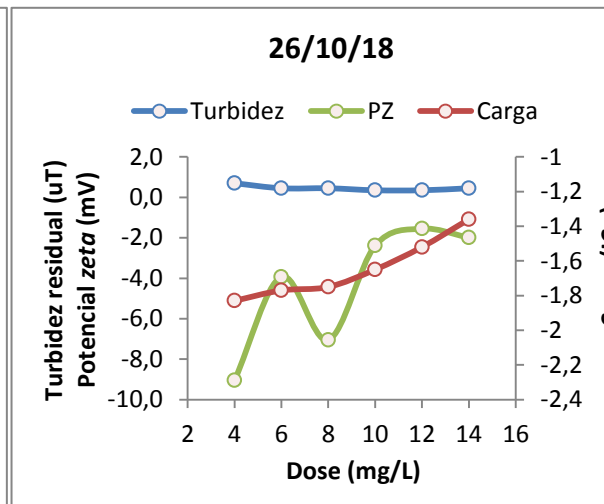
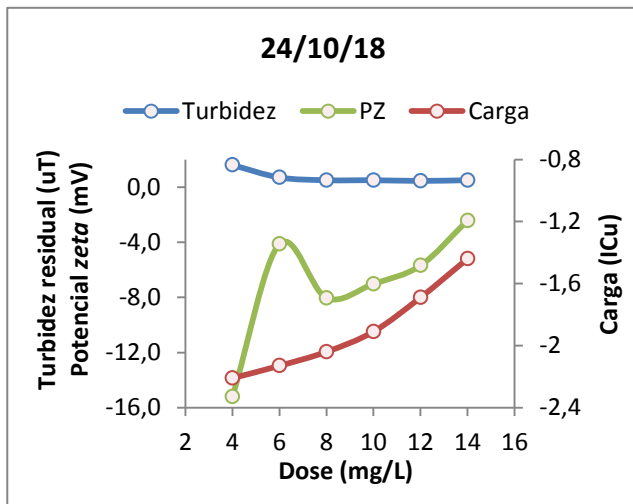
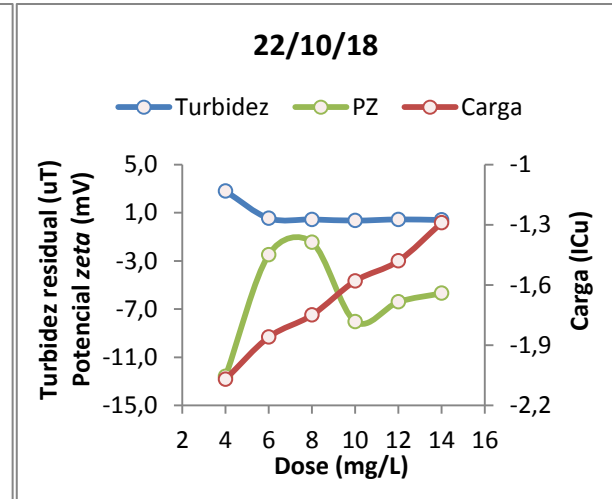
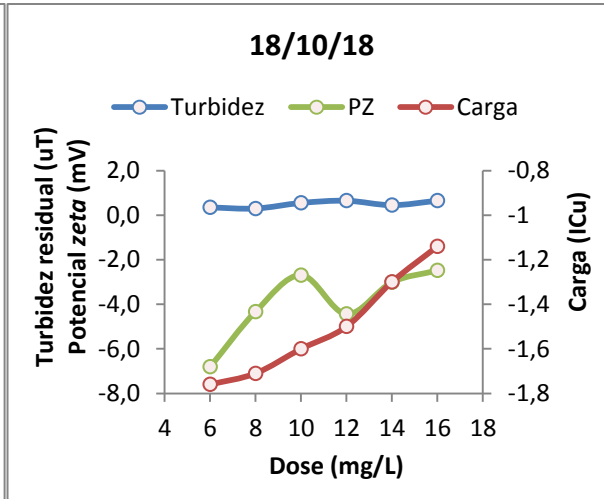
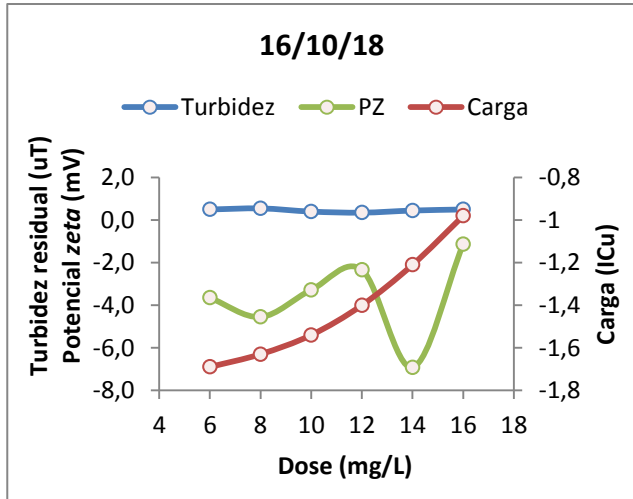


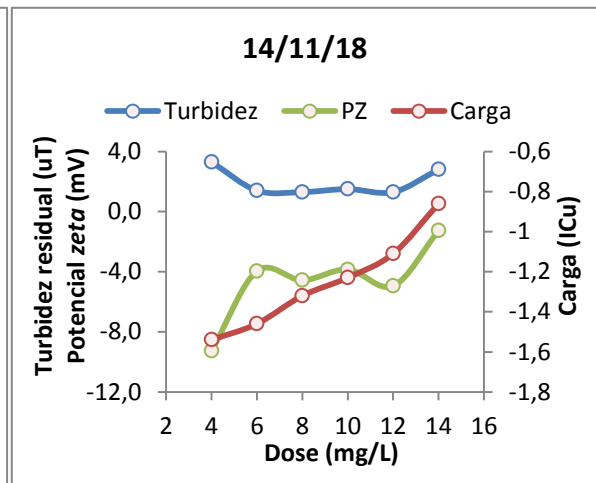
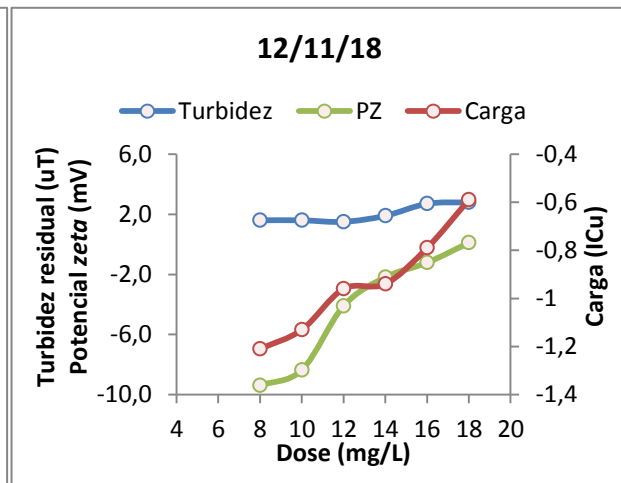
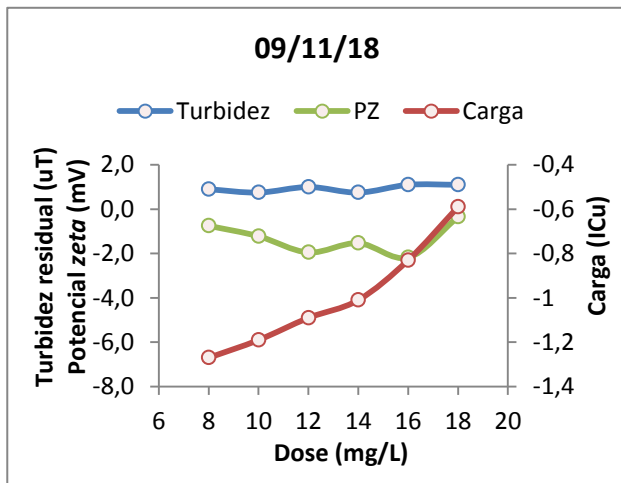
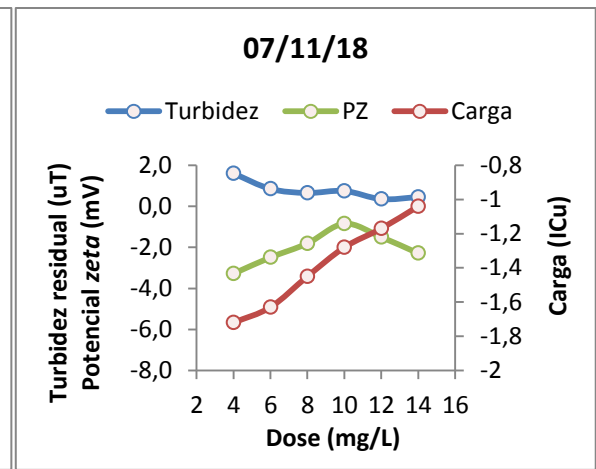
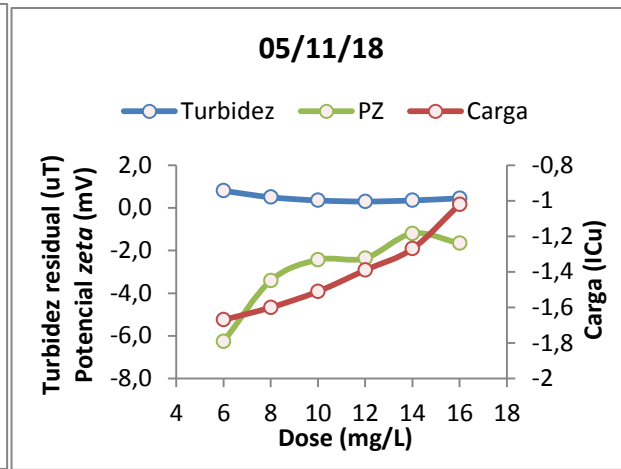
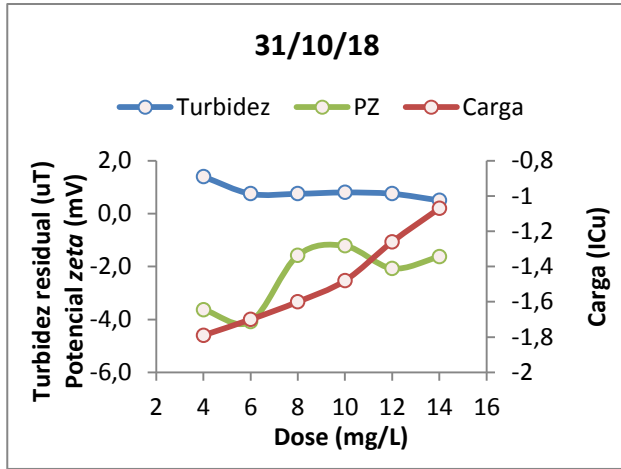


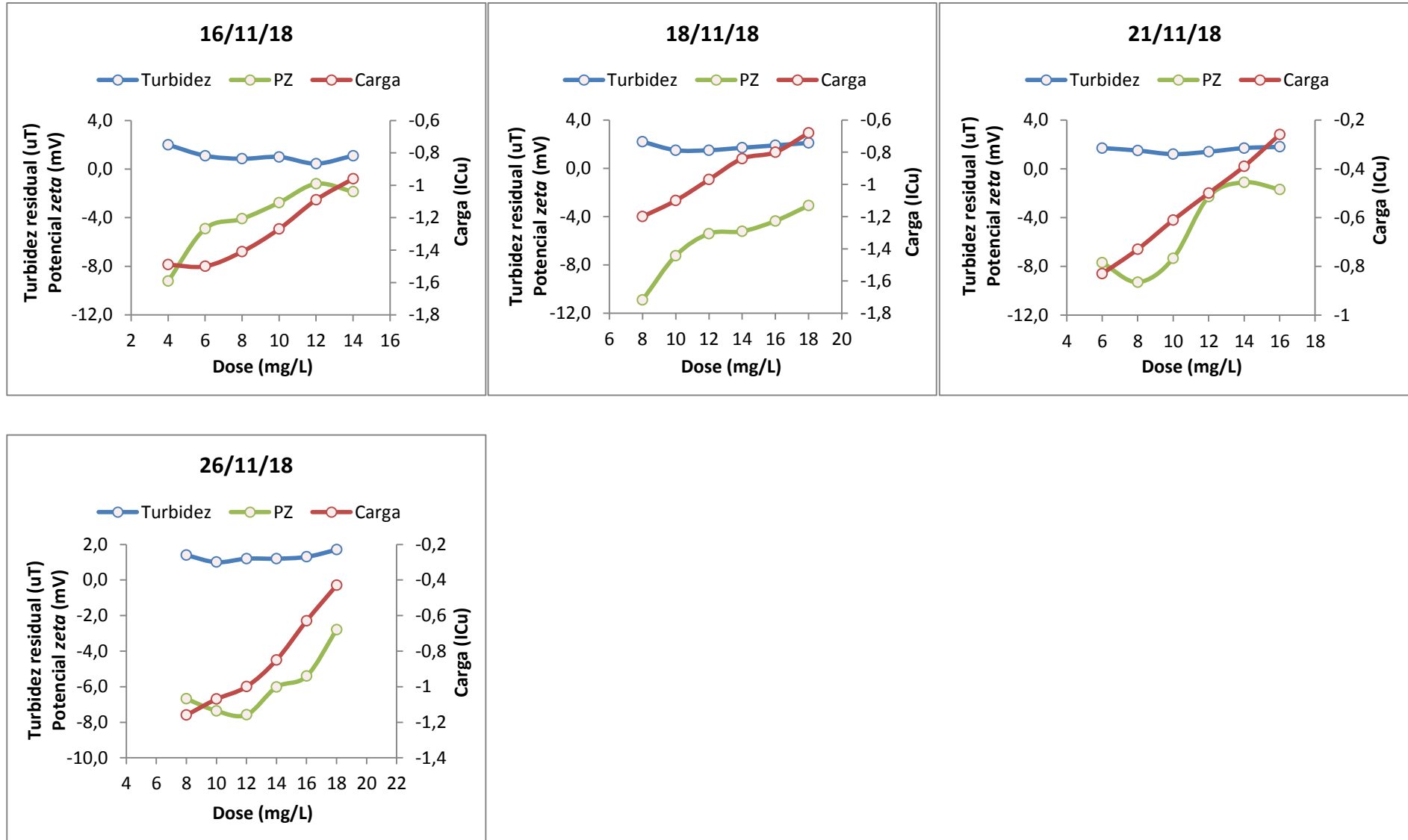




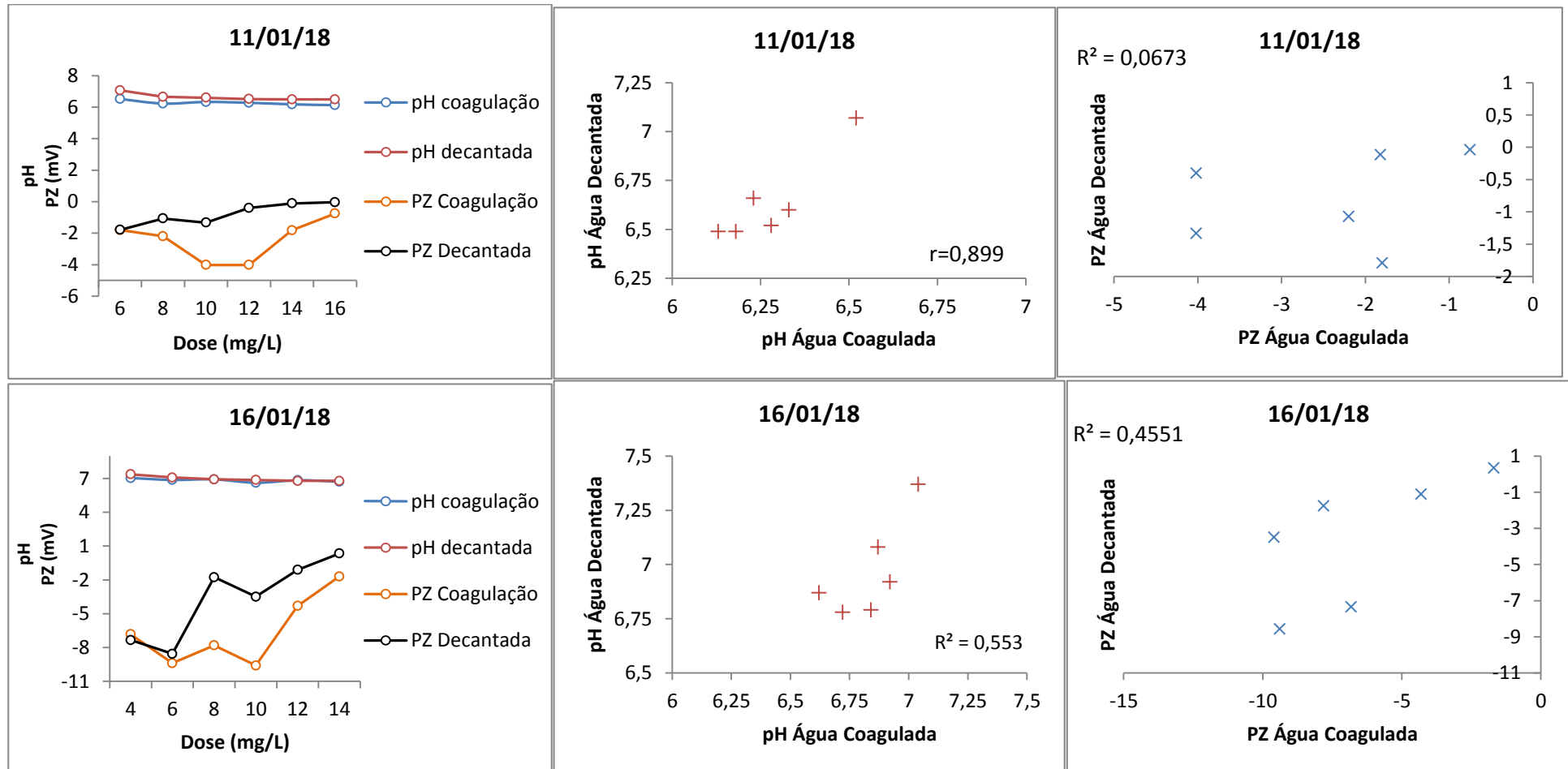


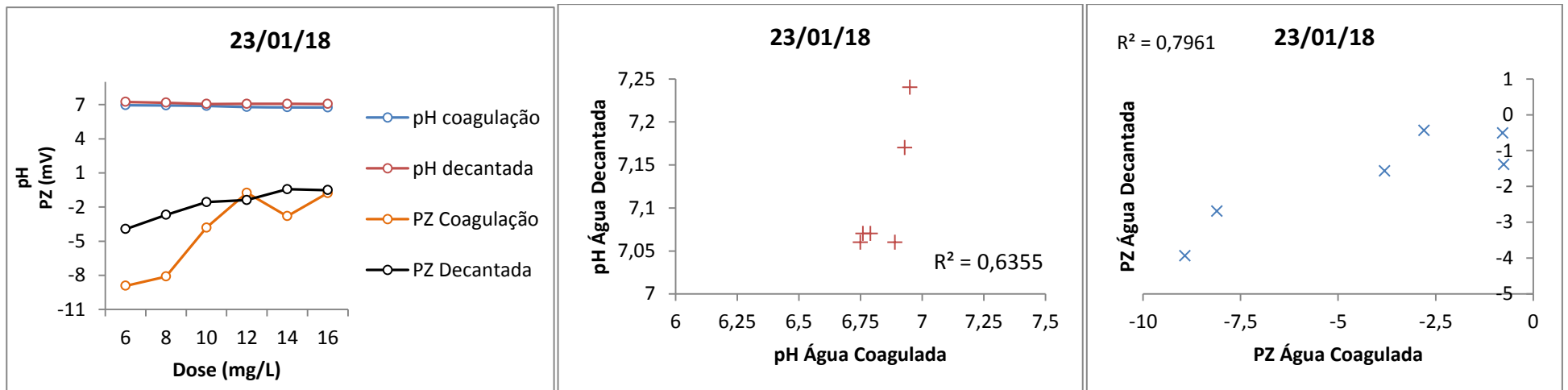
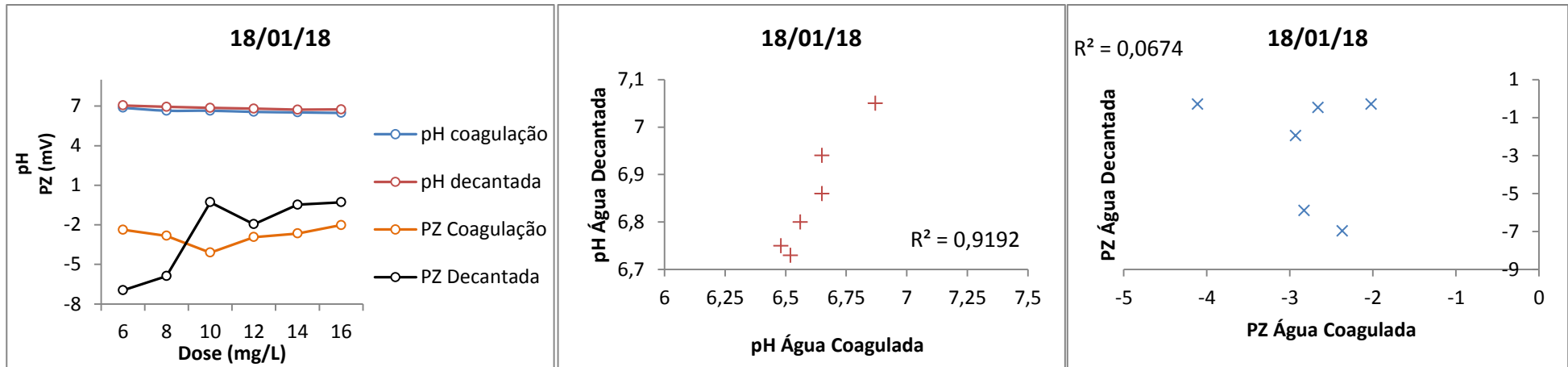


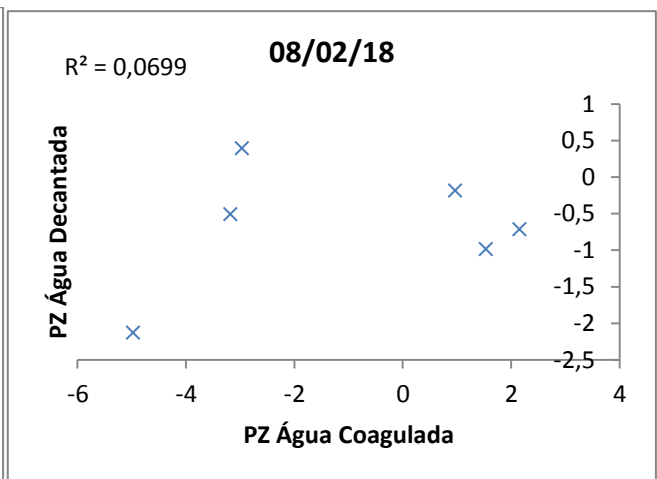
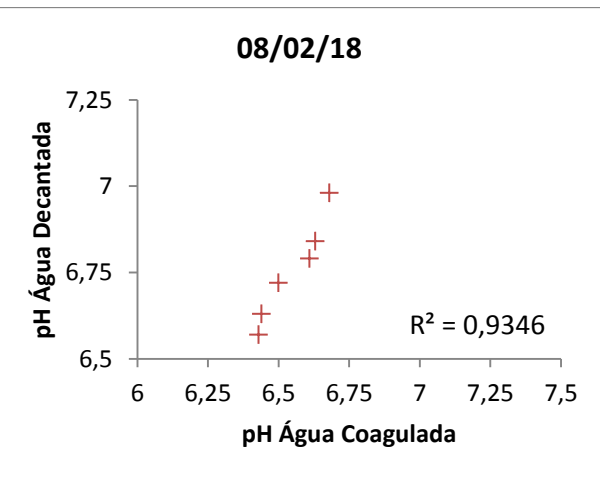
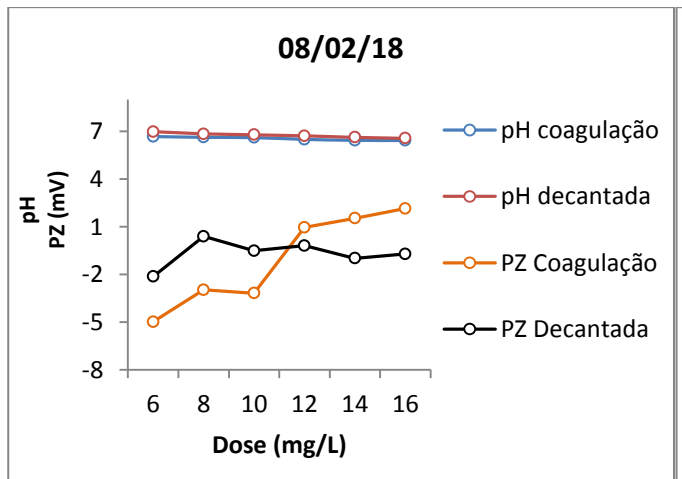
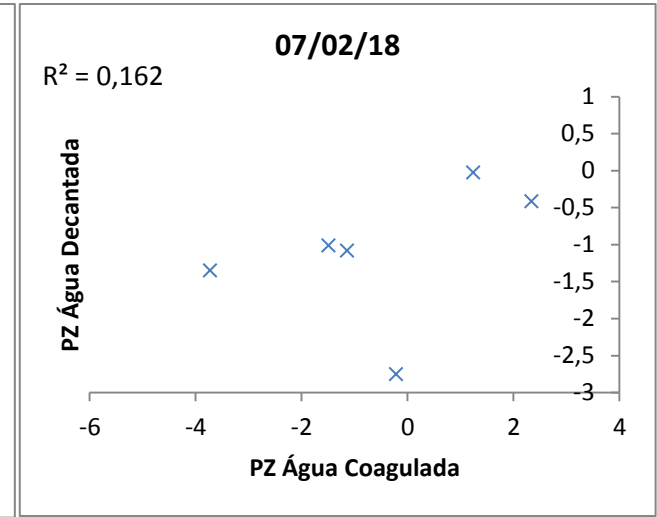
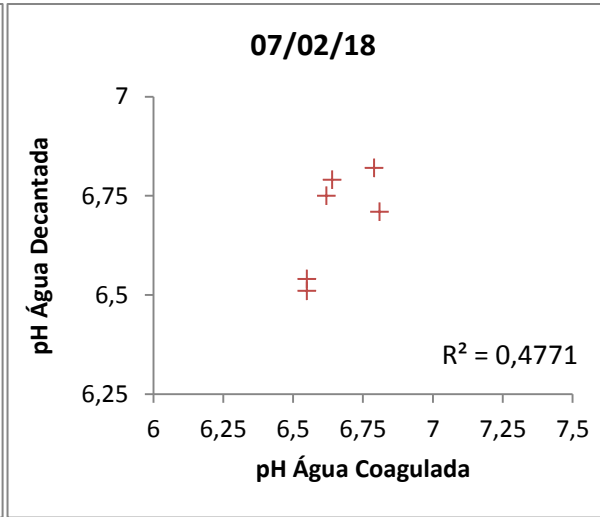
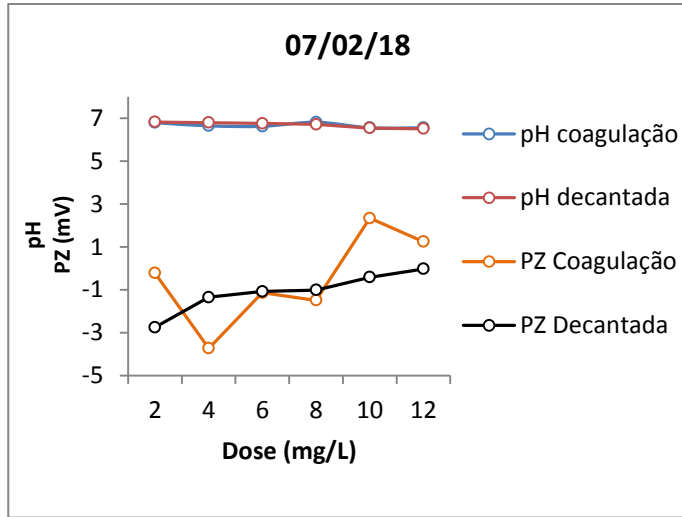


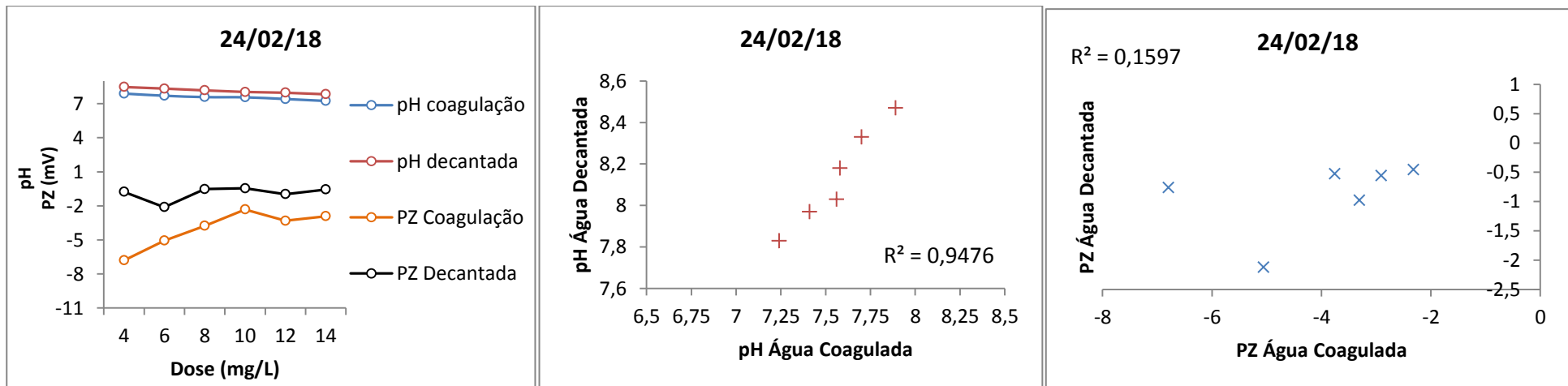
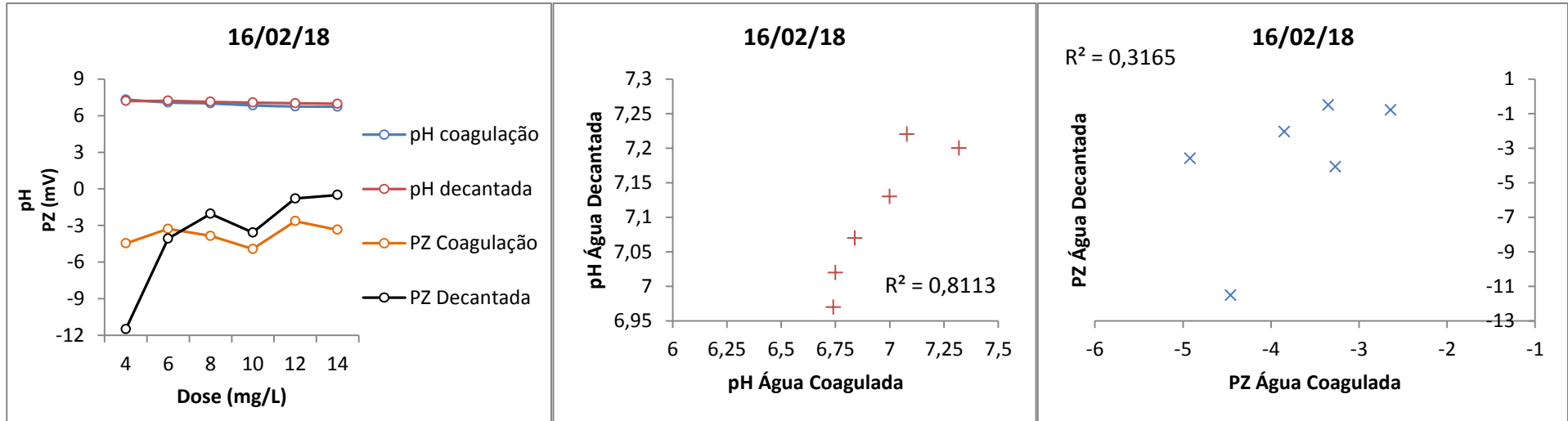


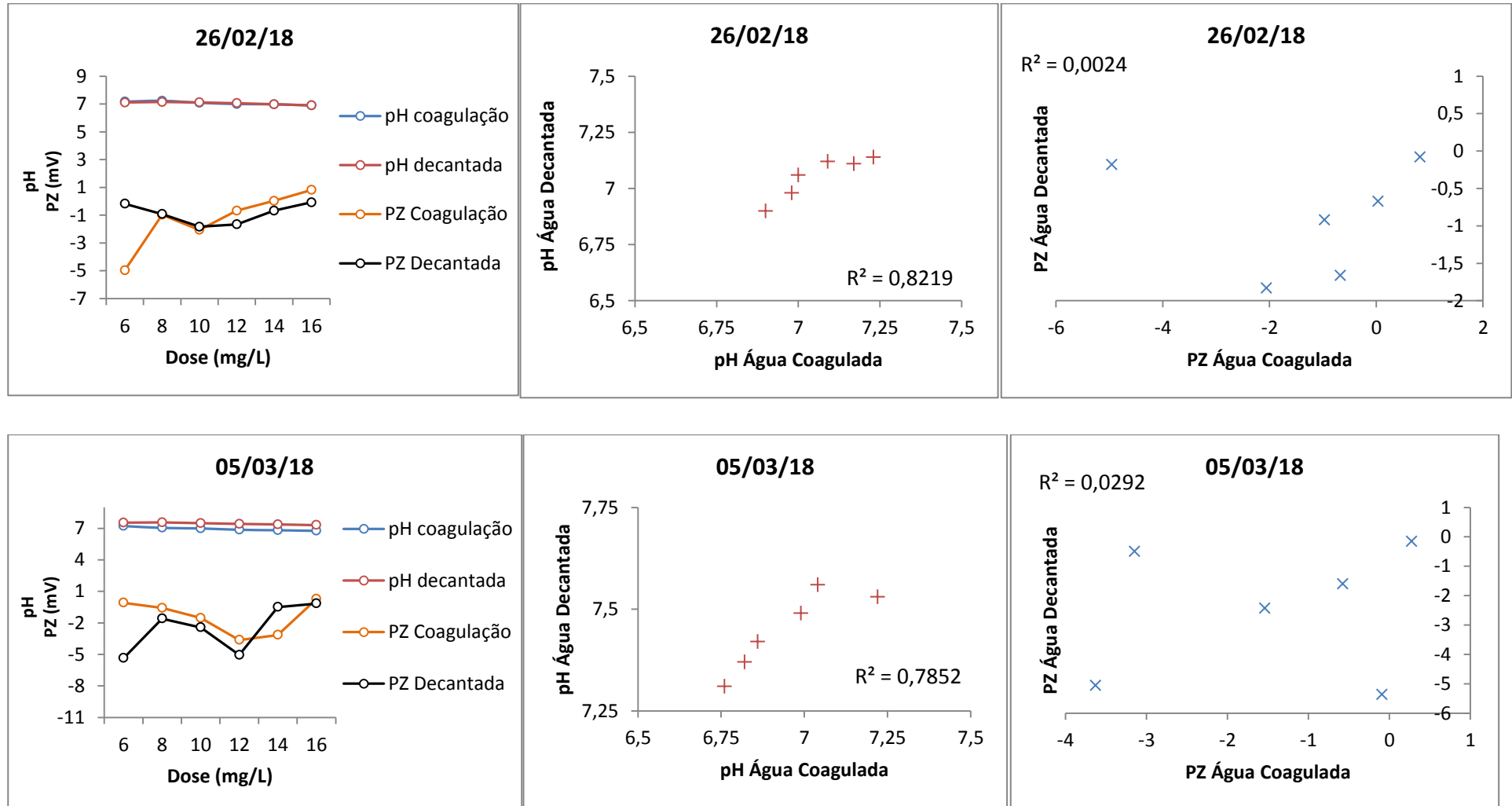
**APÊNDICE D:** (A) VARIAÇÃO DO PH E PZ DA ÁGUA COAGULADA E DECANTADA EM FUNÇÃO DA DOSE, DIAGRAMA DE DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS: (B) PH DA ÁGUA COAGULADA E PH ÁGUA DECANTADA (C) PZ DA ÁGUA COAGULADA E PZ ÁGUA DECANTADA, POR DATA.

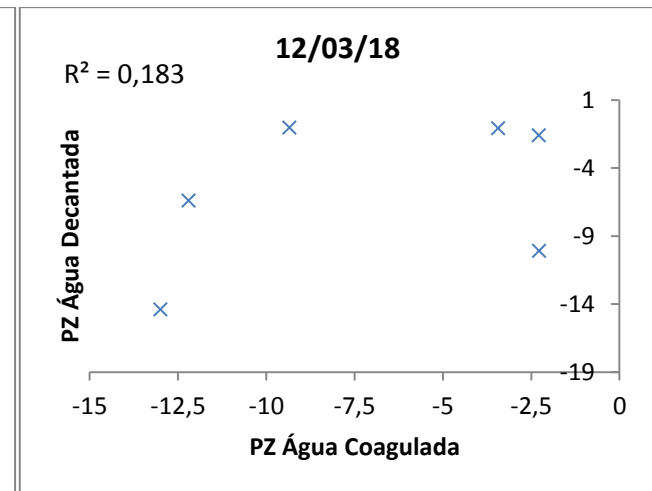
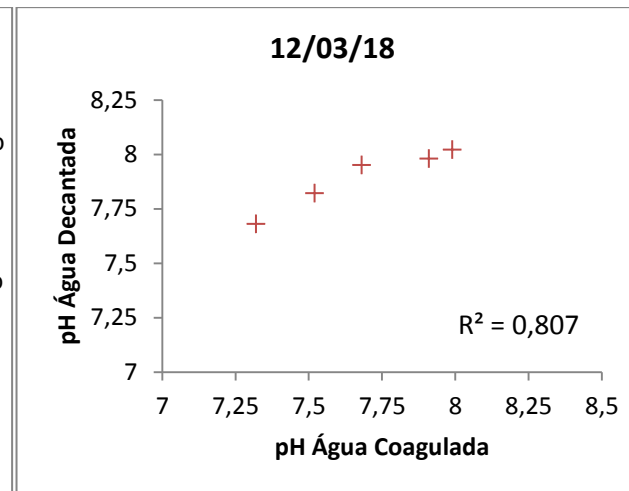
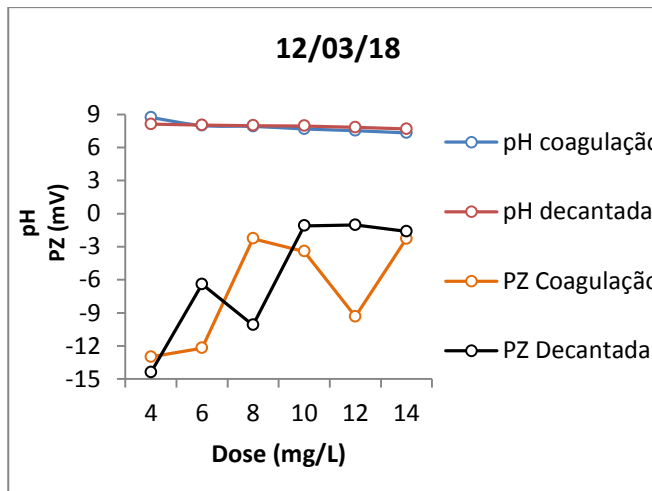
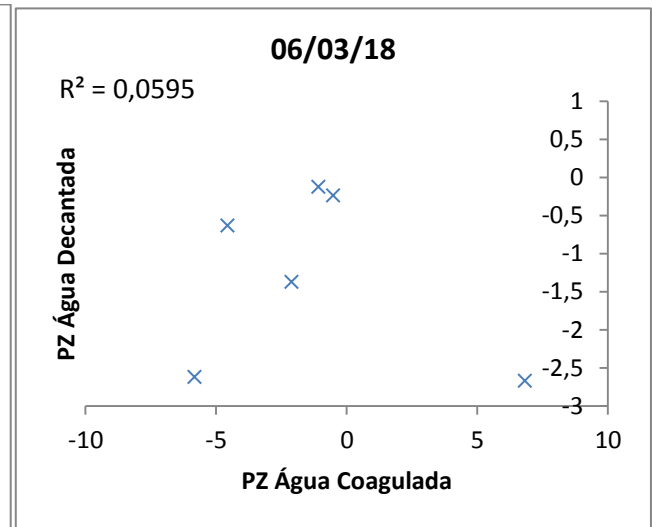
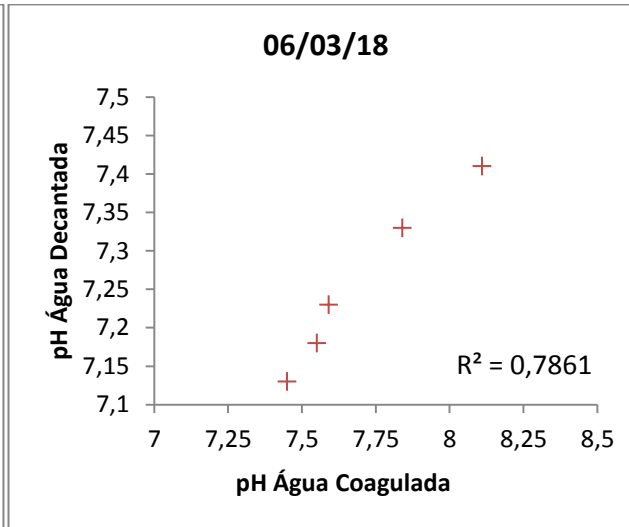
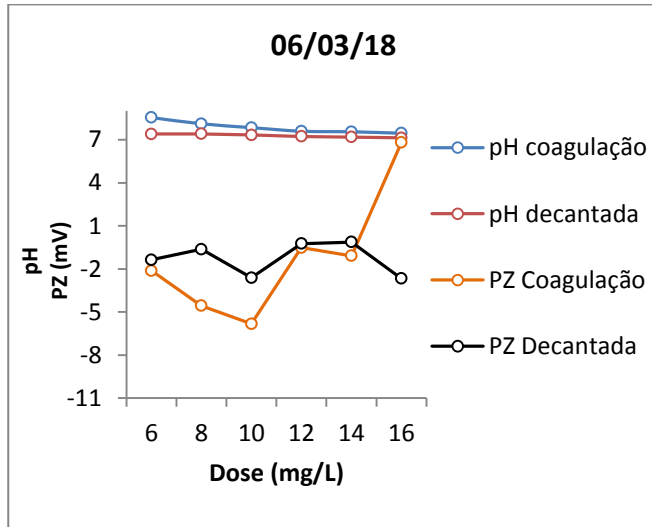


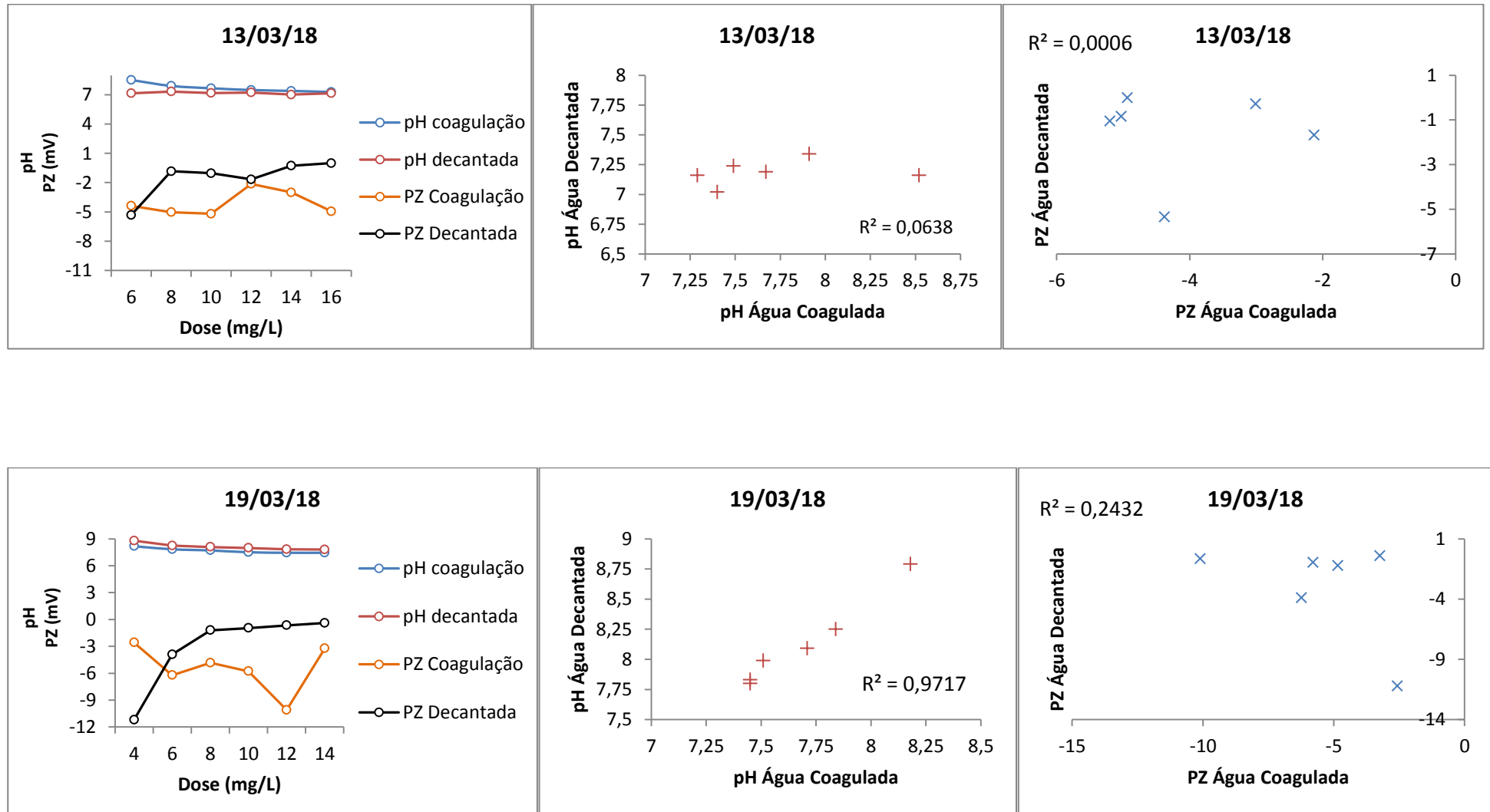


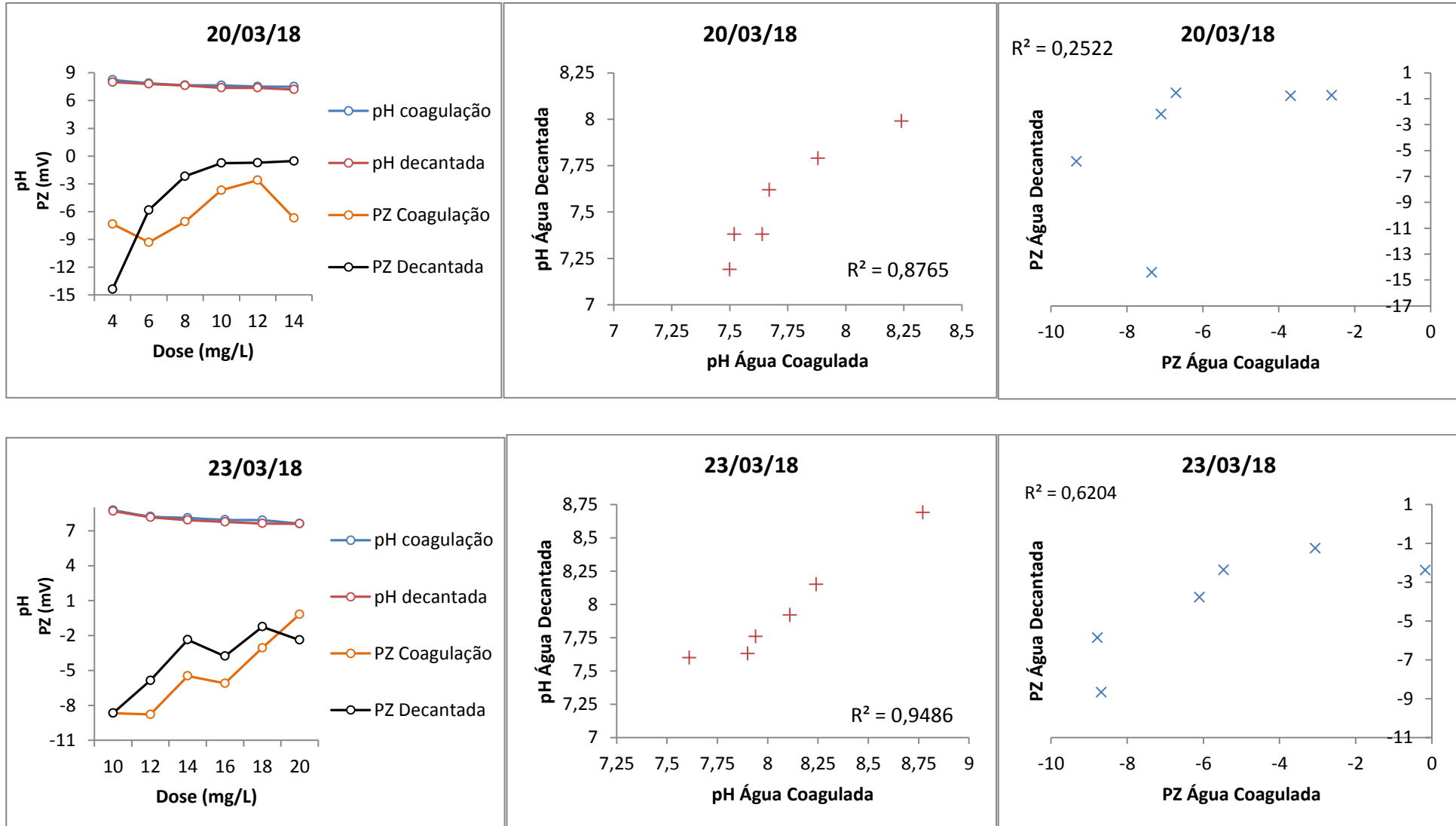


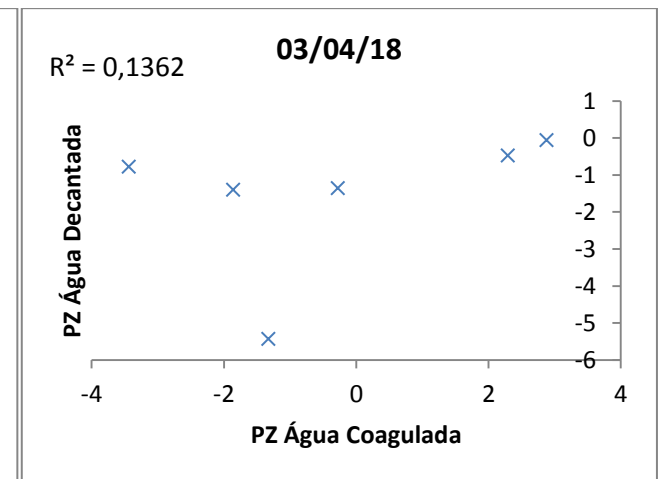
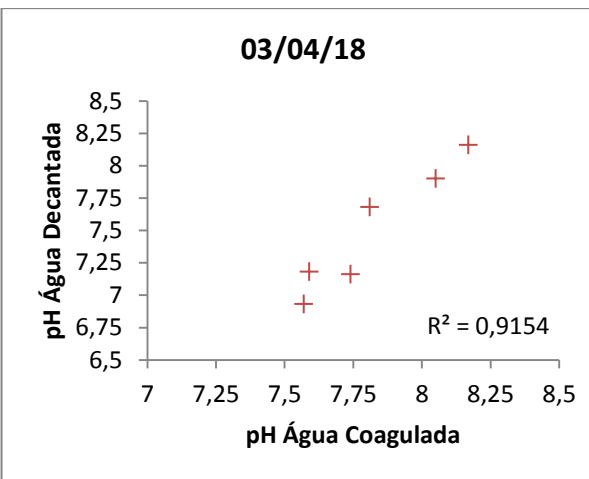
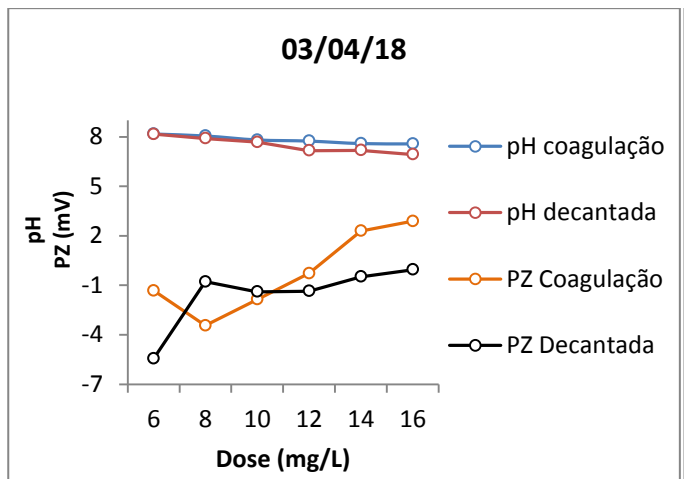
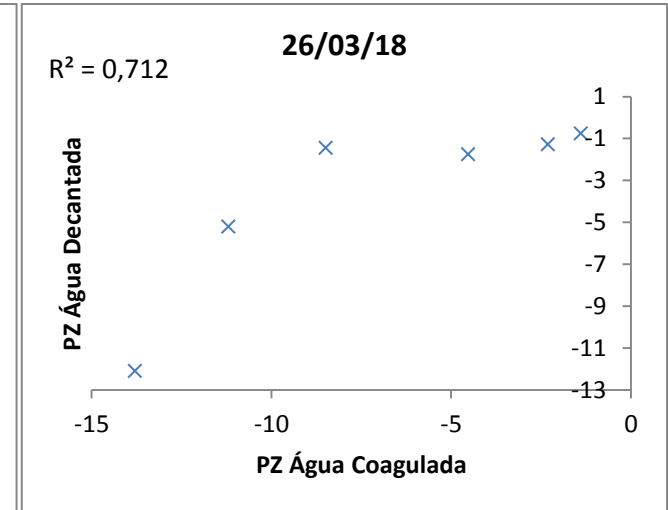
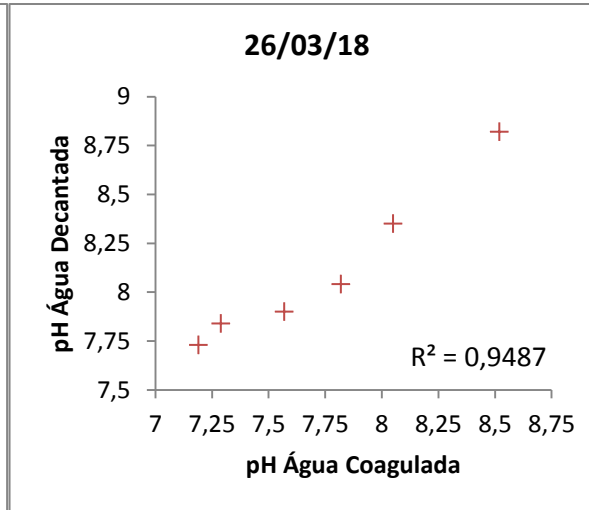
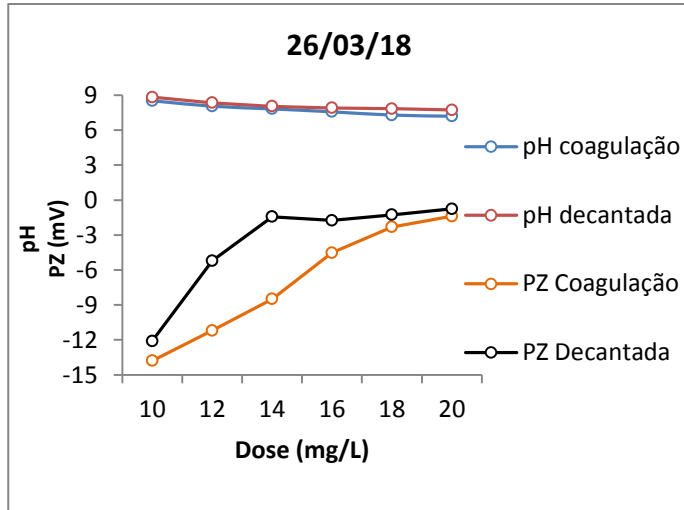


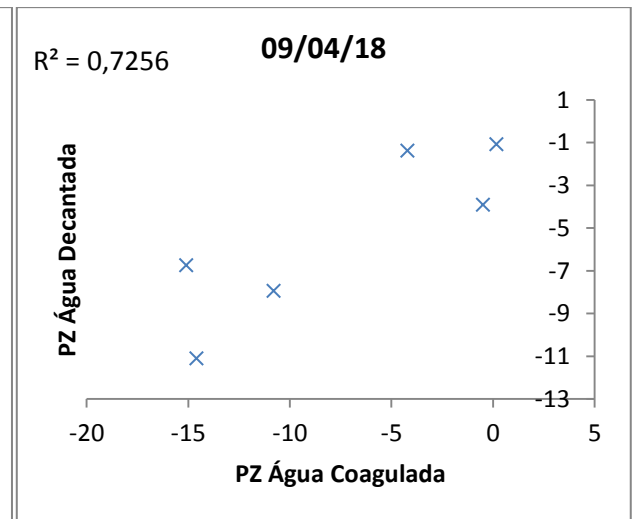
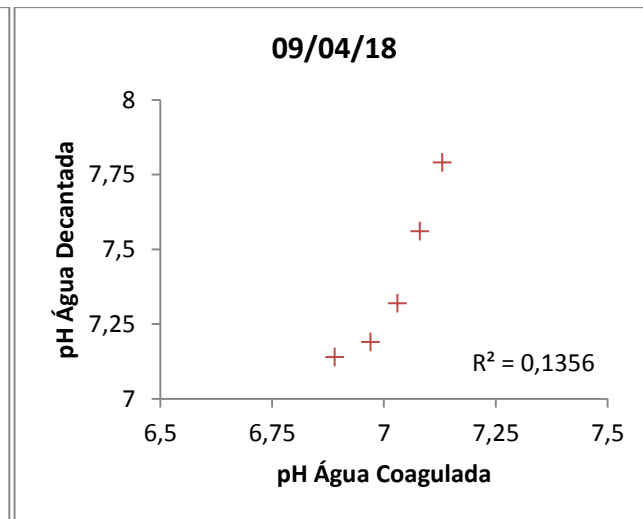
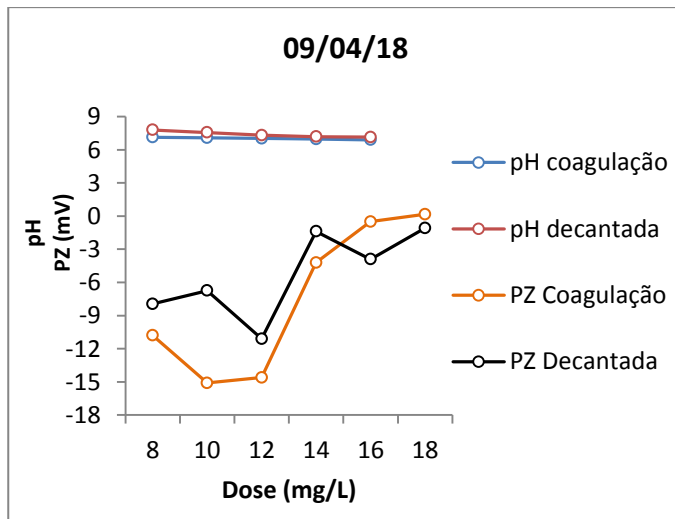
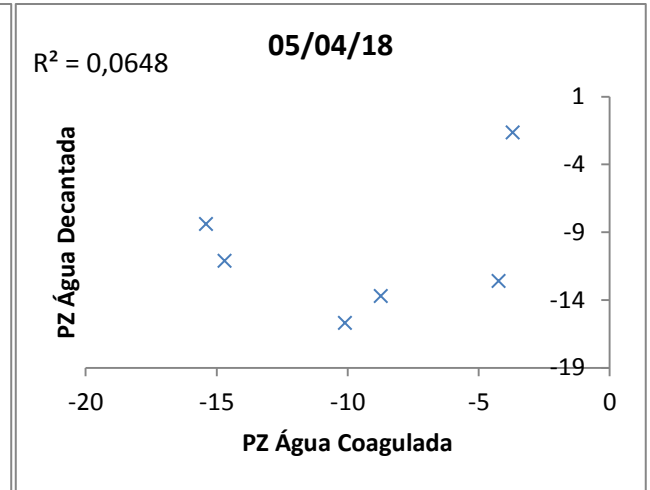
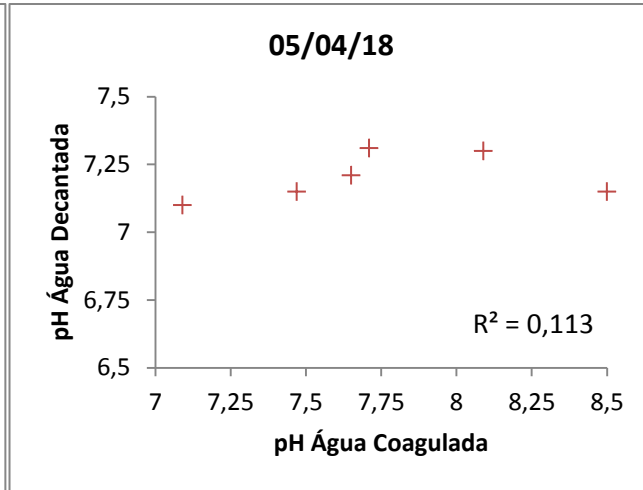
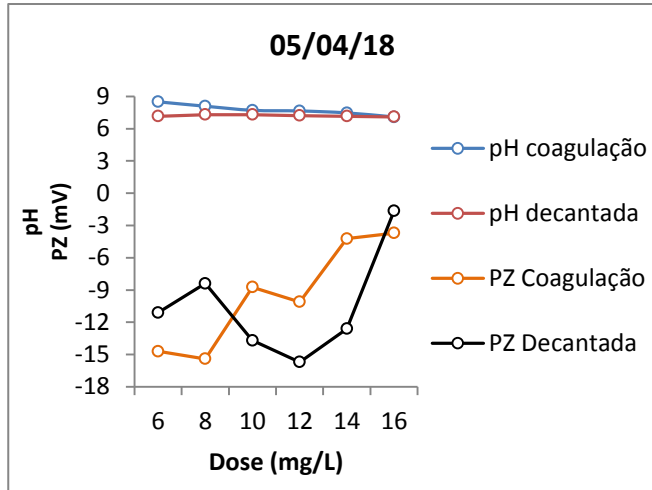


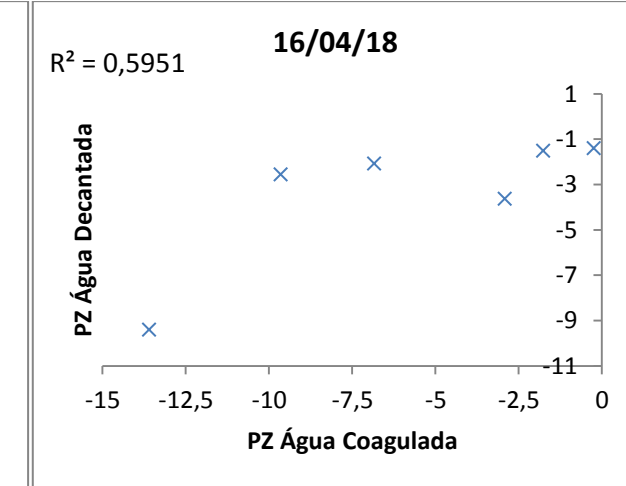
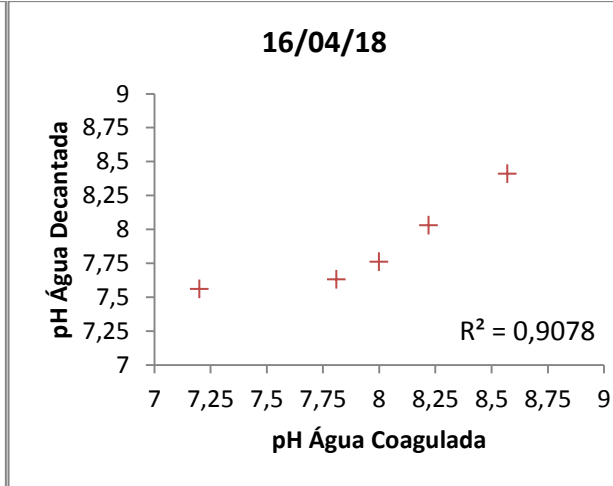
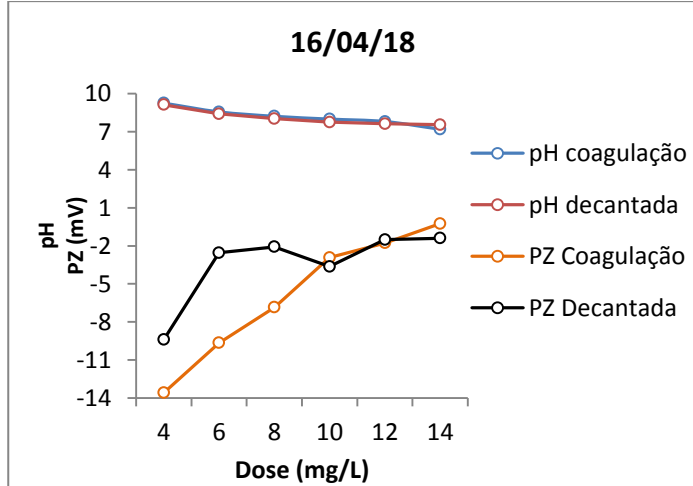
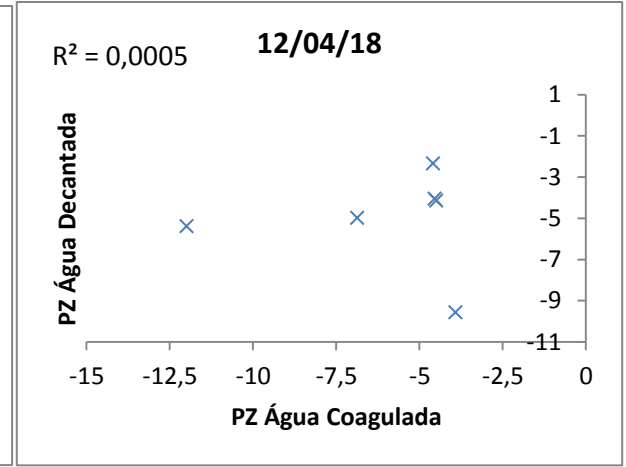
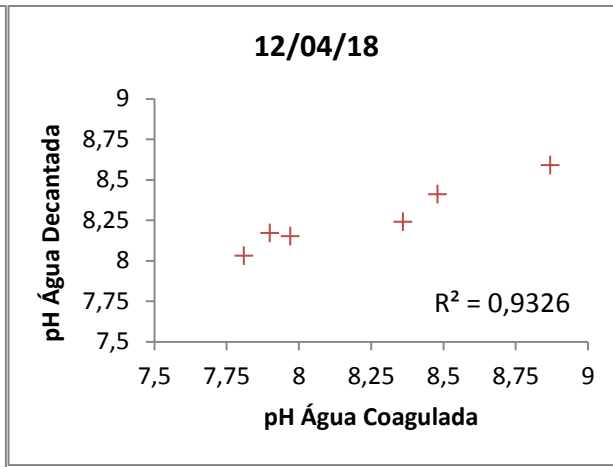
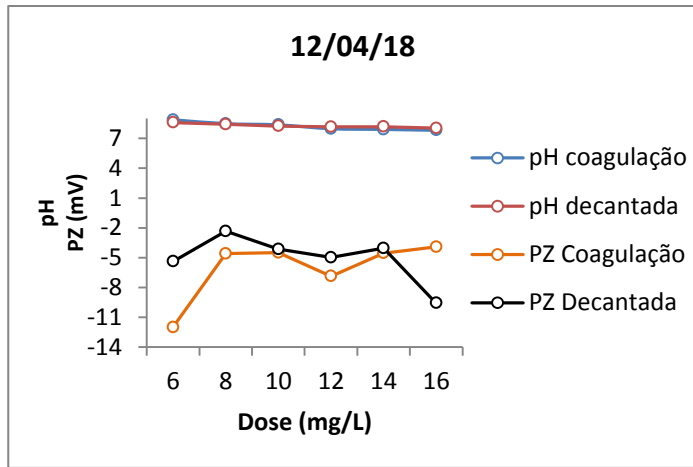


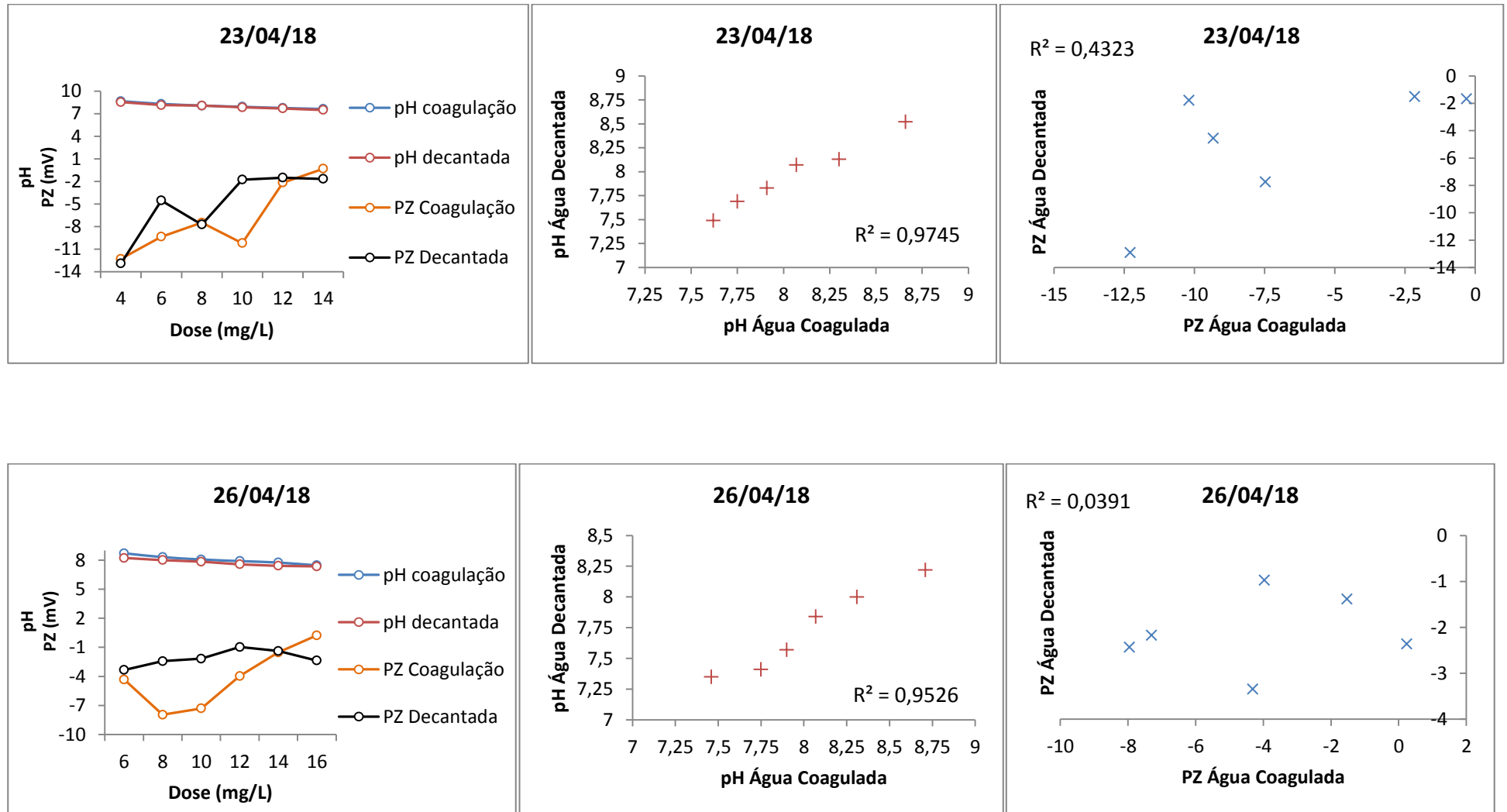


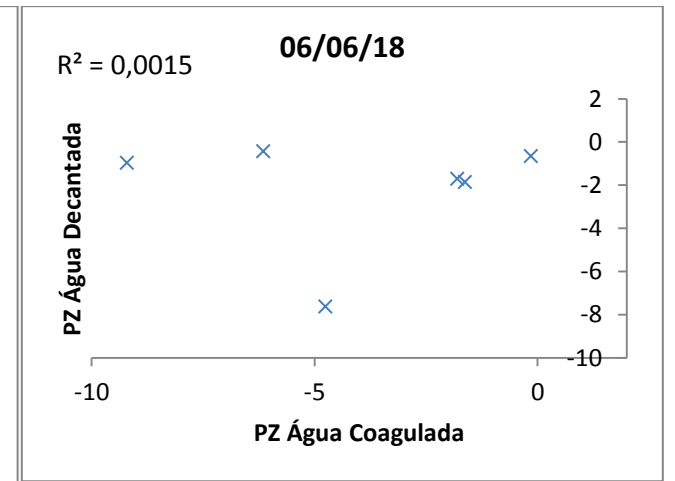
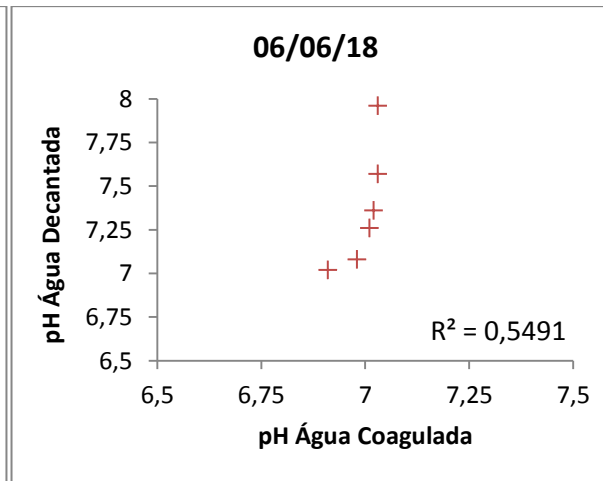
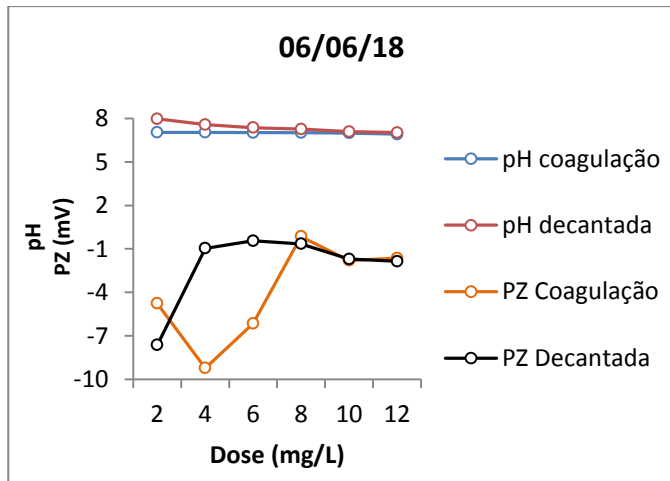
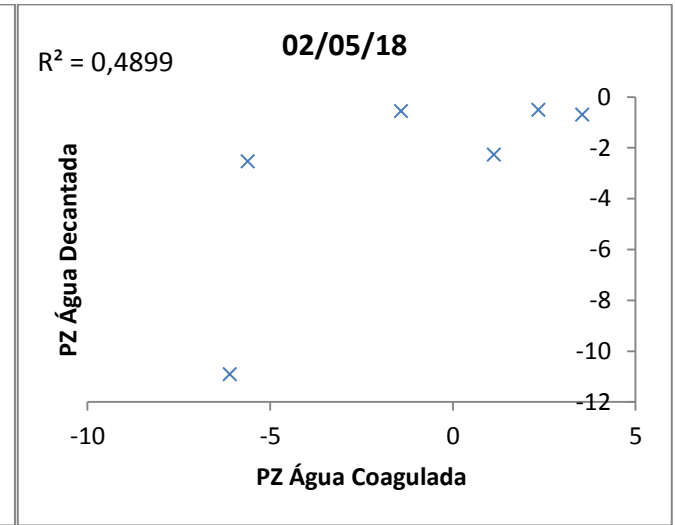
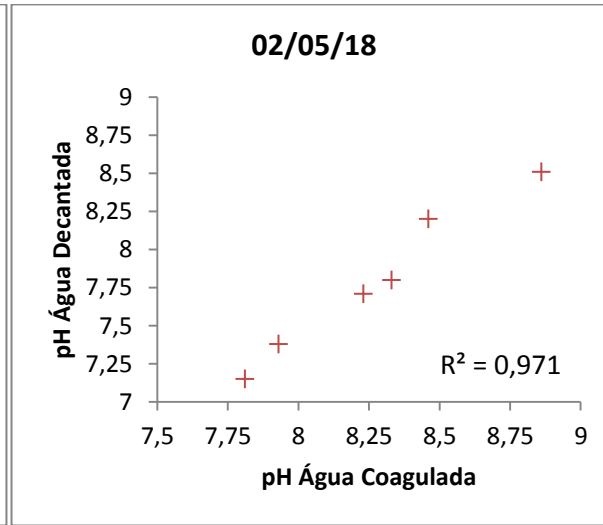
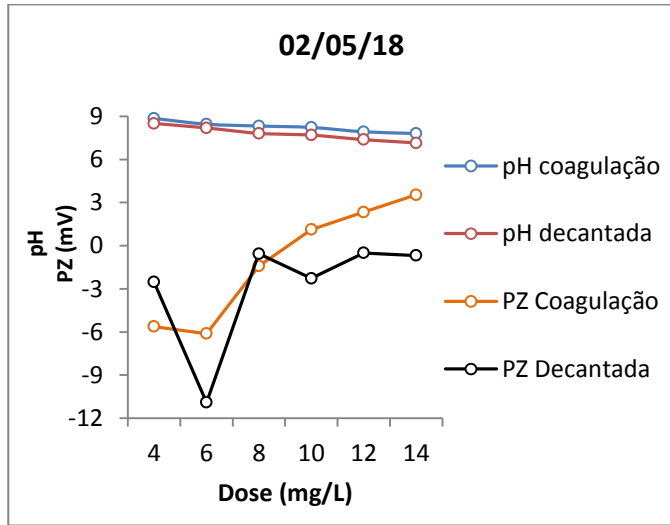


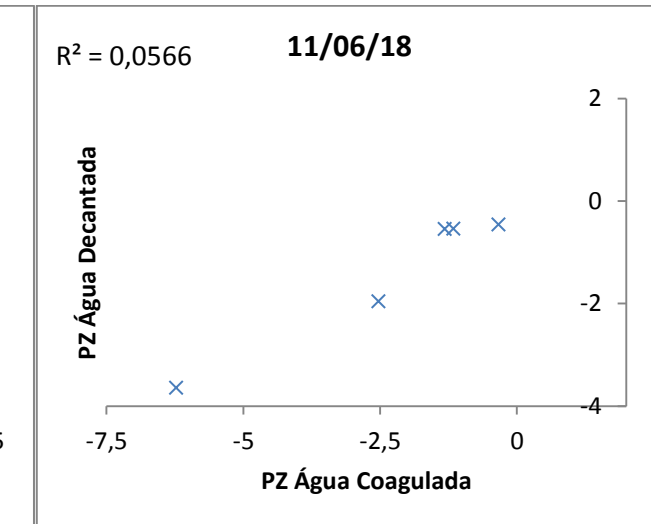
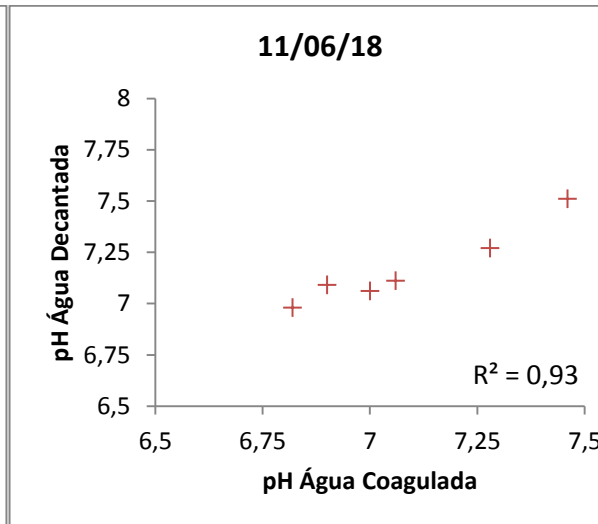
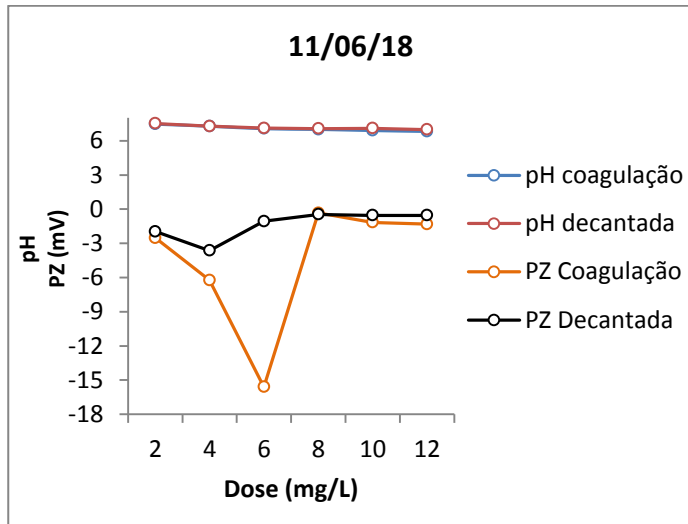
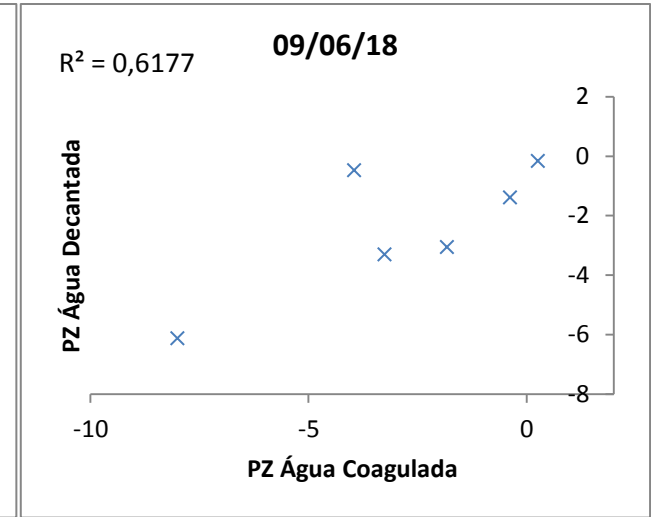
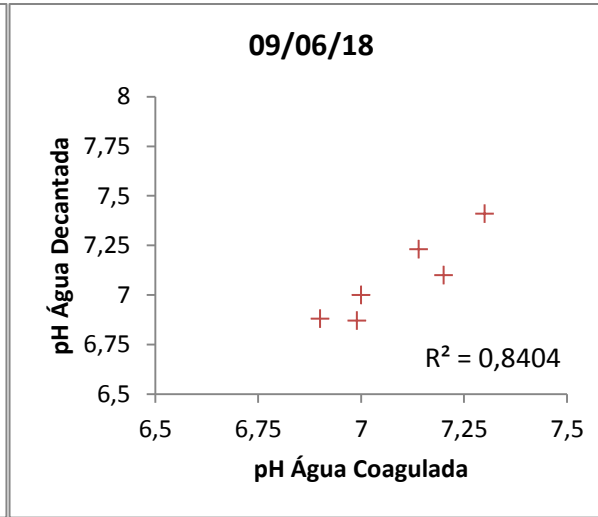
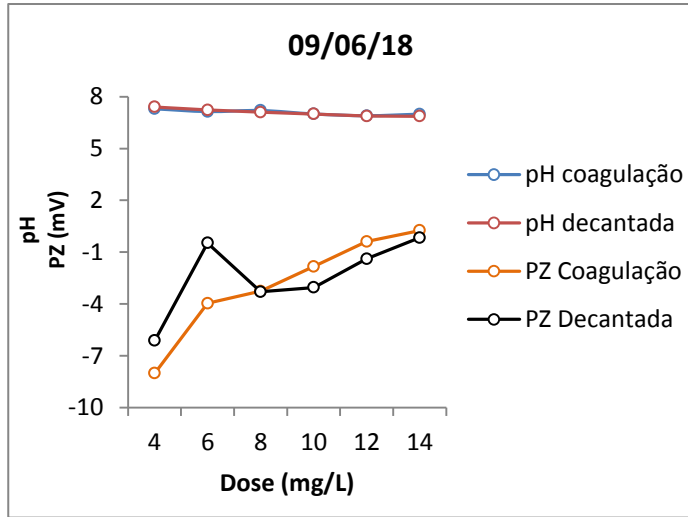


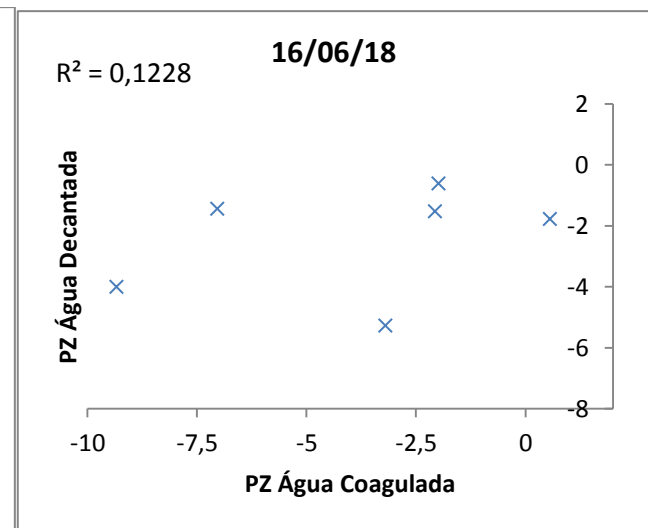
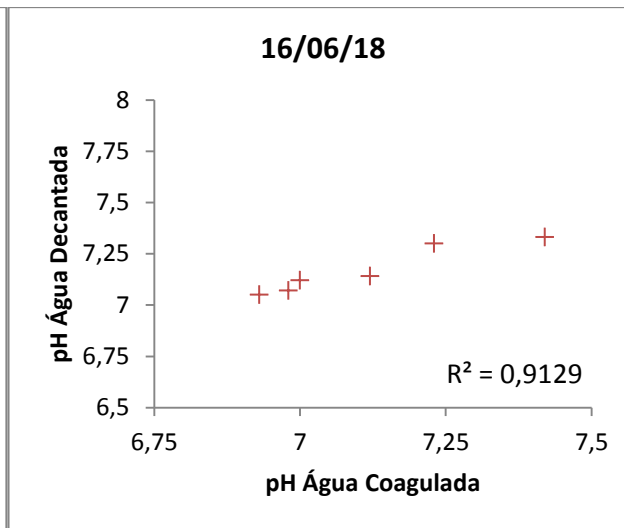
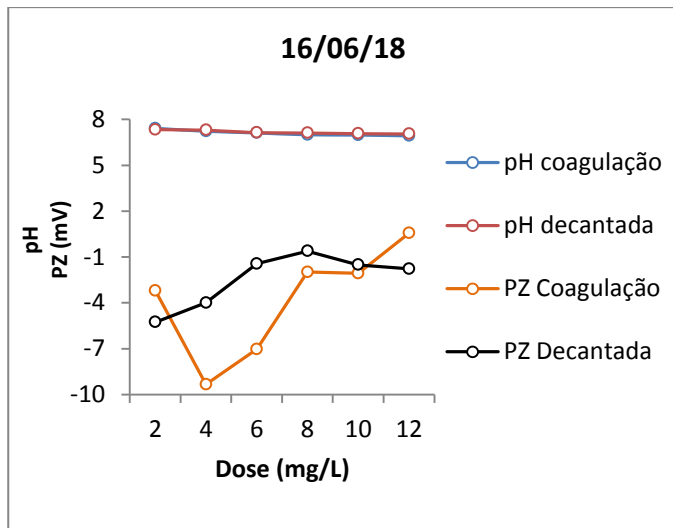
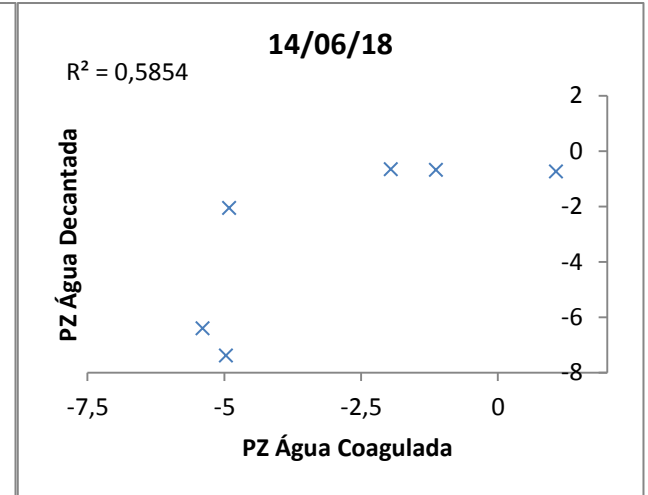
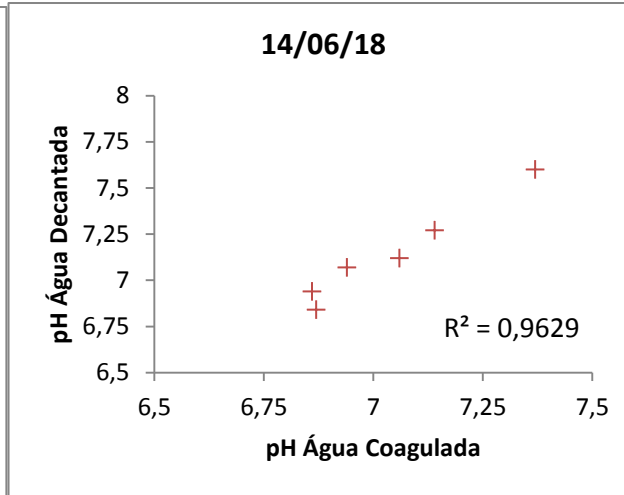
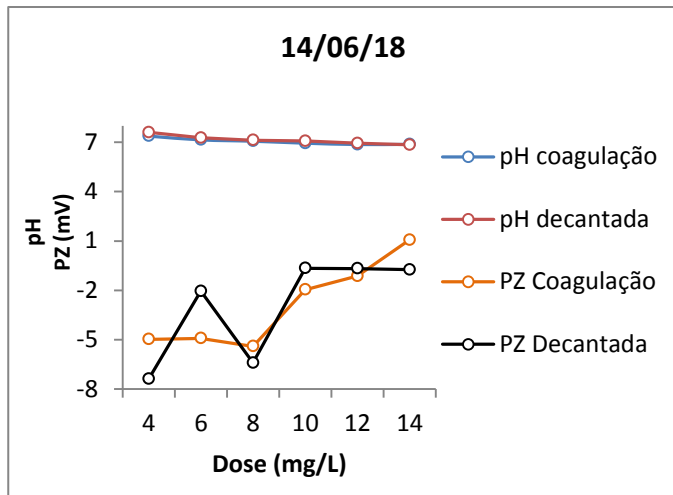


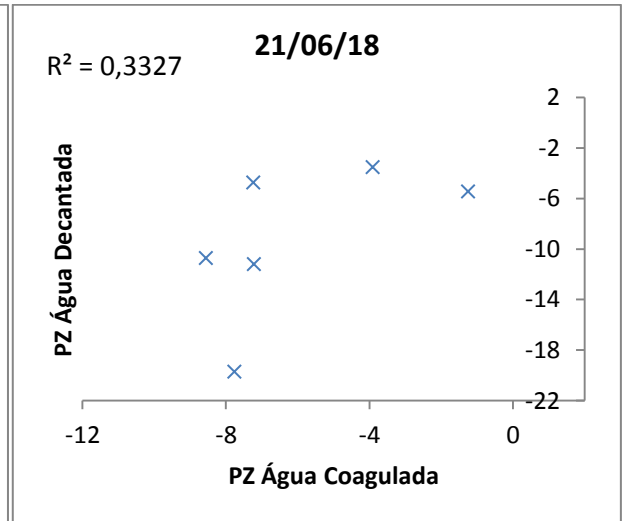
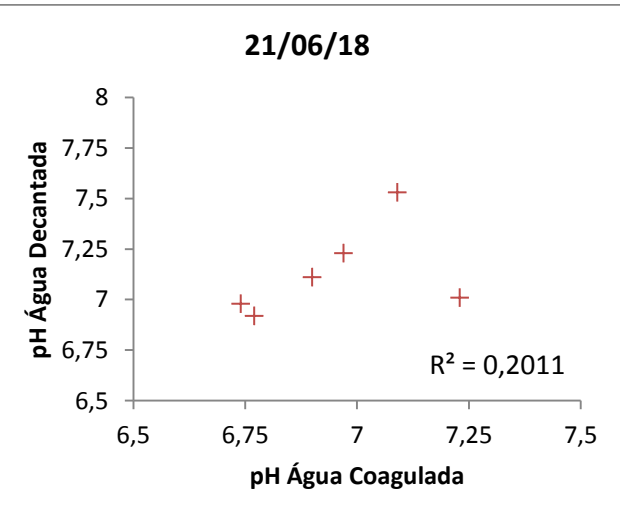
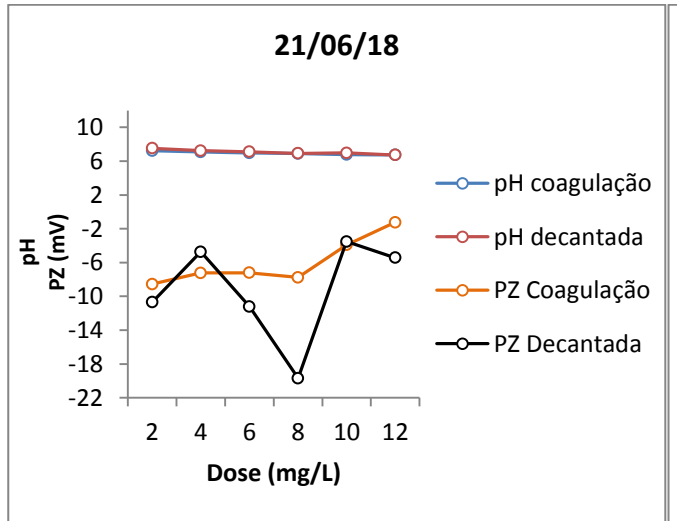
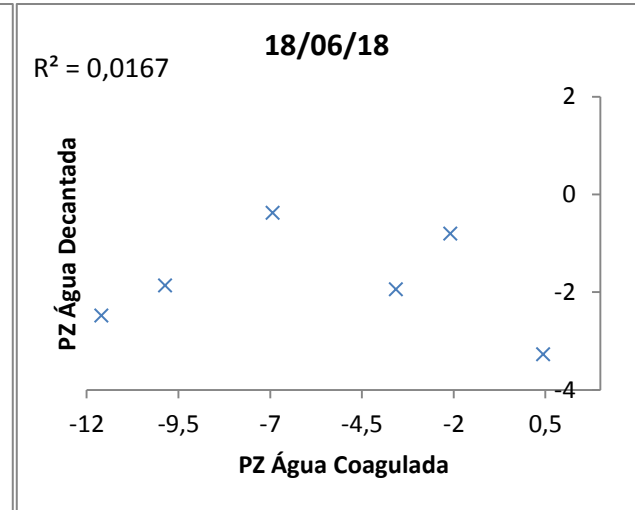
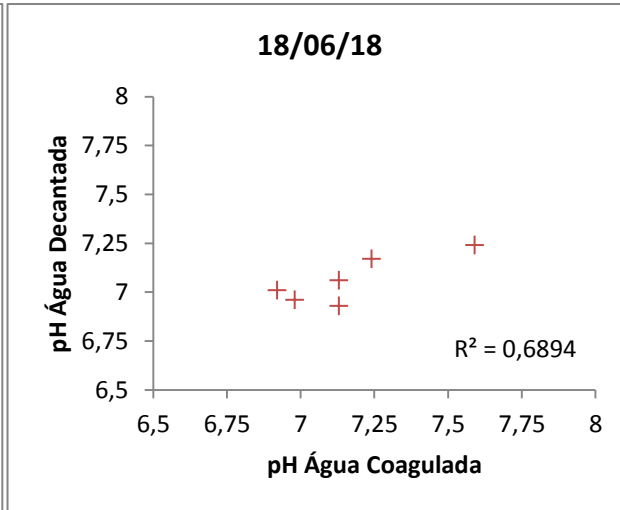
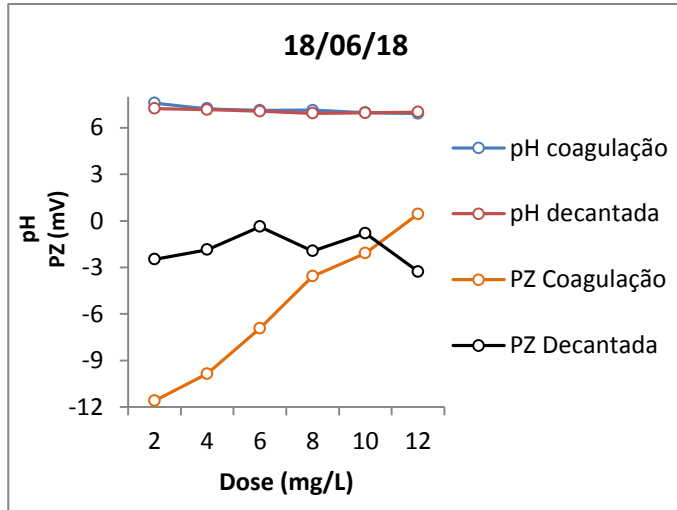


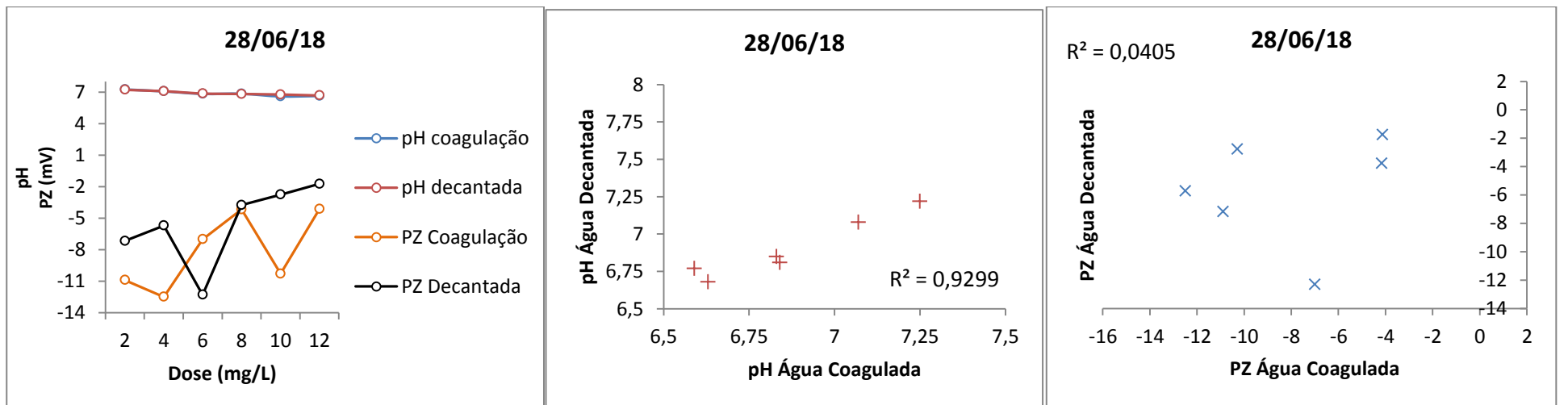
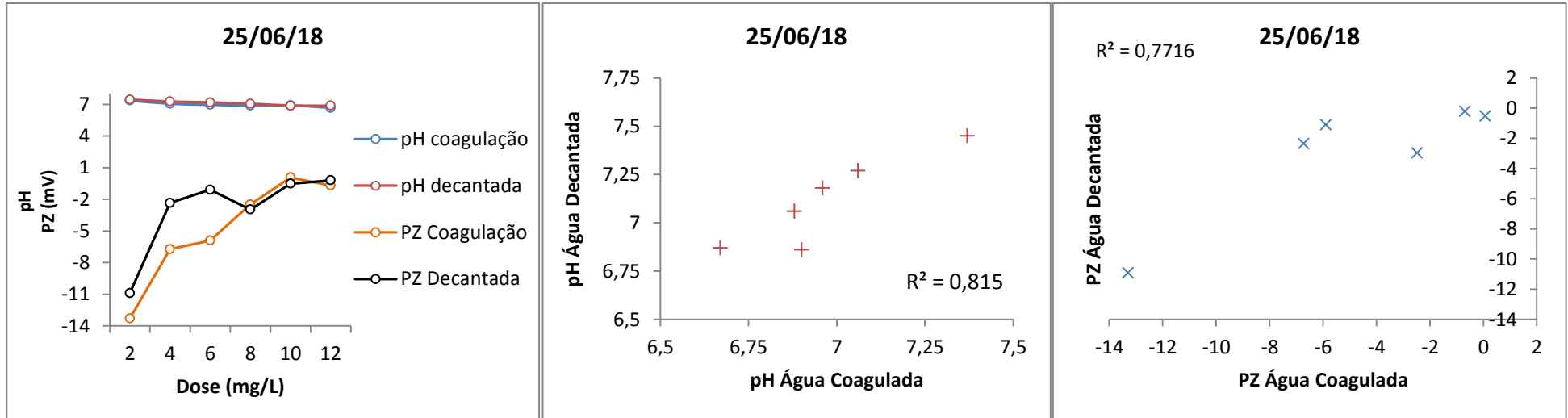


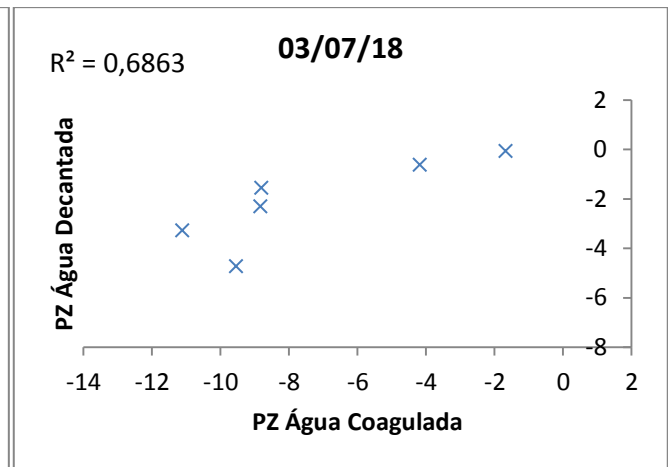
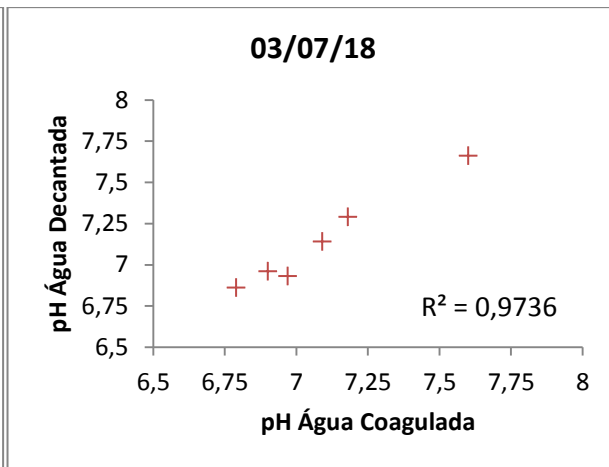
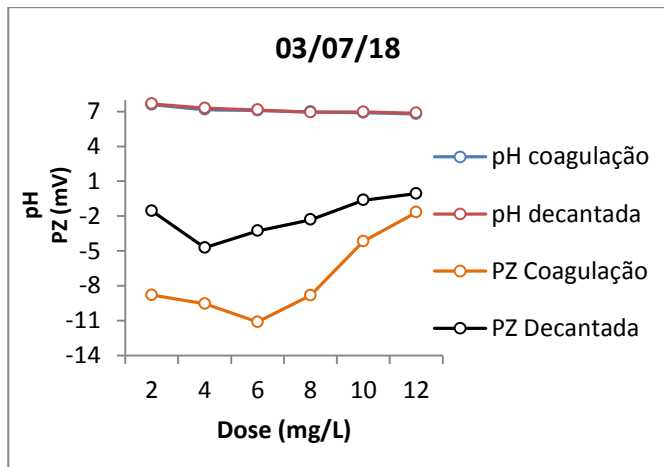
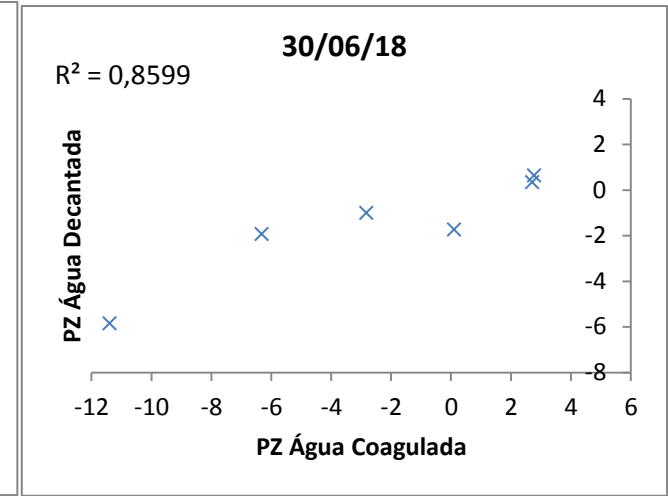
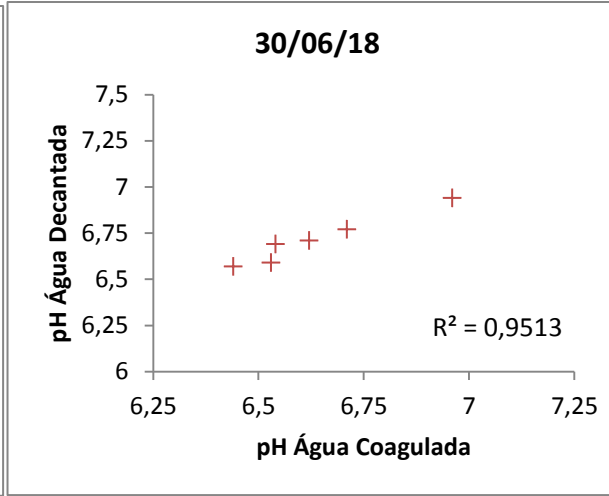
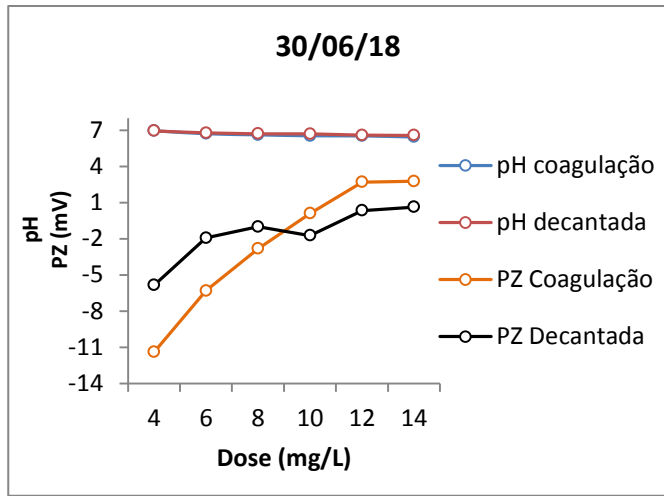


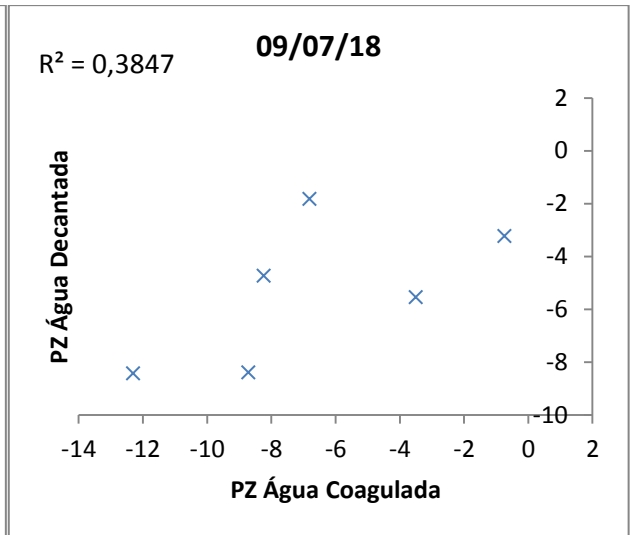
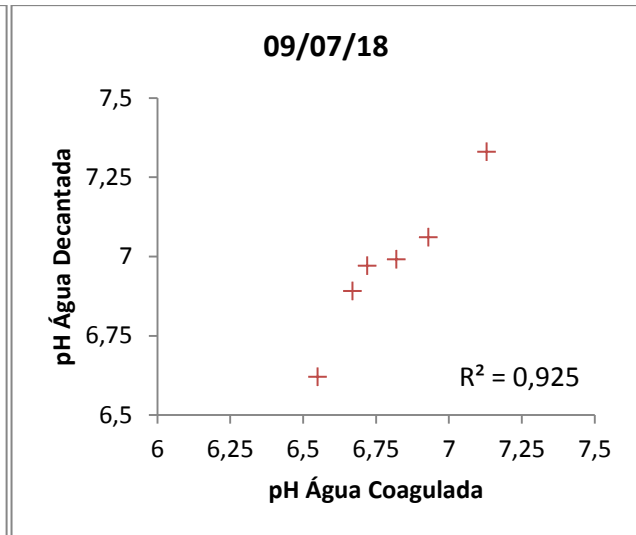
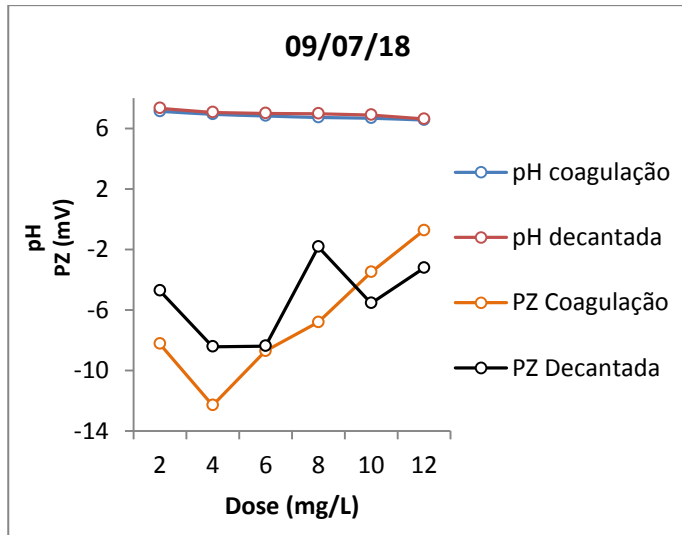
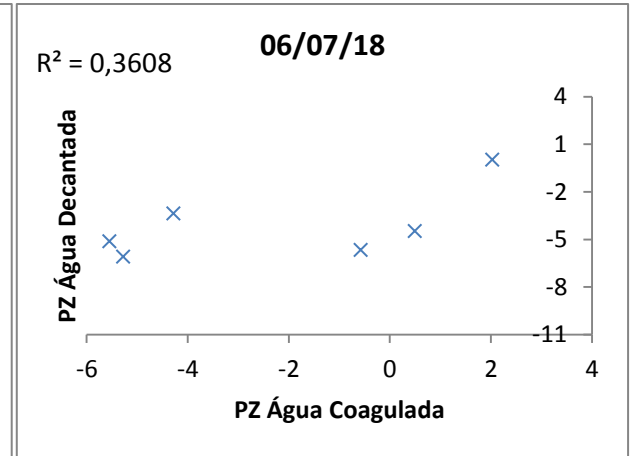
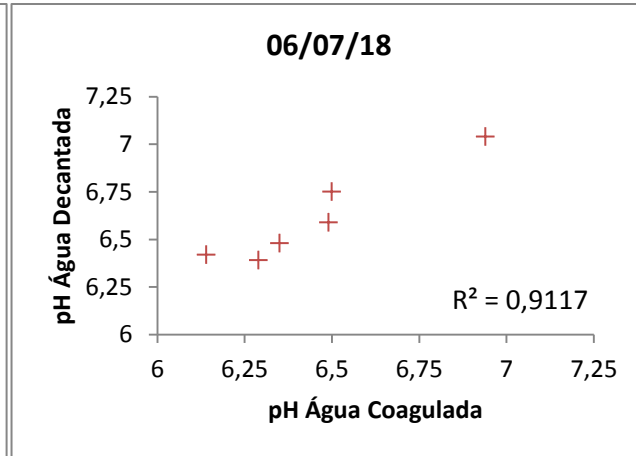
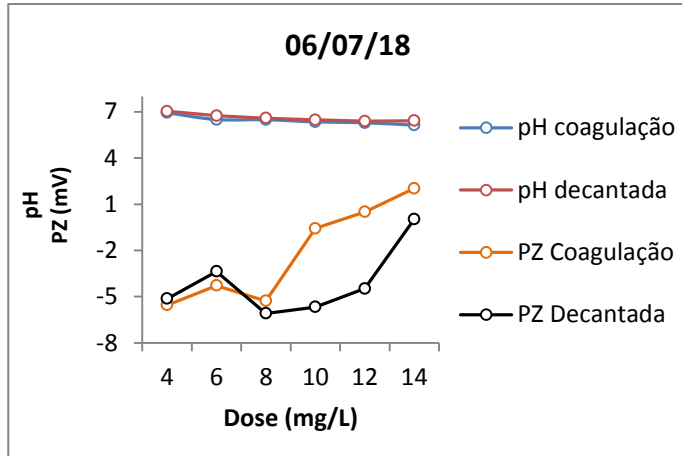


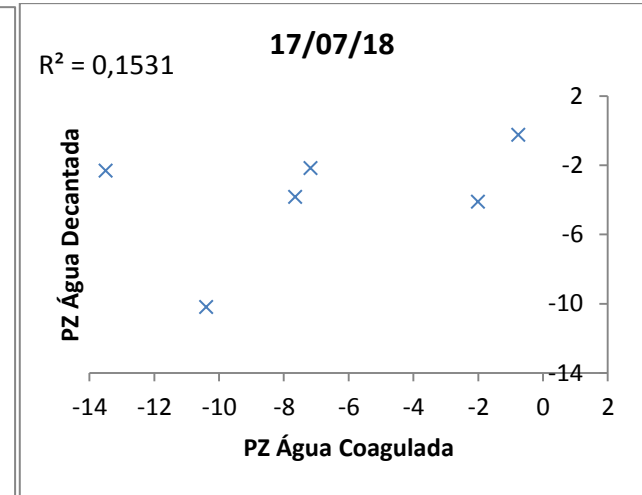
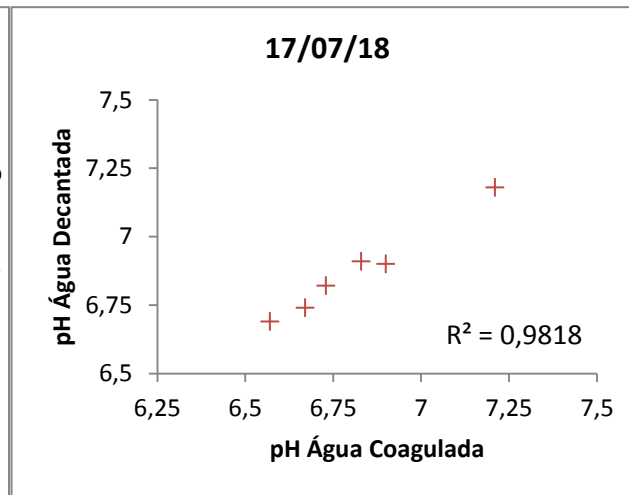
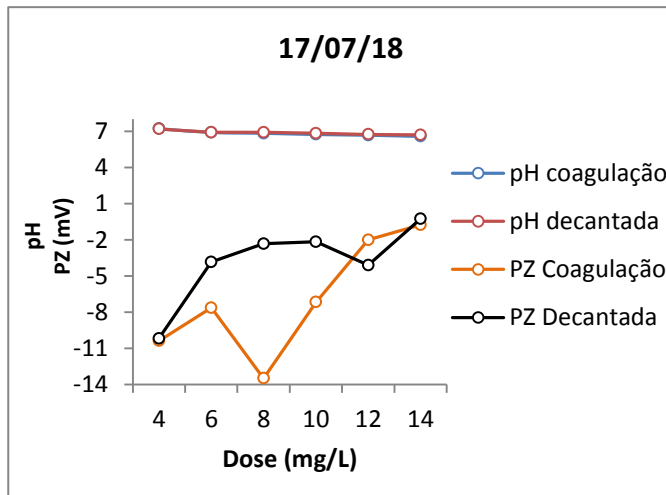
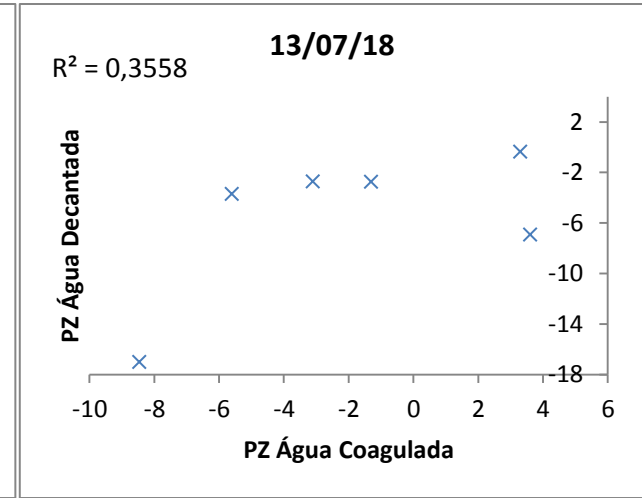
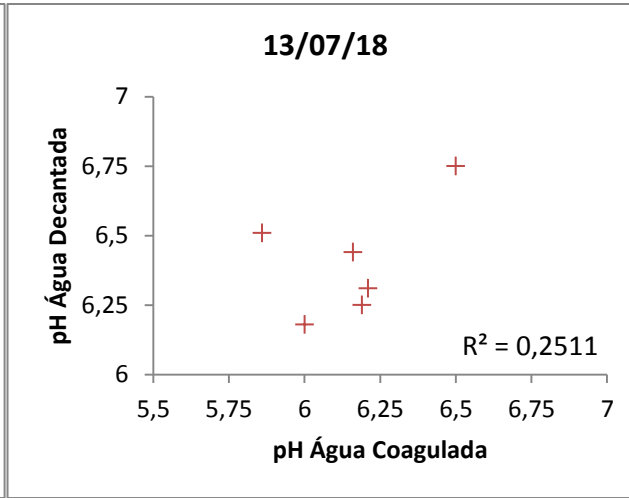
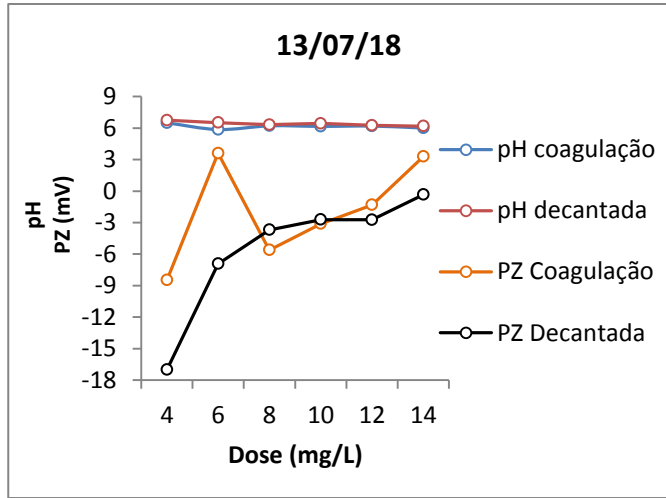


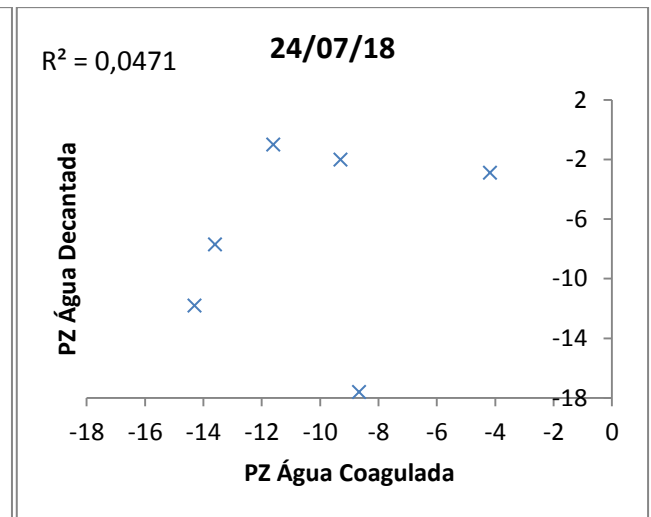
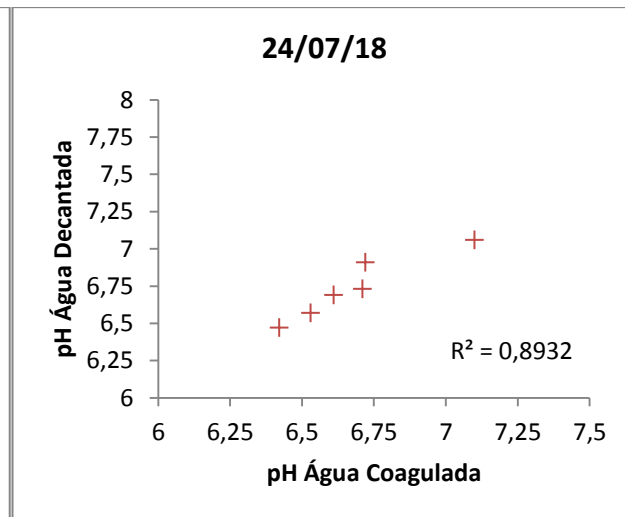
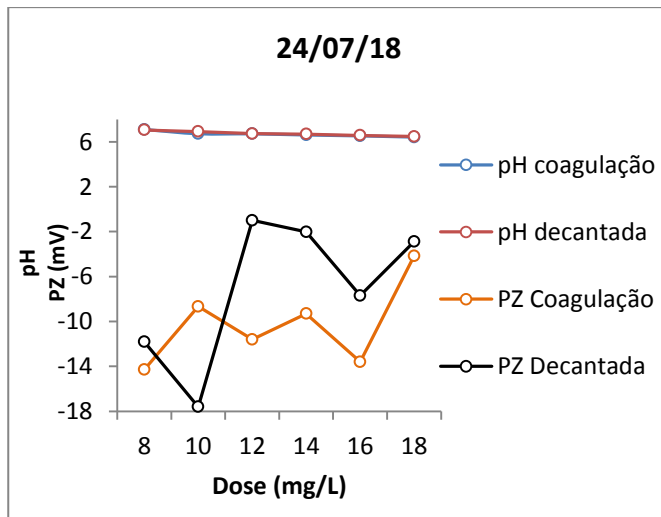
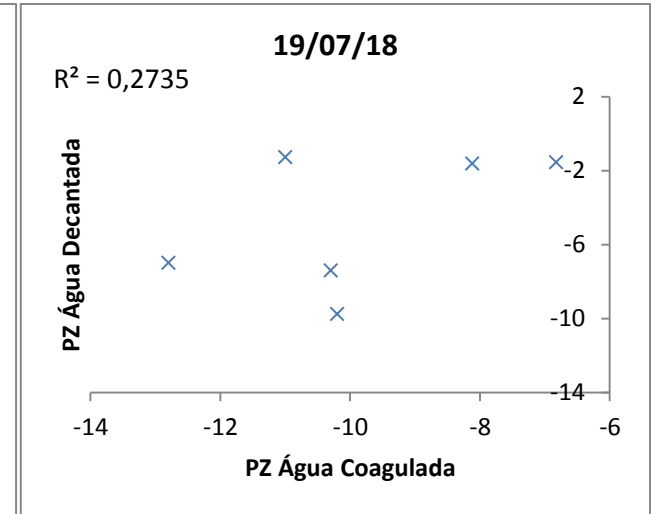
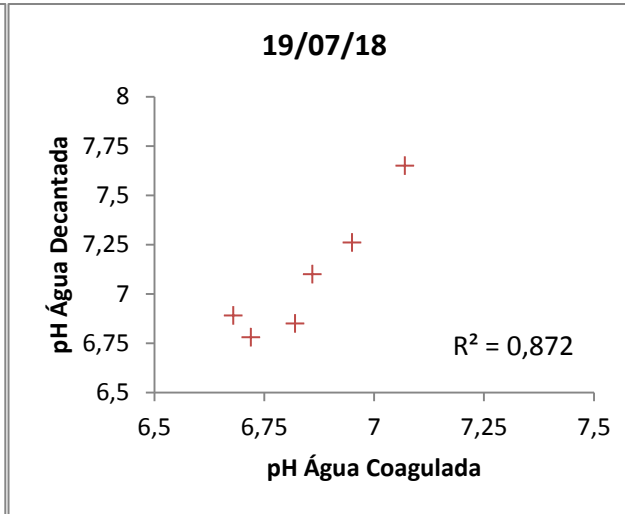
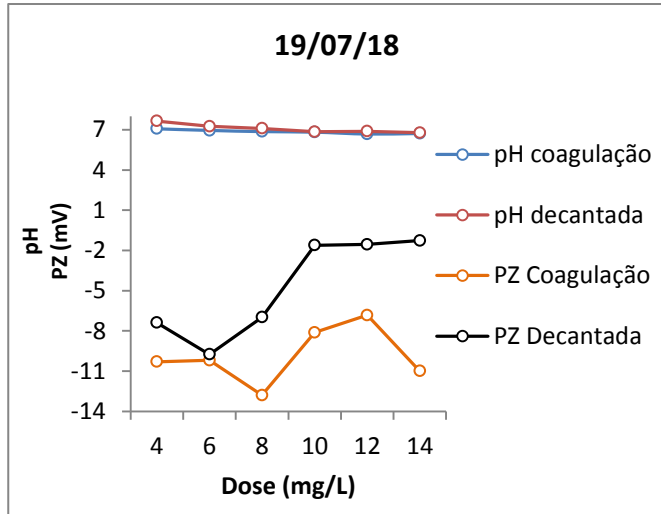


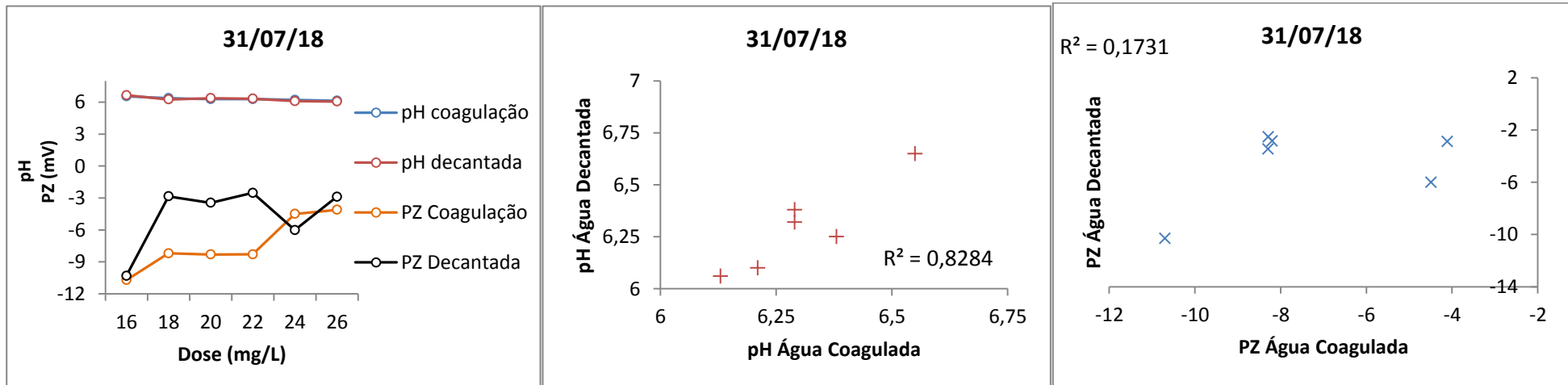
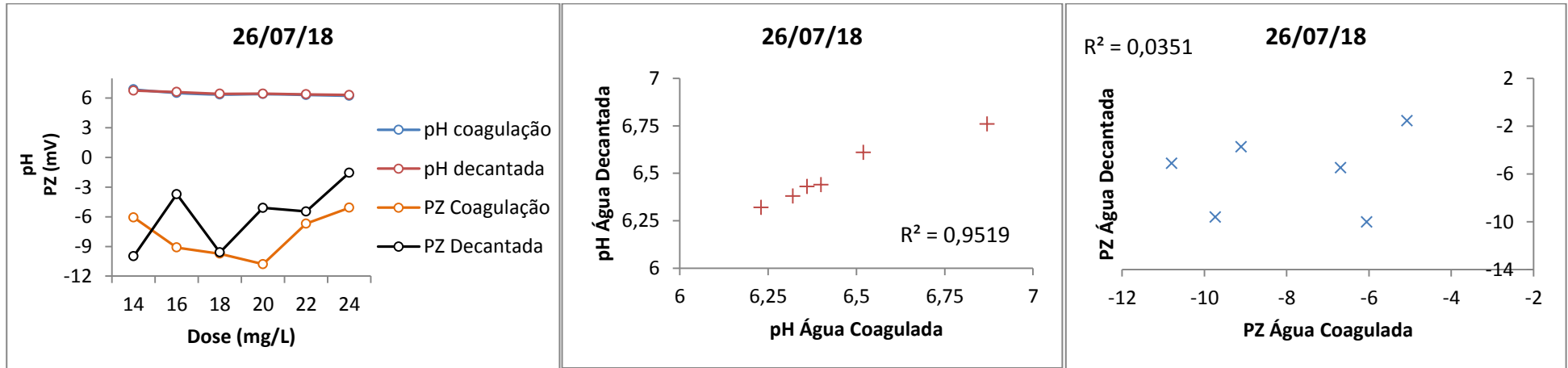


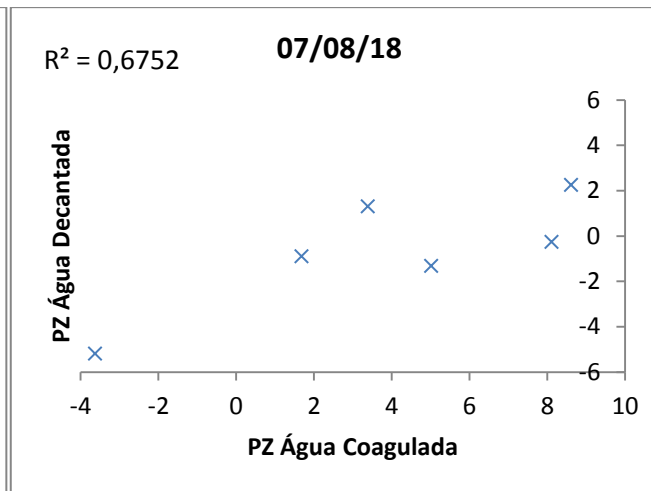
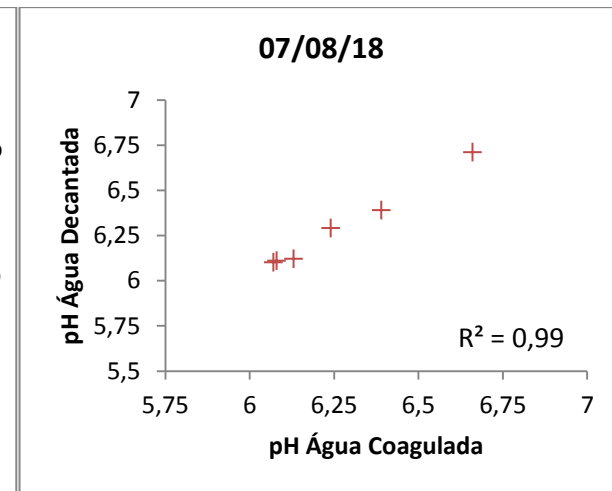
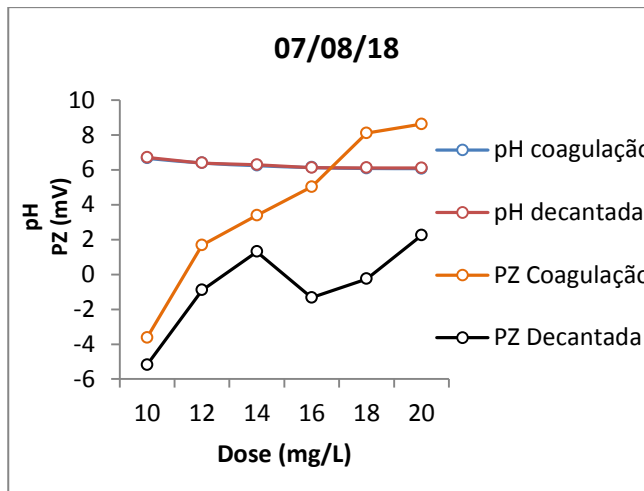
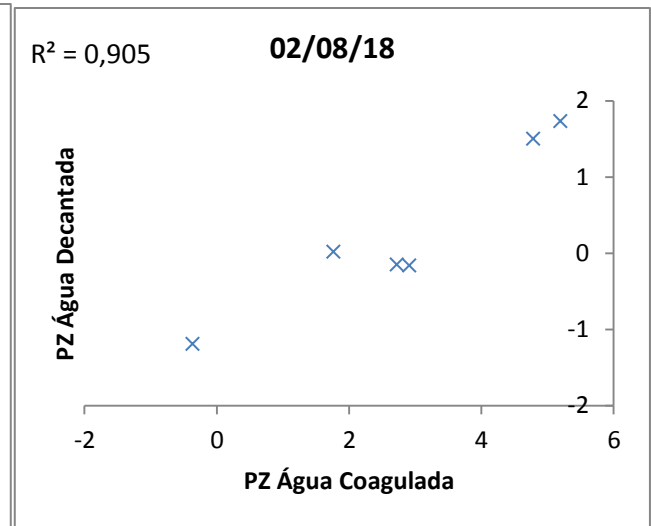
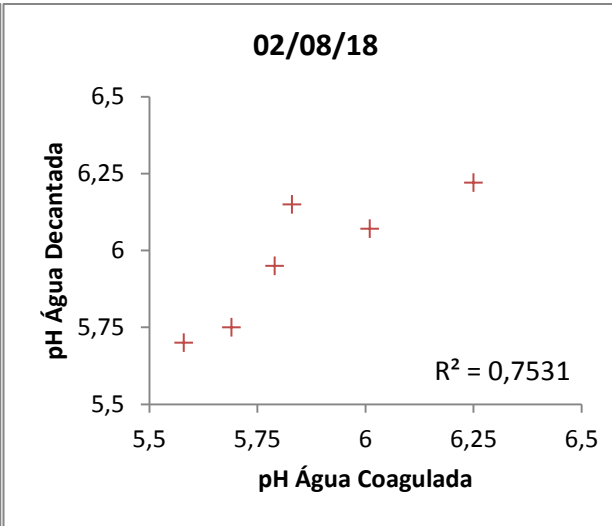
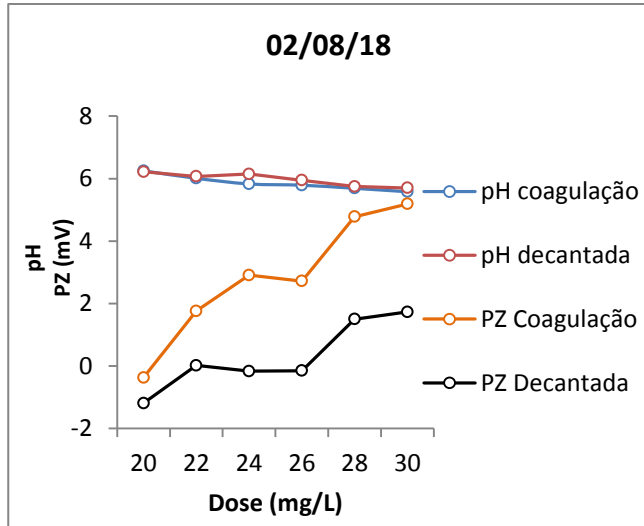


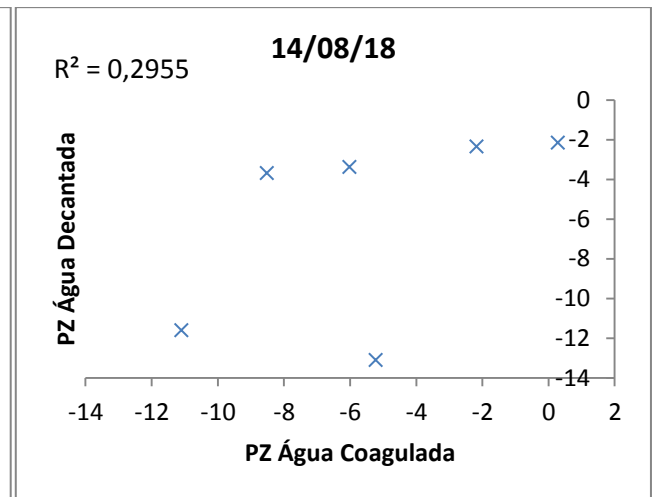
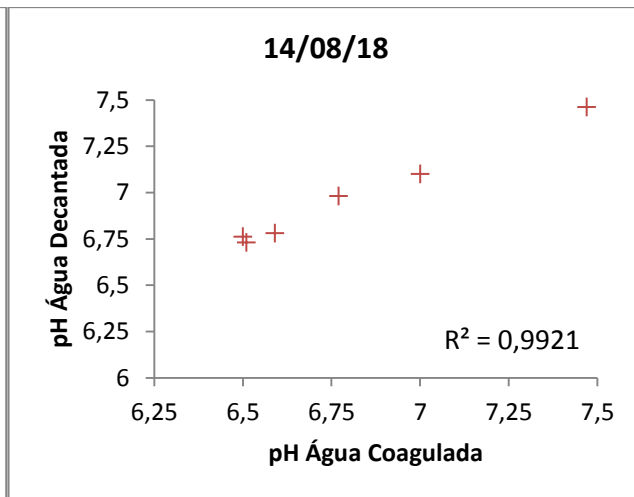
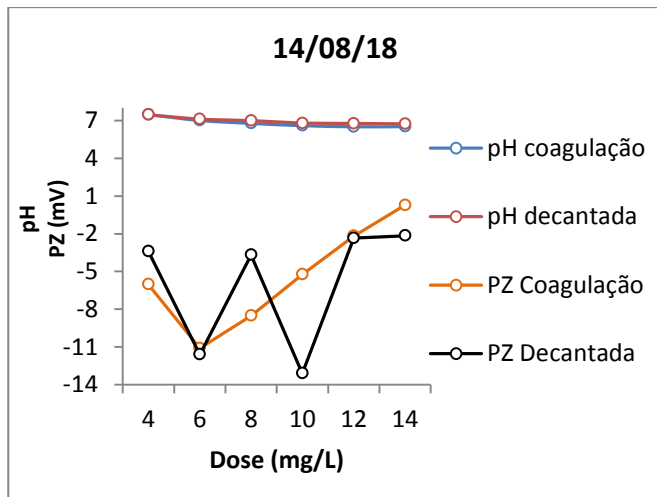
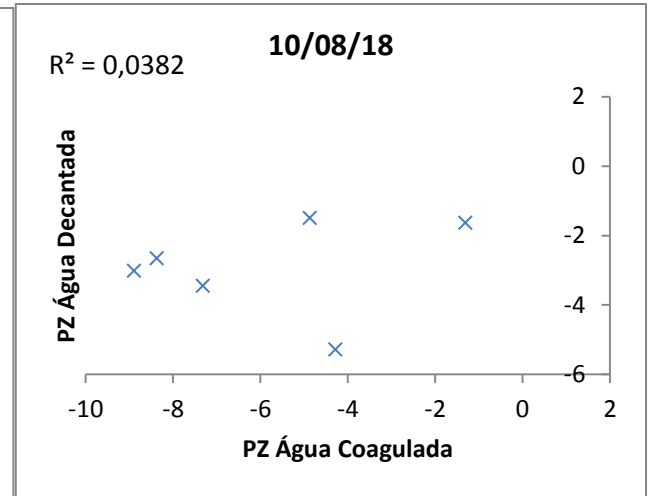
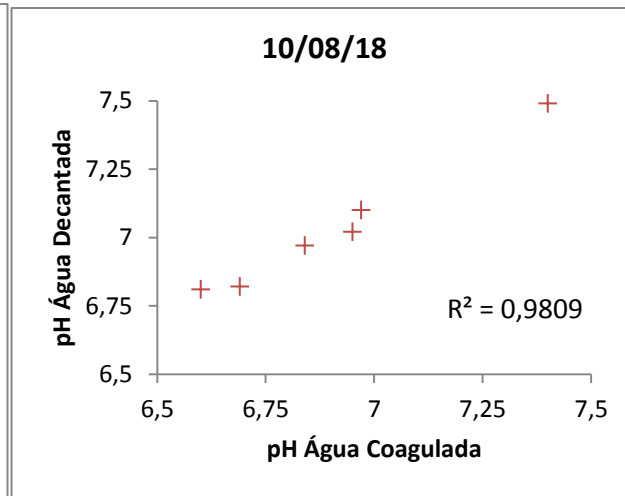
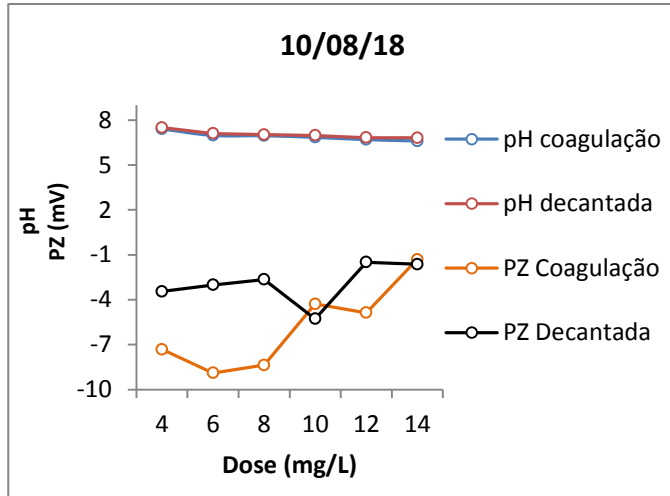


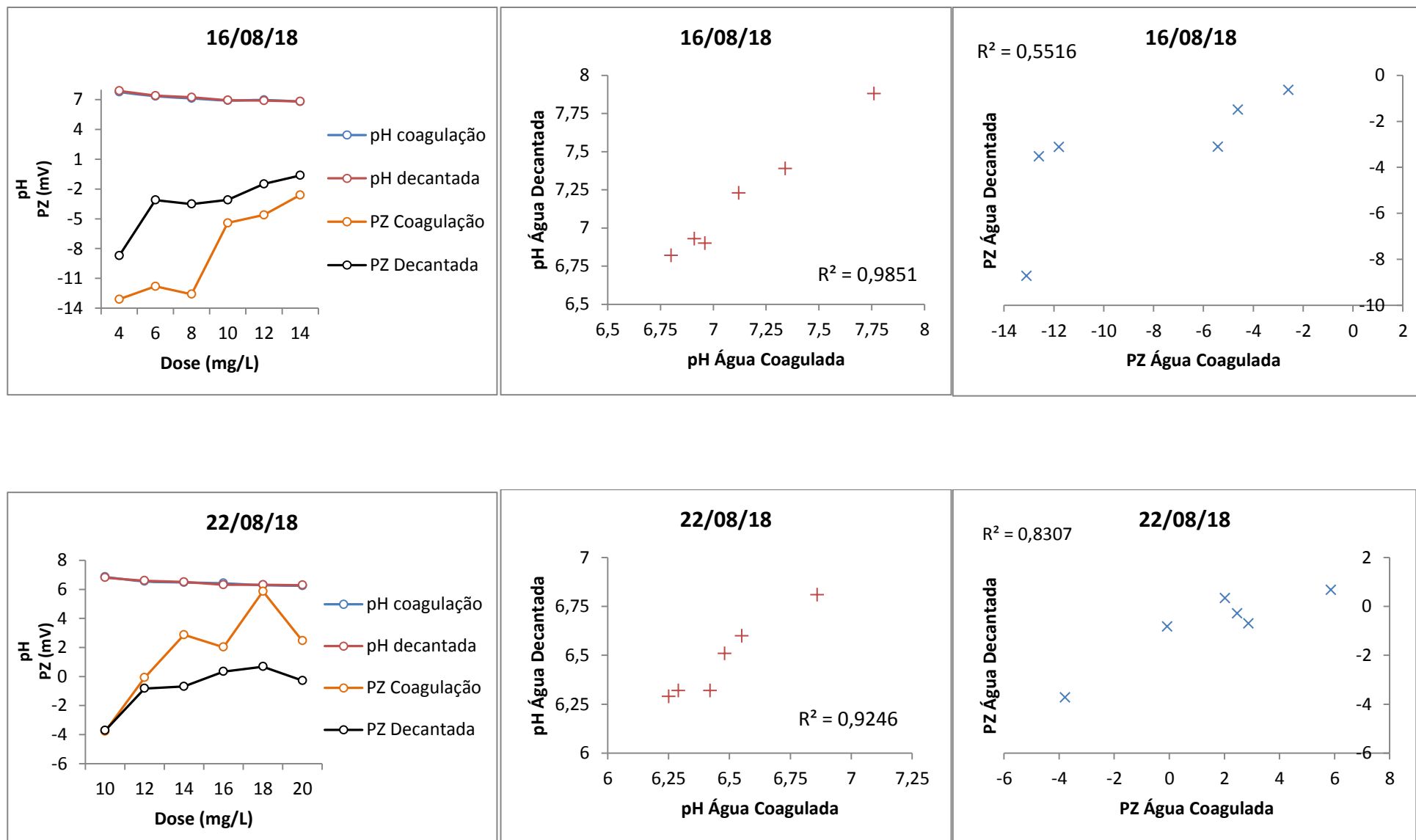


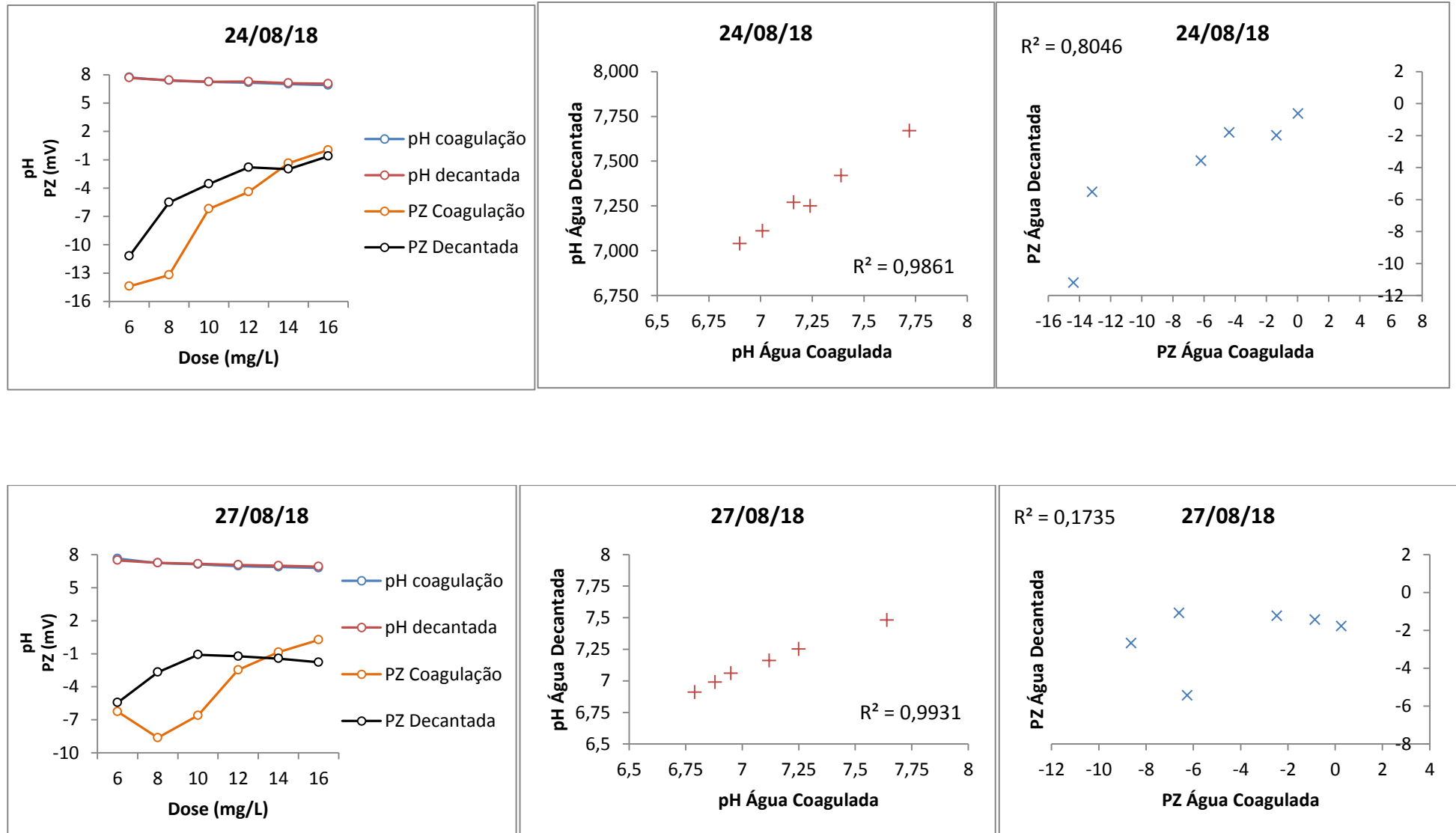


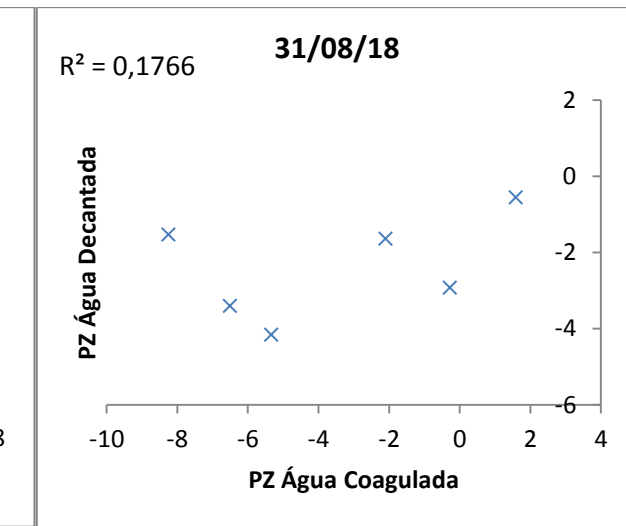
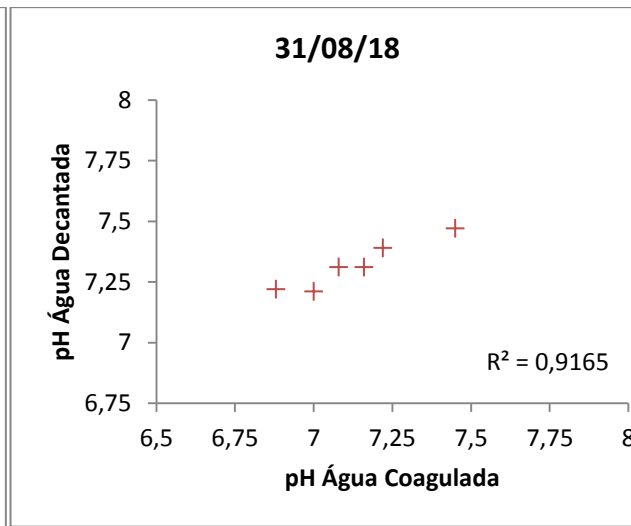
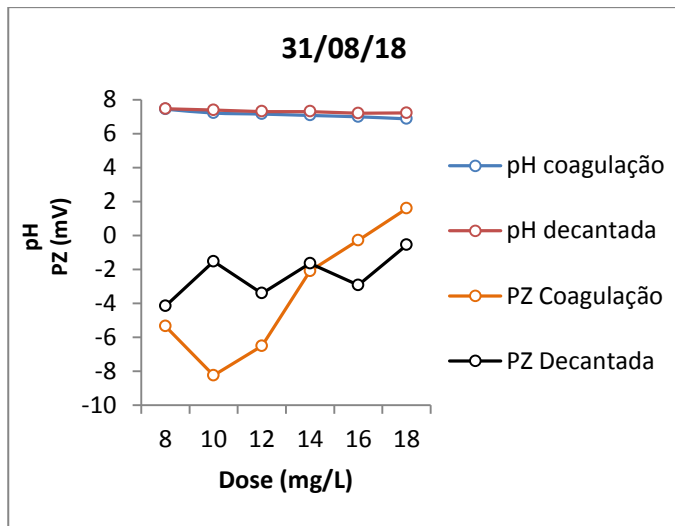
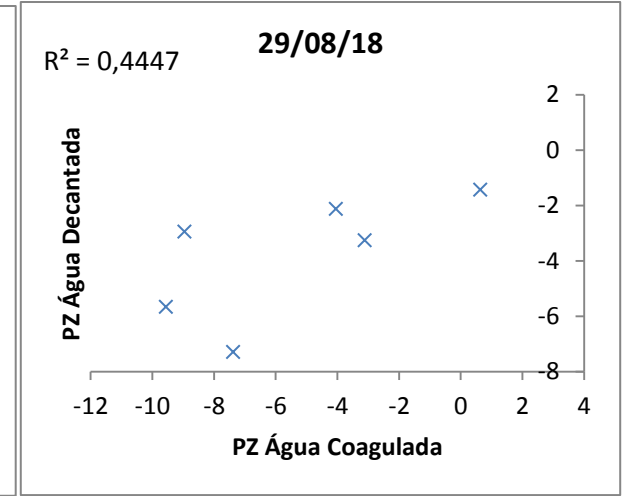
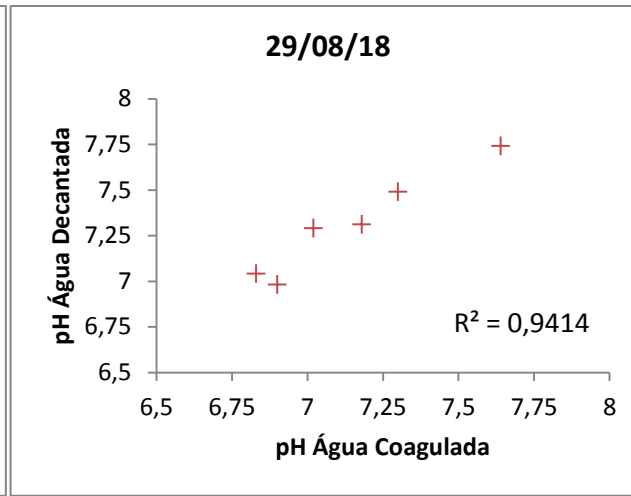
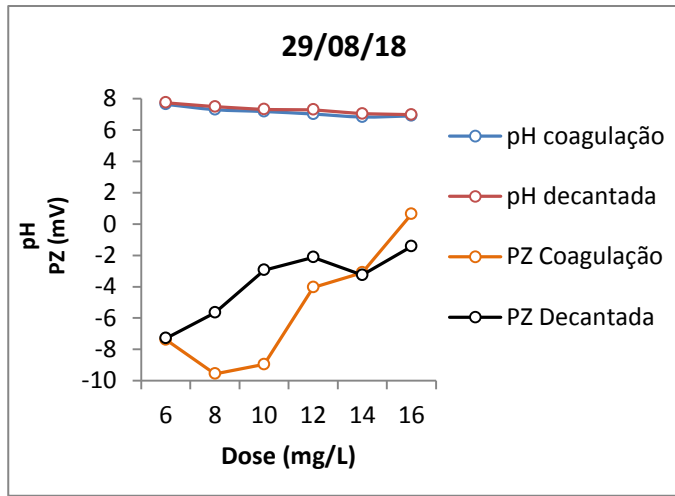


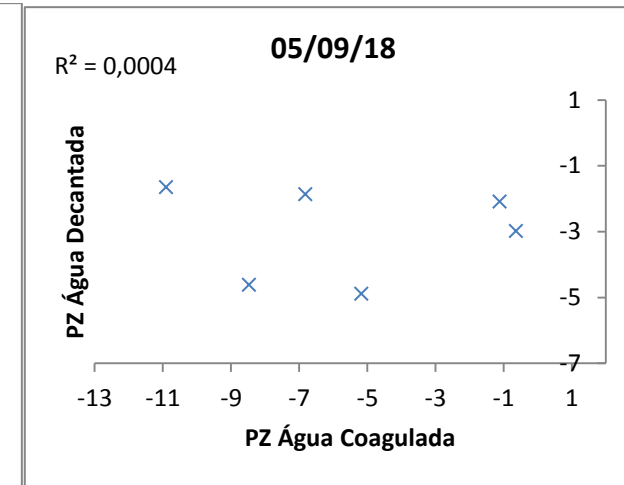
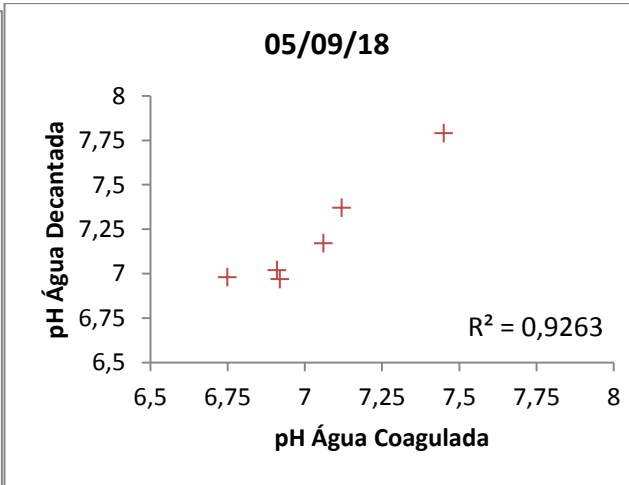
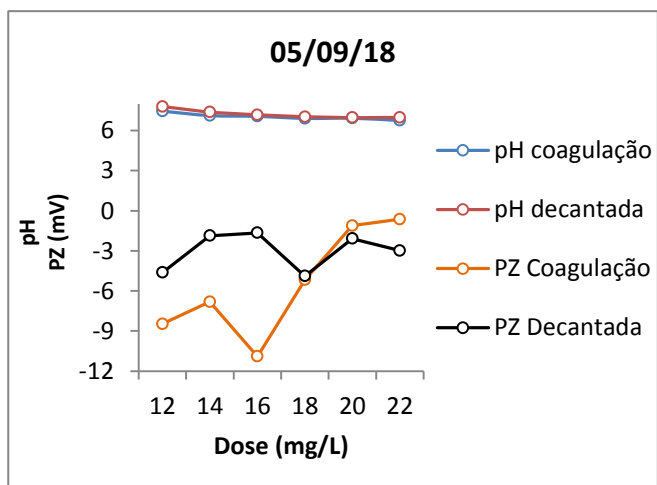
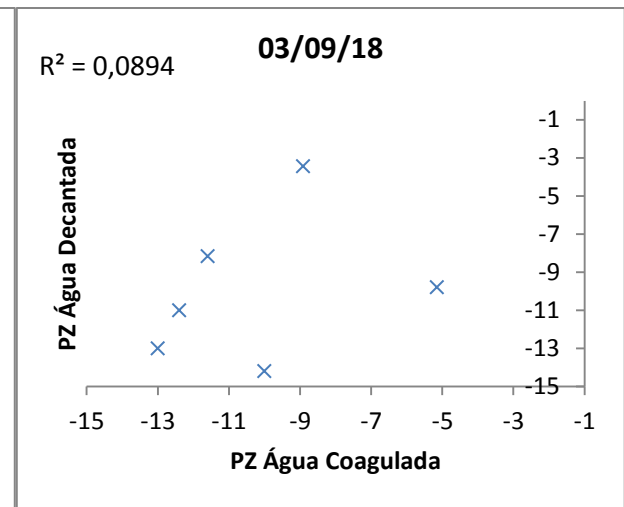
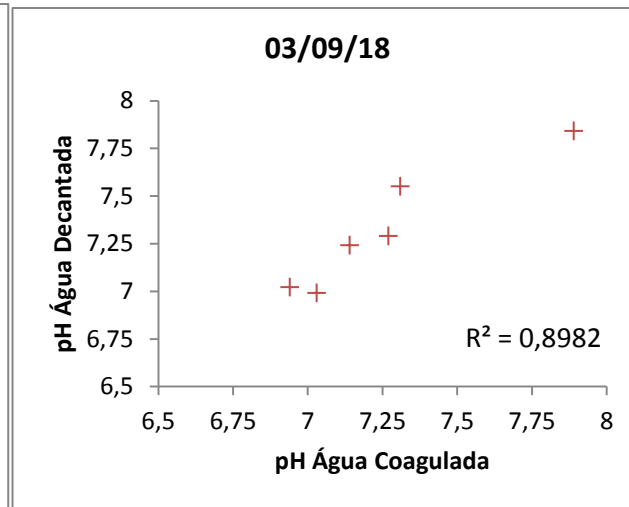
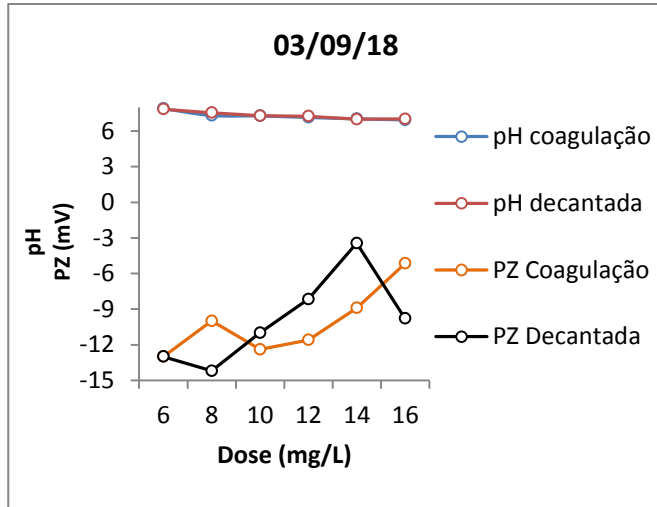


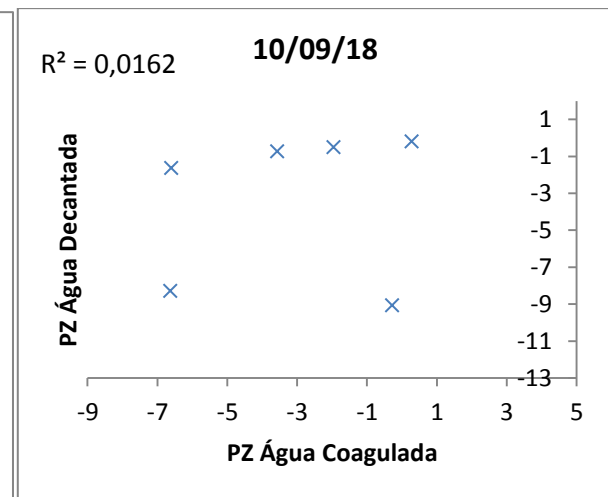
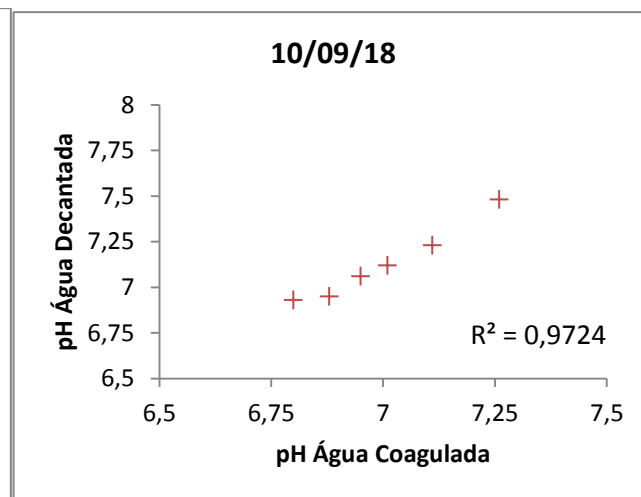
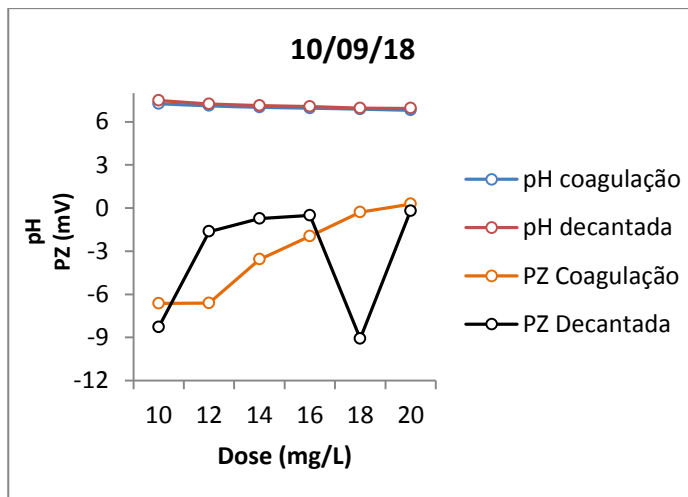
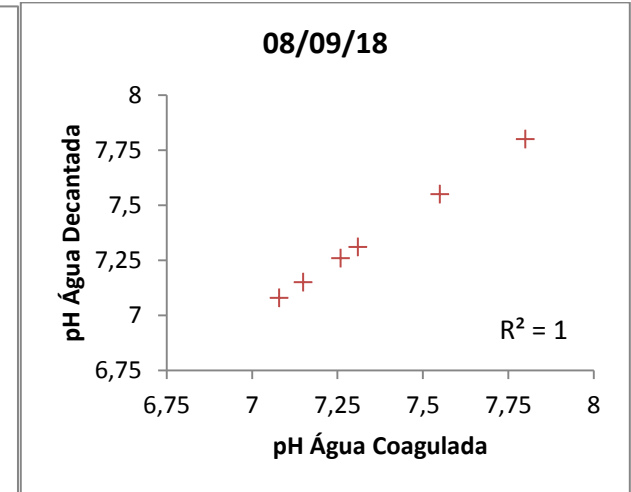
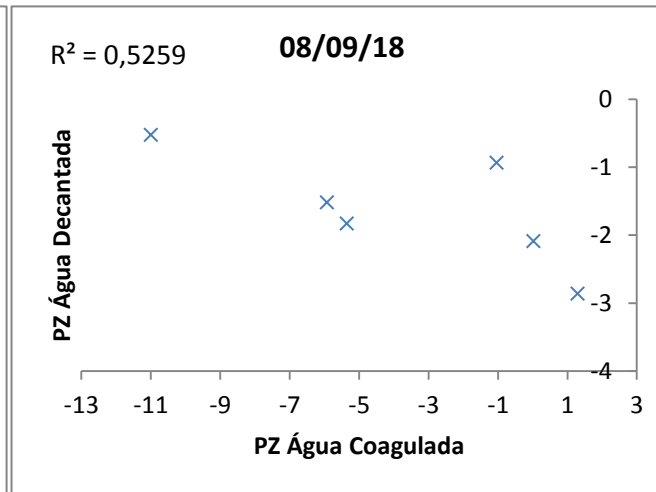
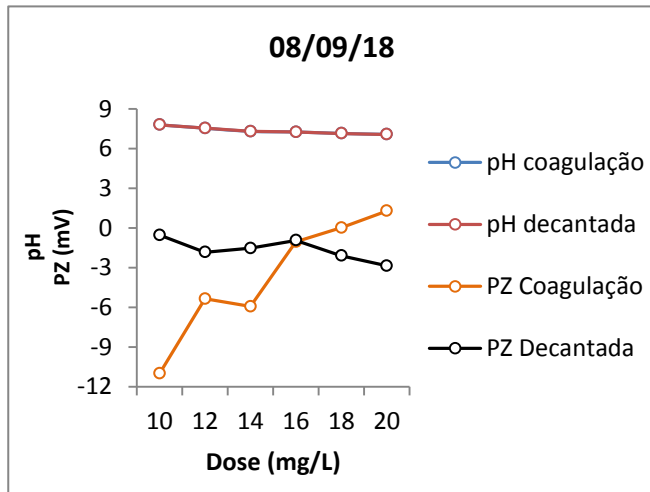


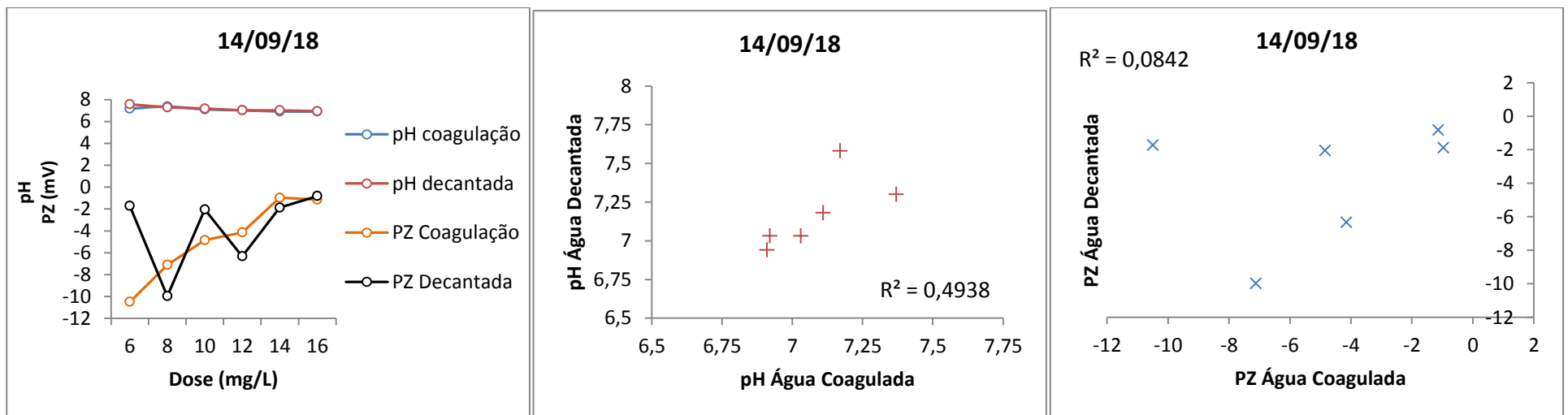
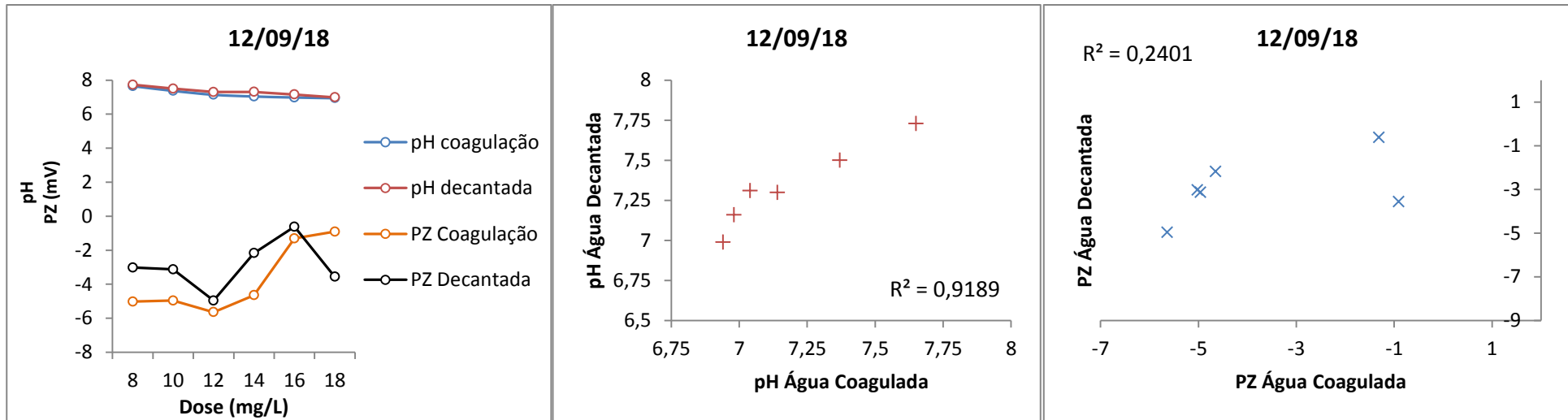


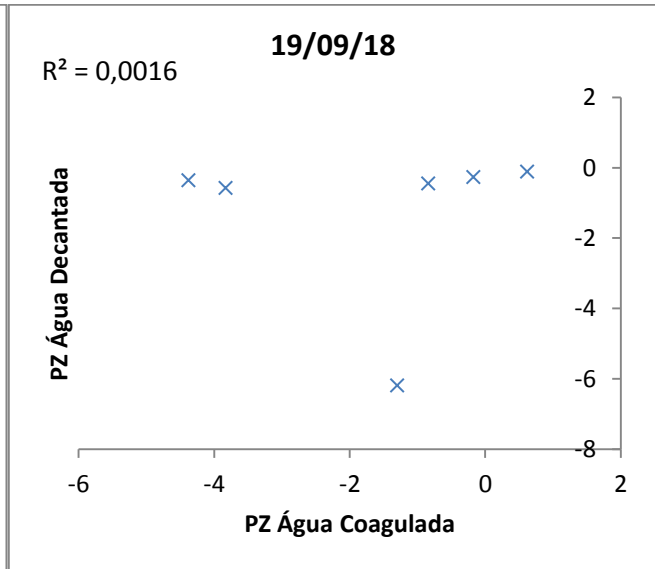
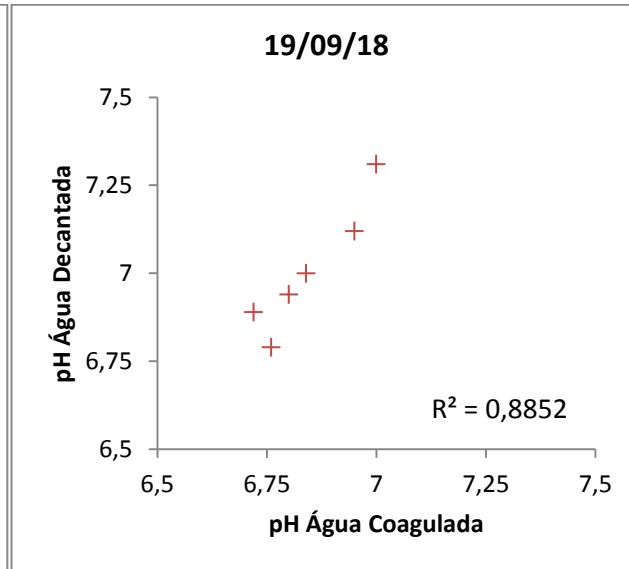
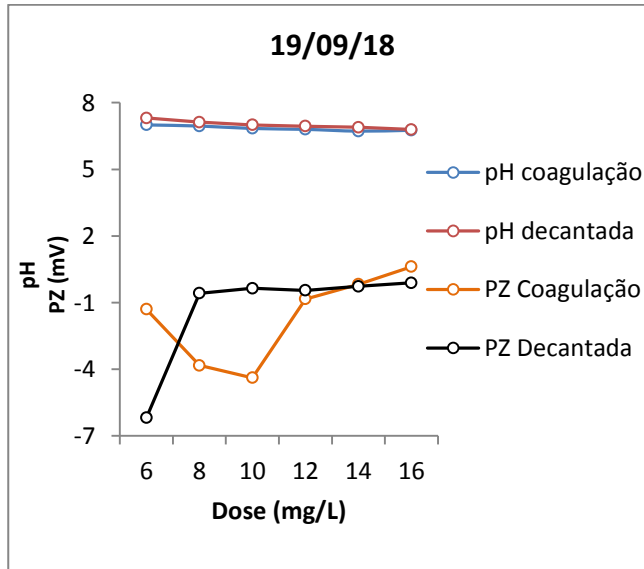
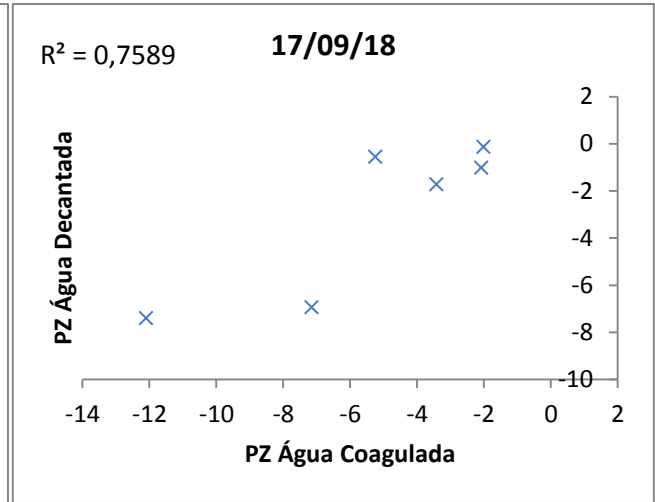
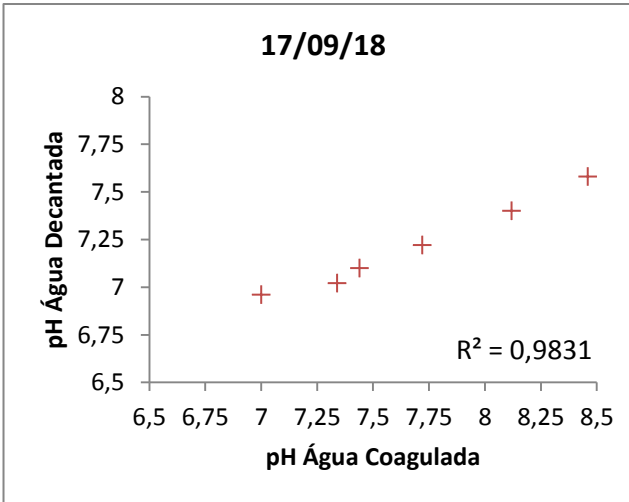
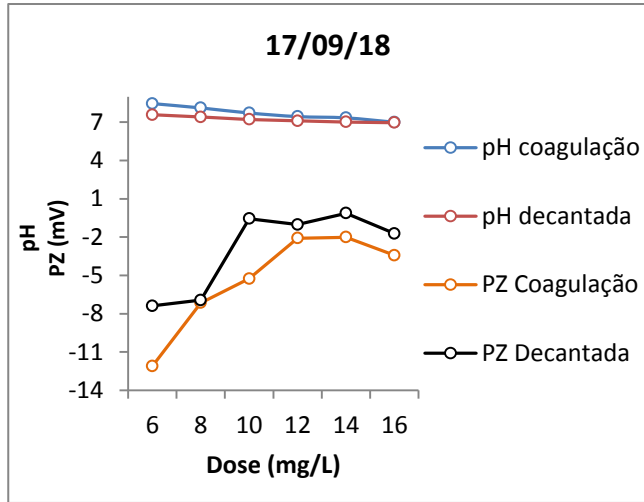


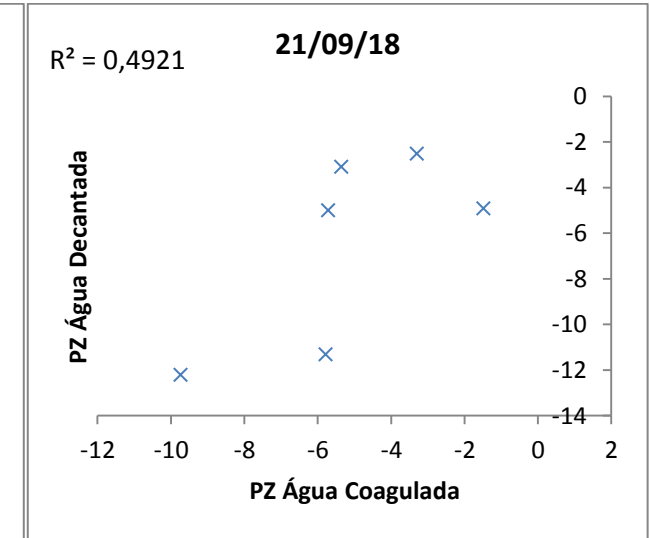
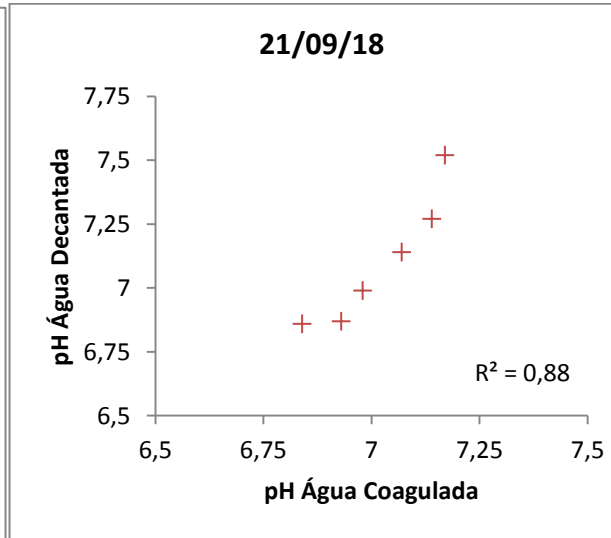
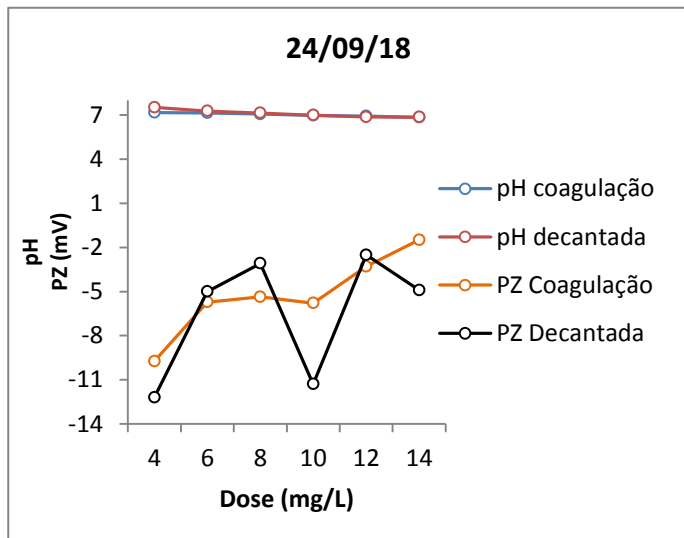
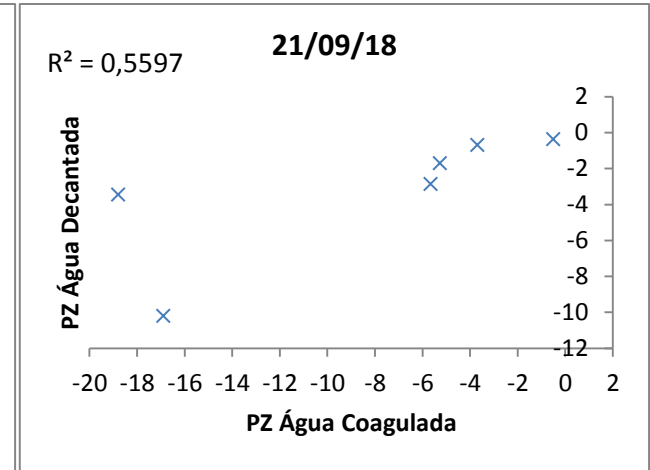
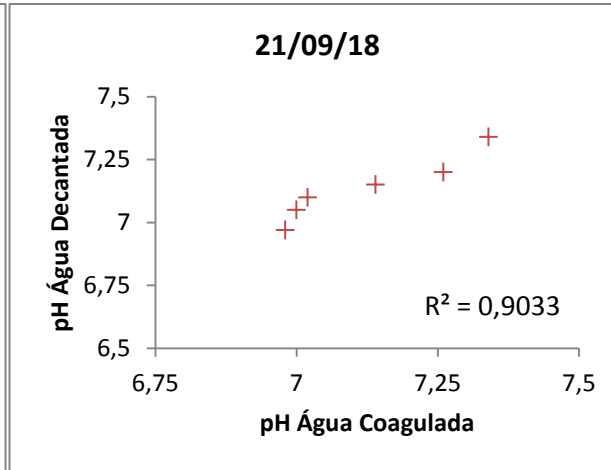
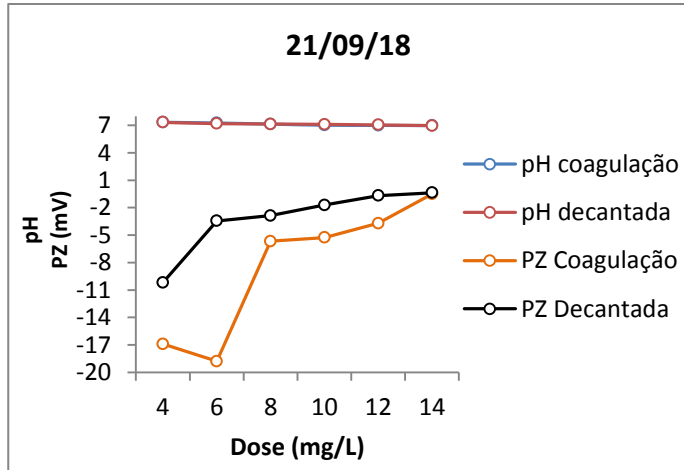


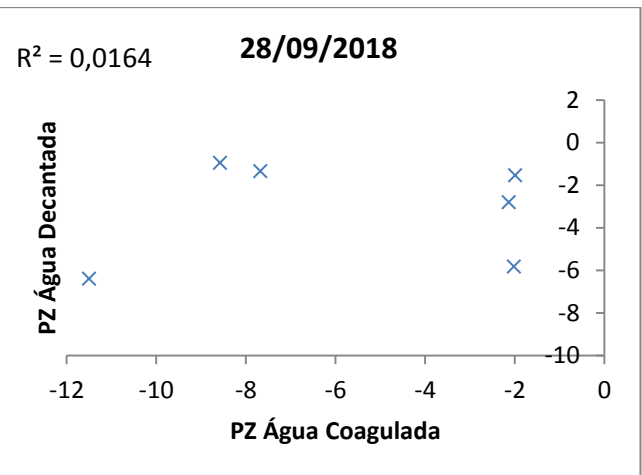
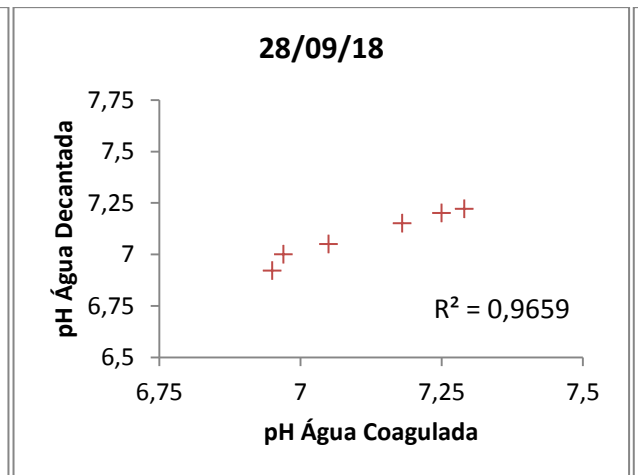
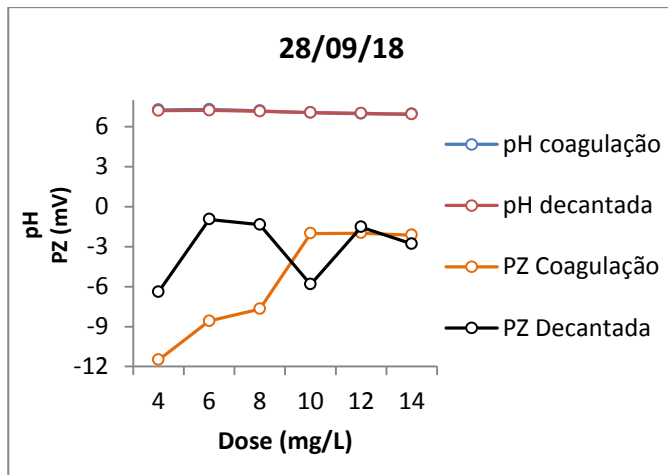
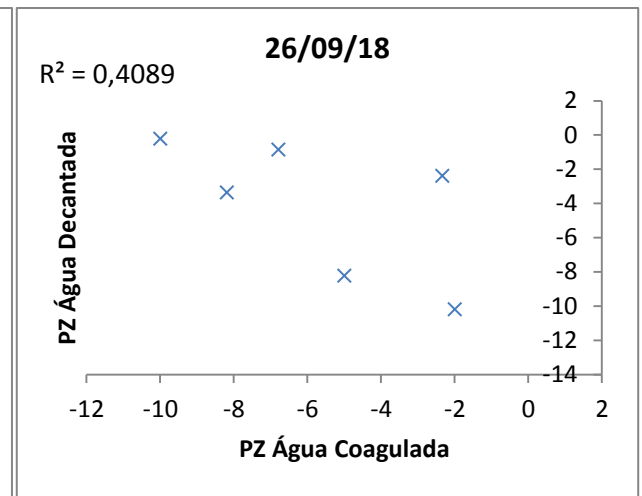
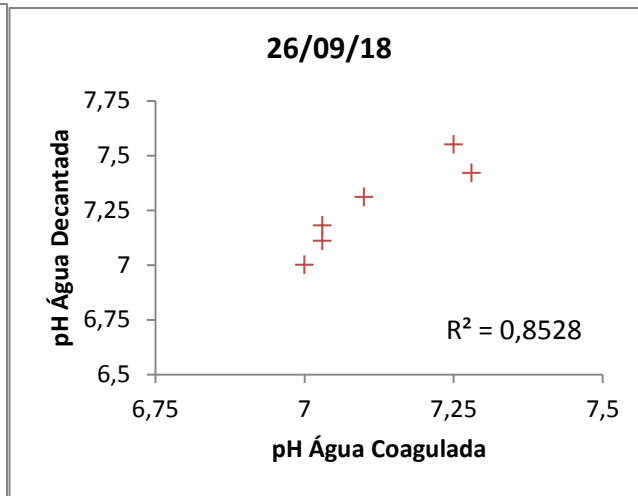
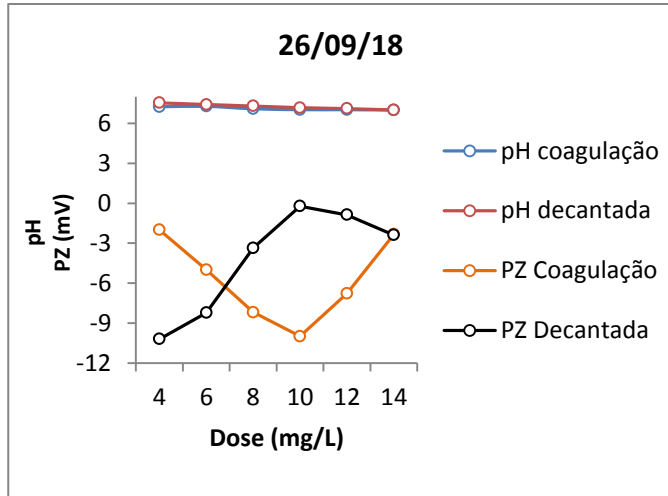


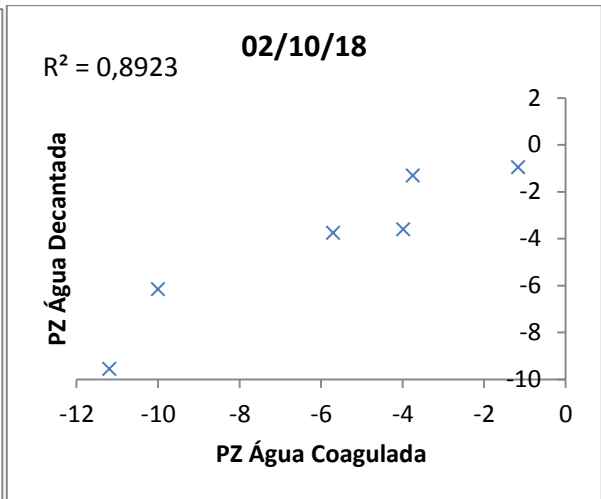
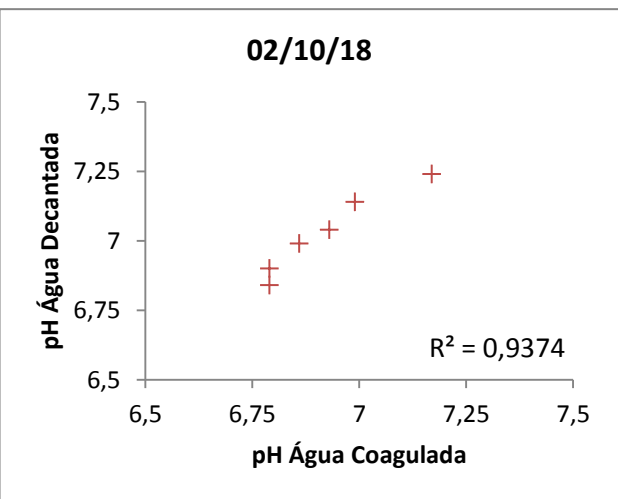
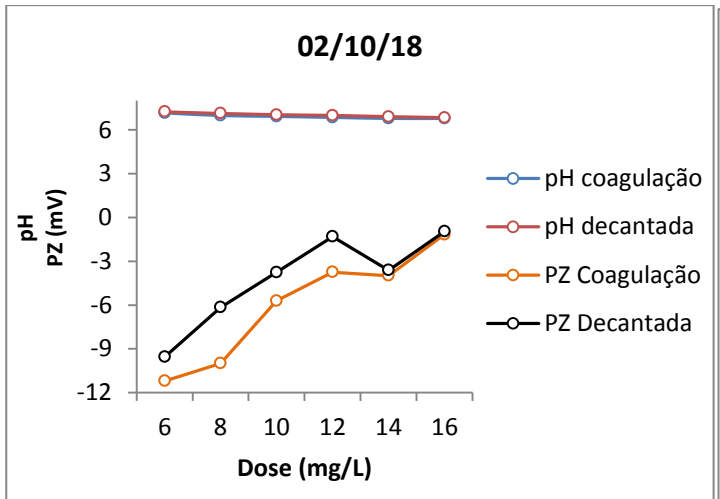
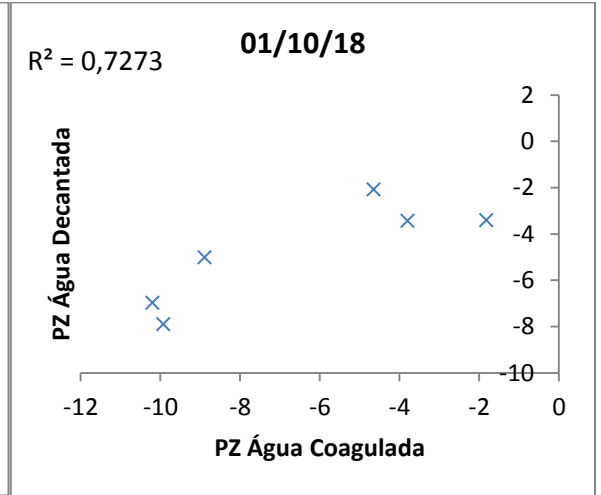
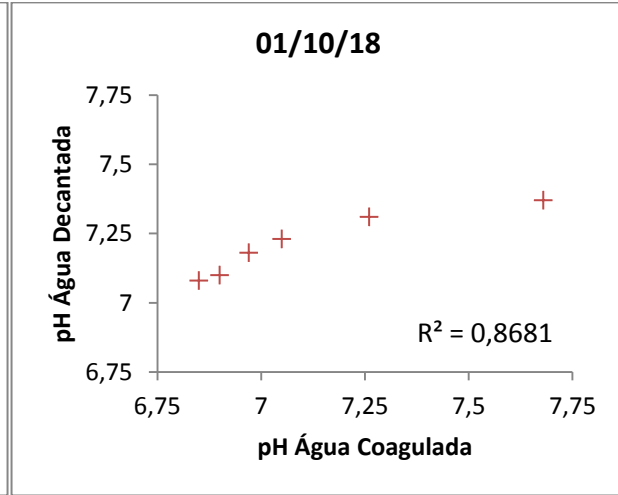
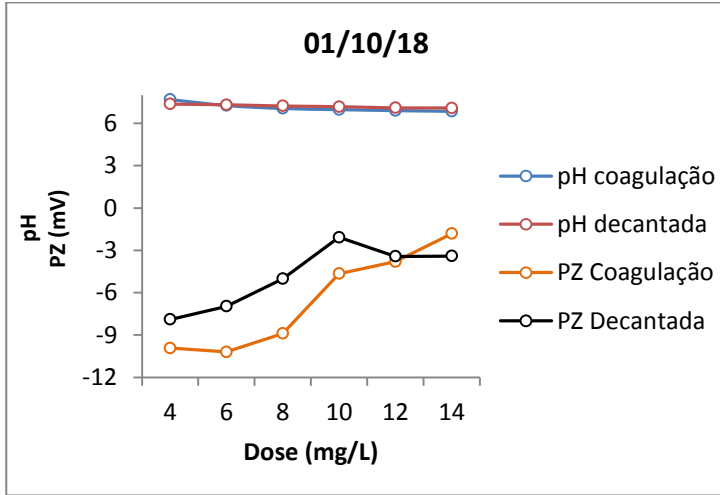


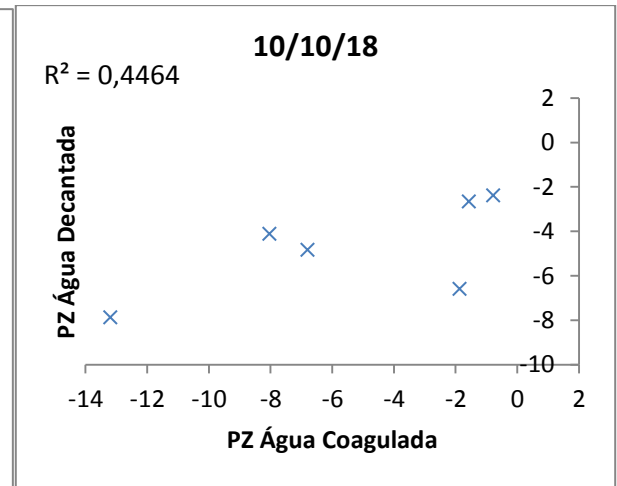
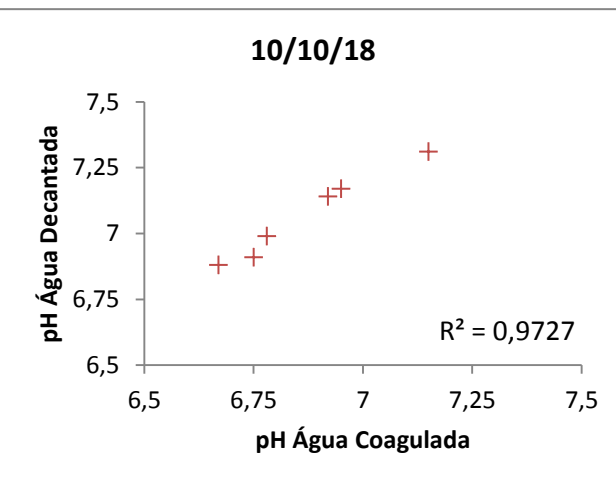
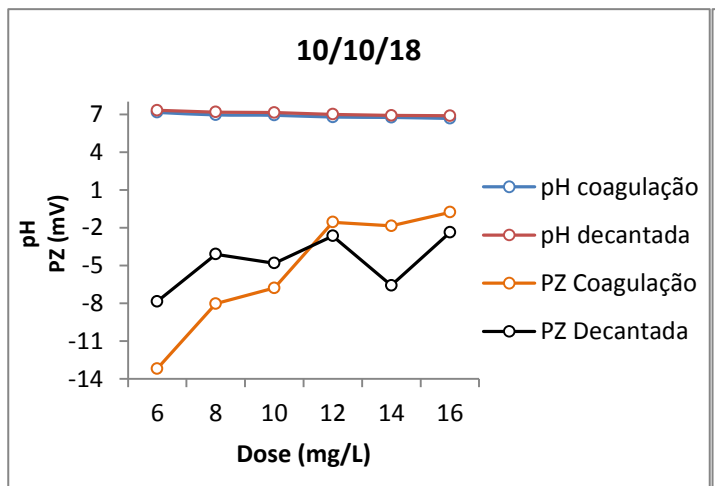
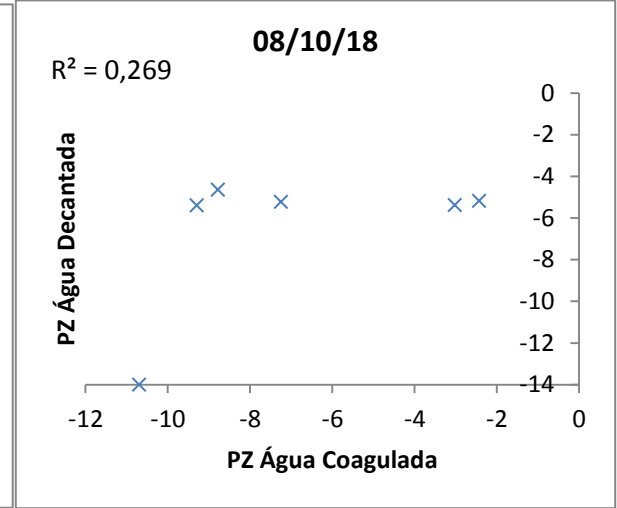
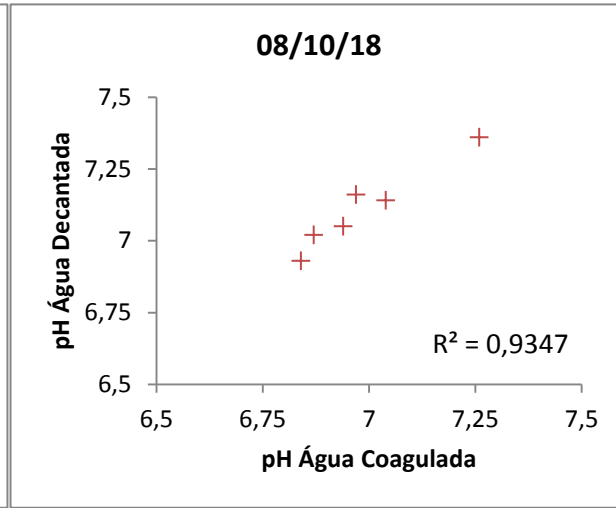
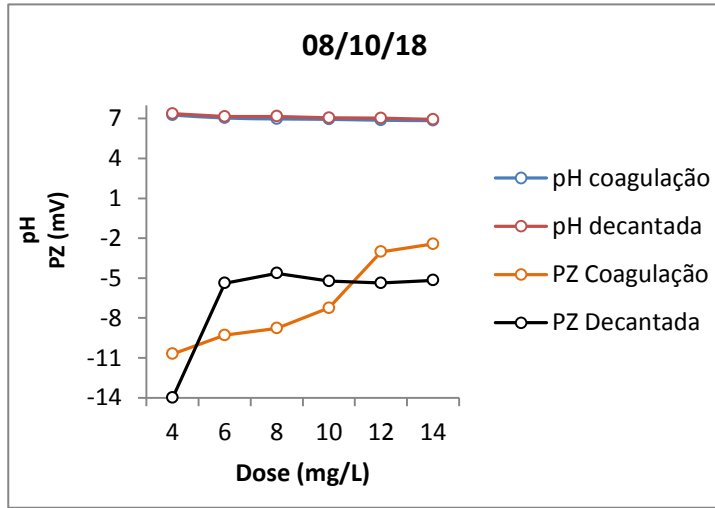


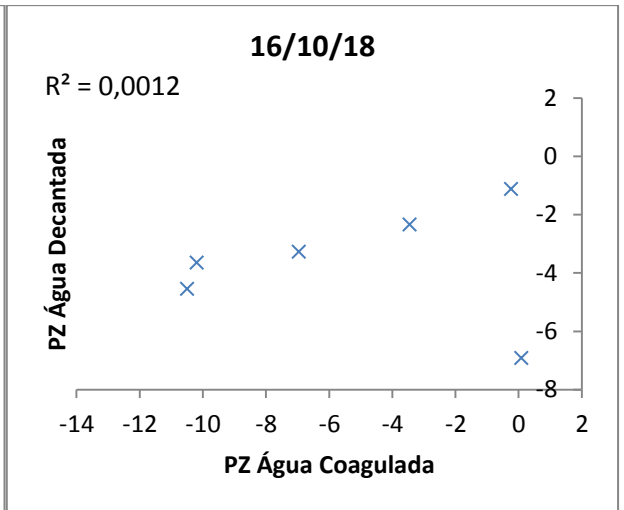
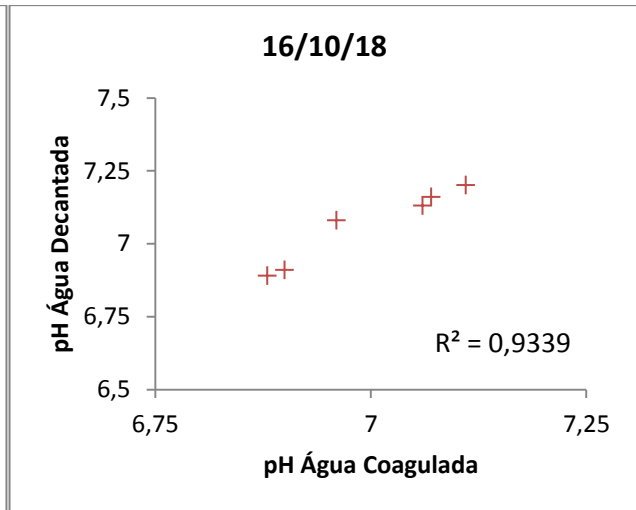
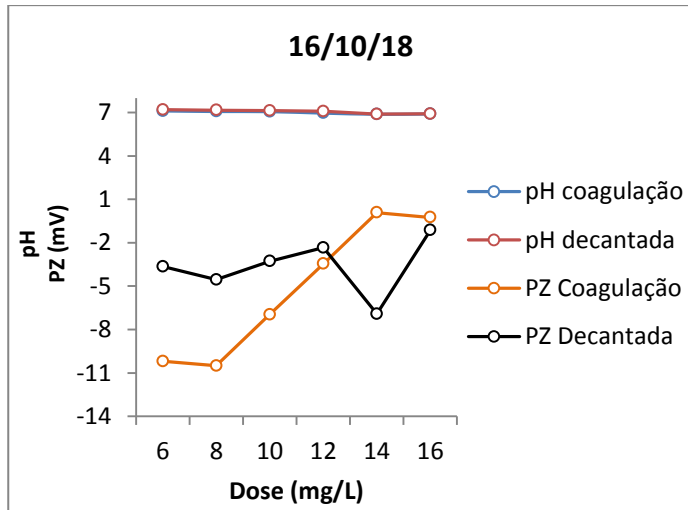
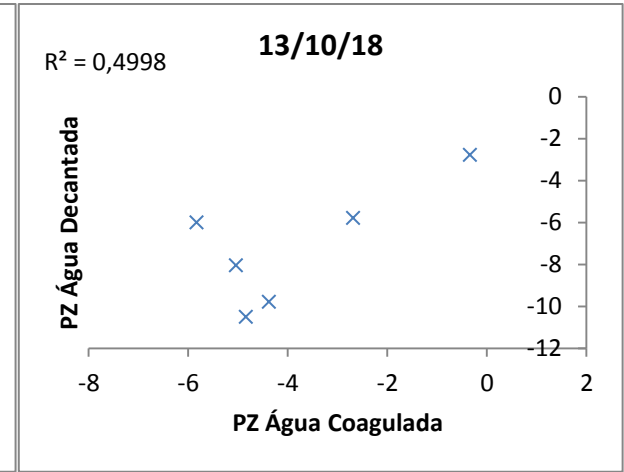
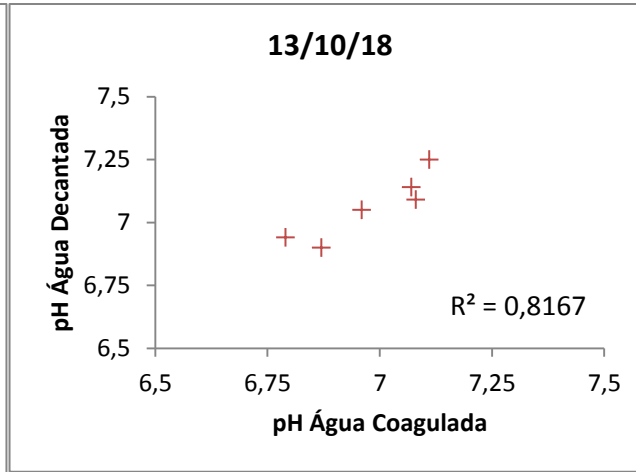
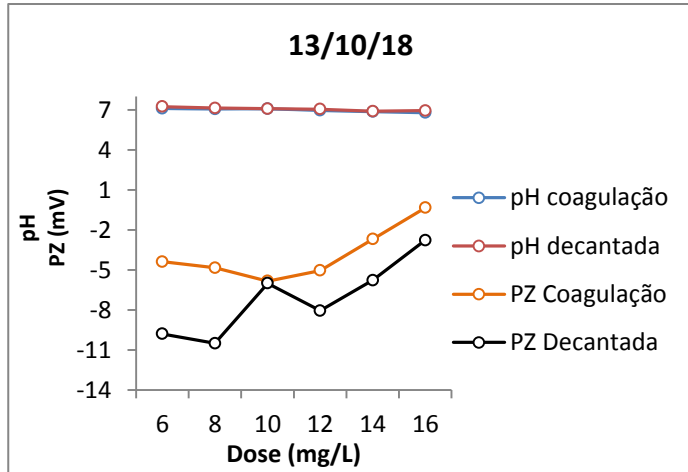


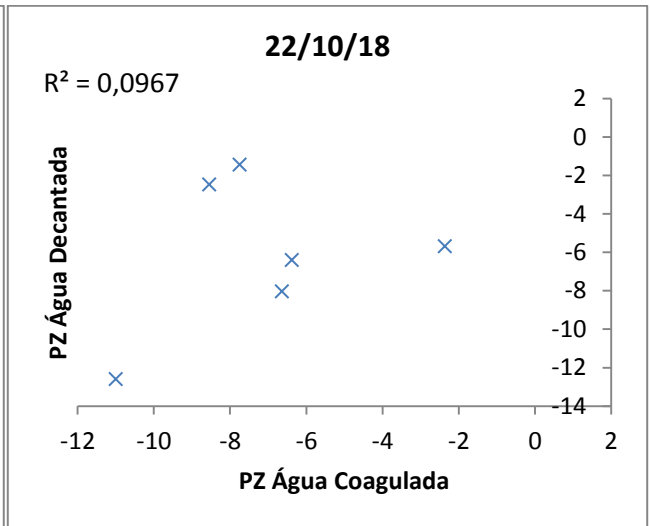
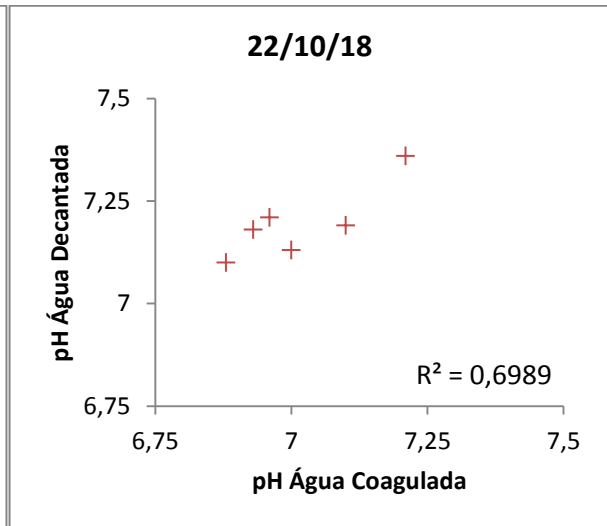
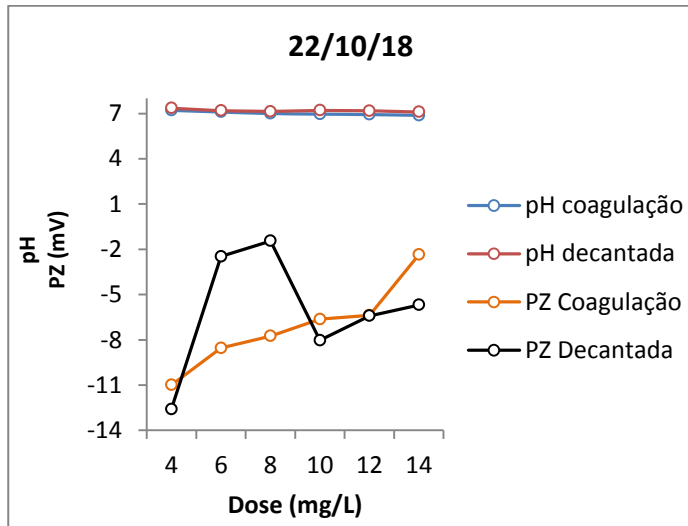
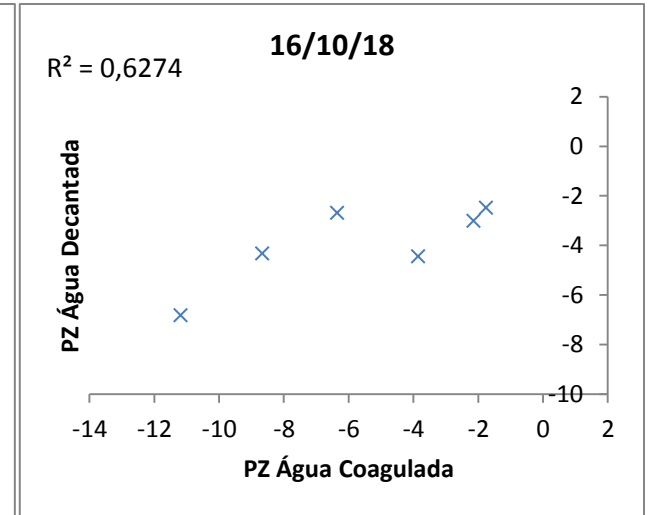
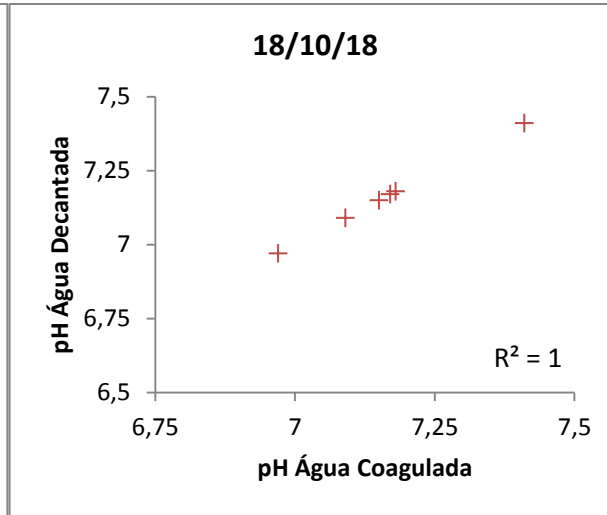
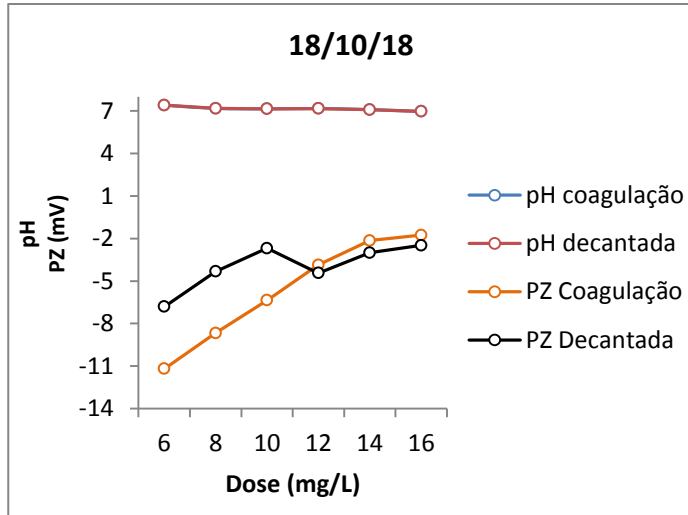


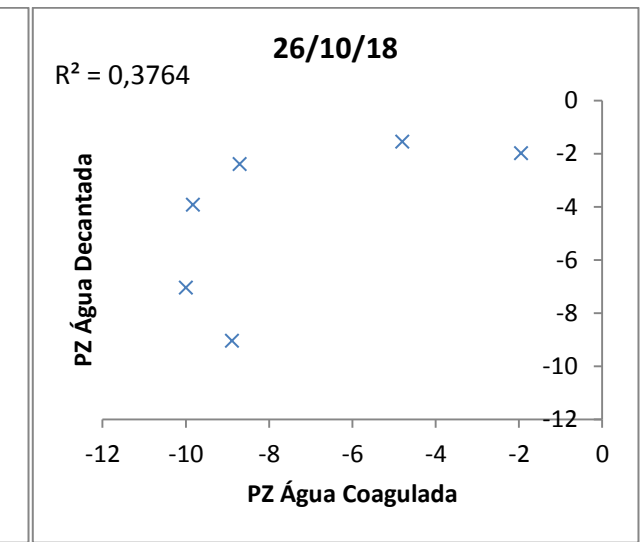
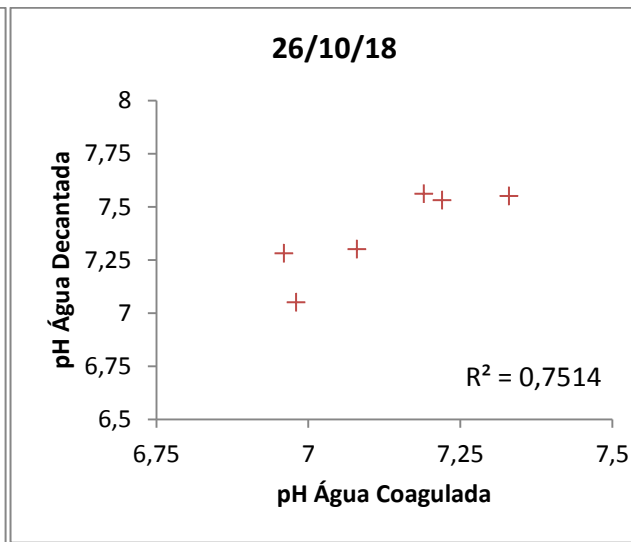
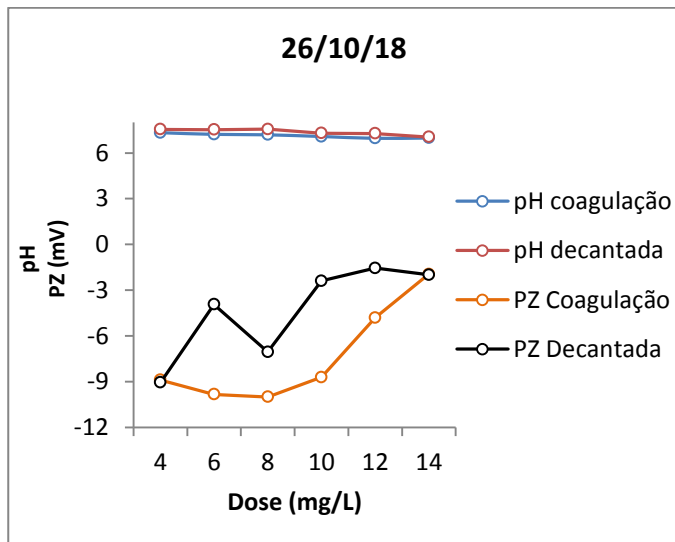
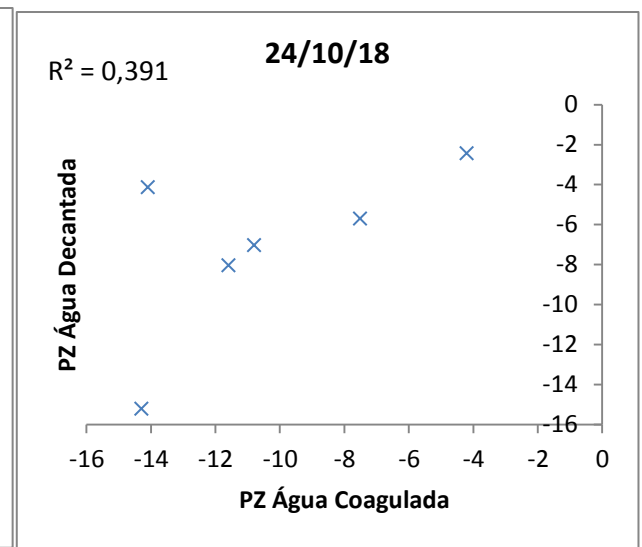
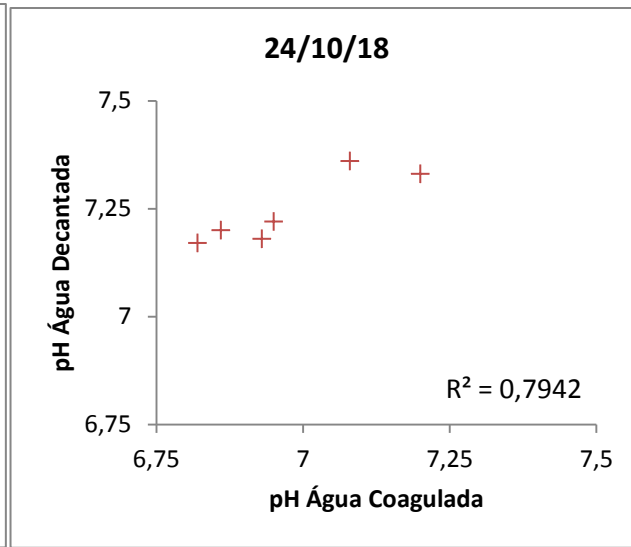
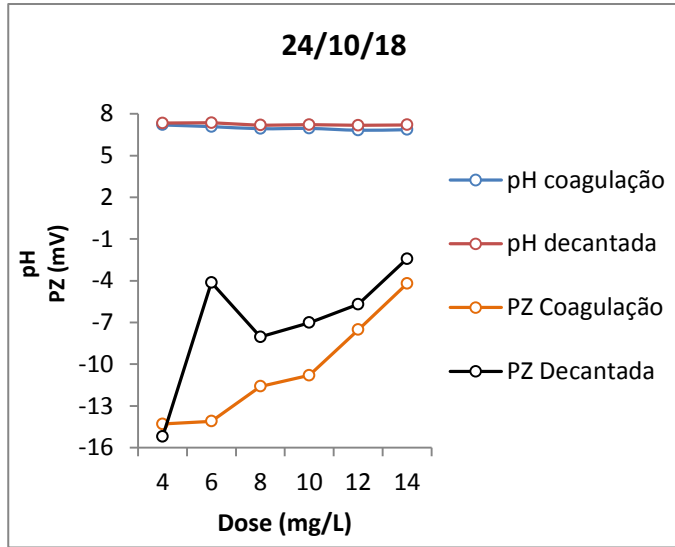


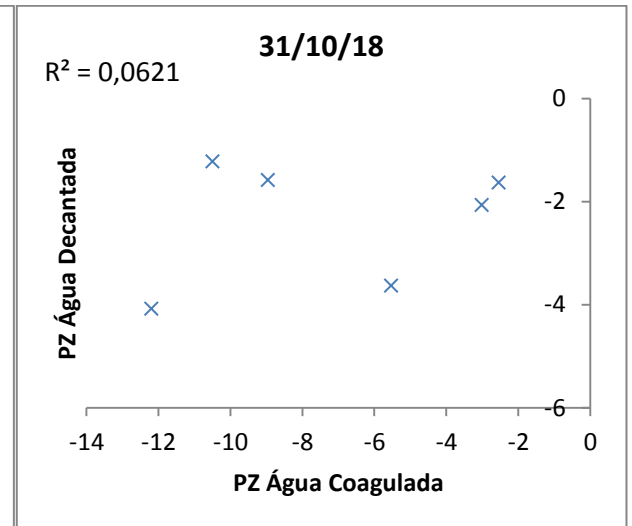
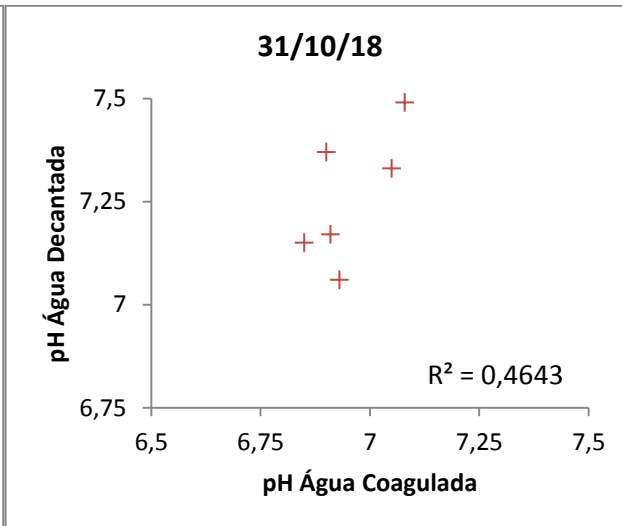
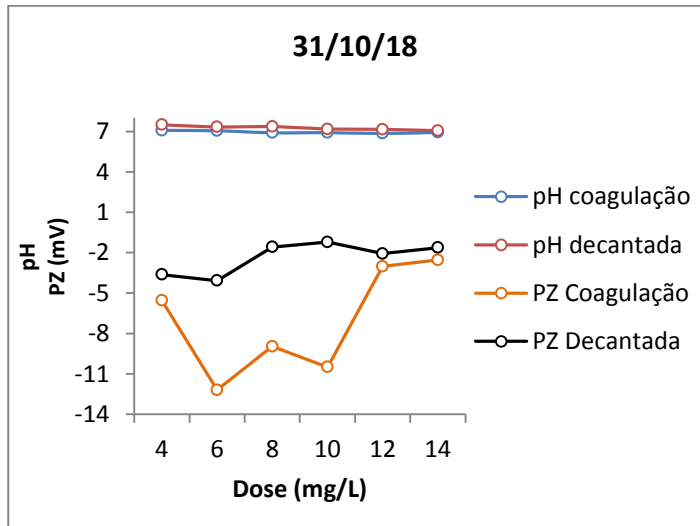
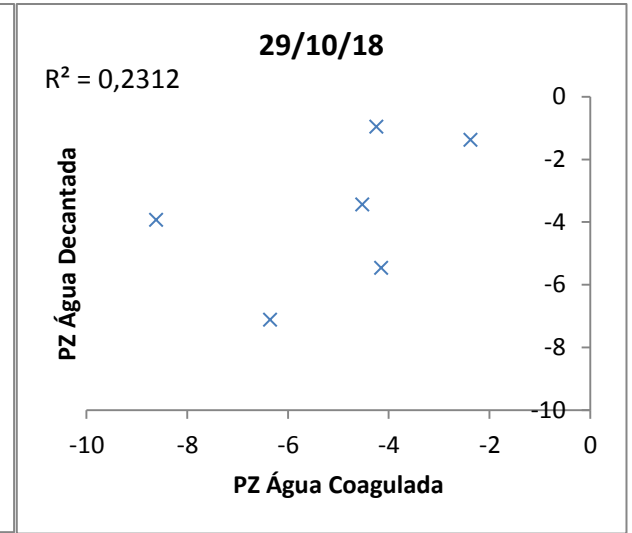
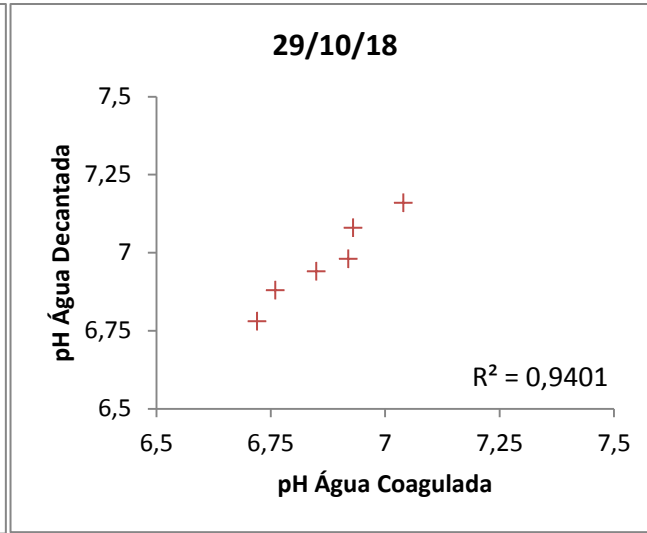
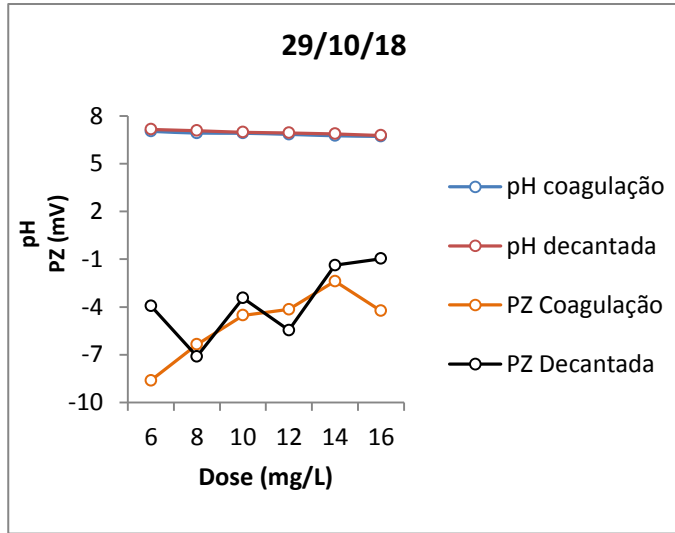


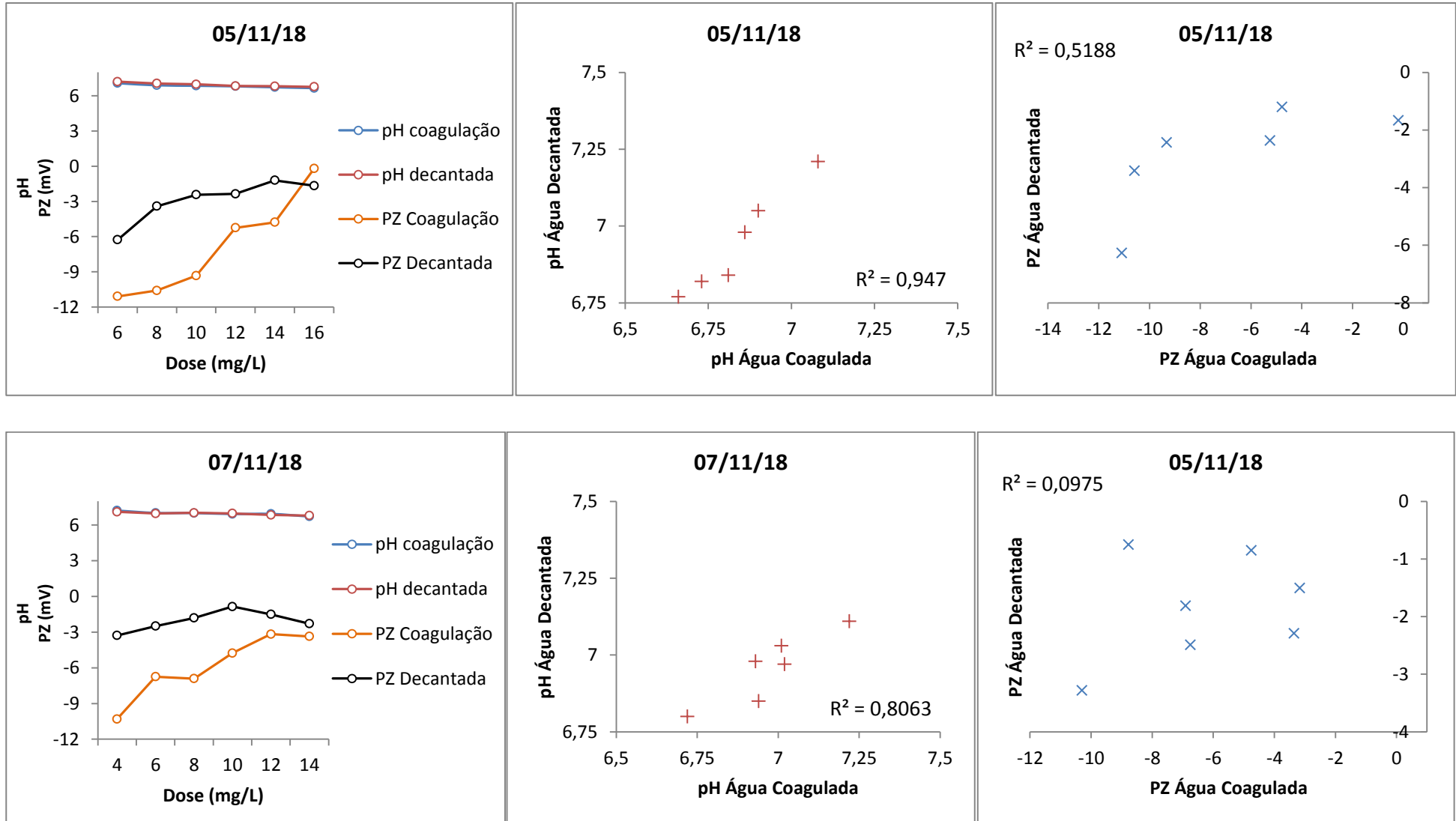


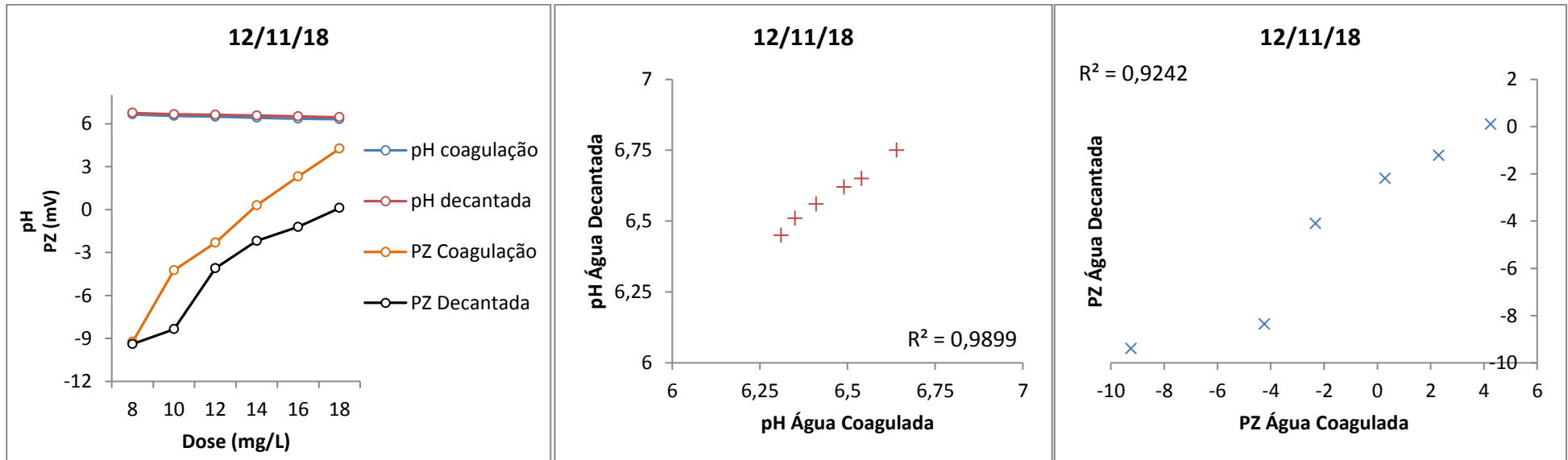
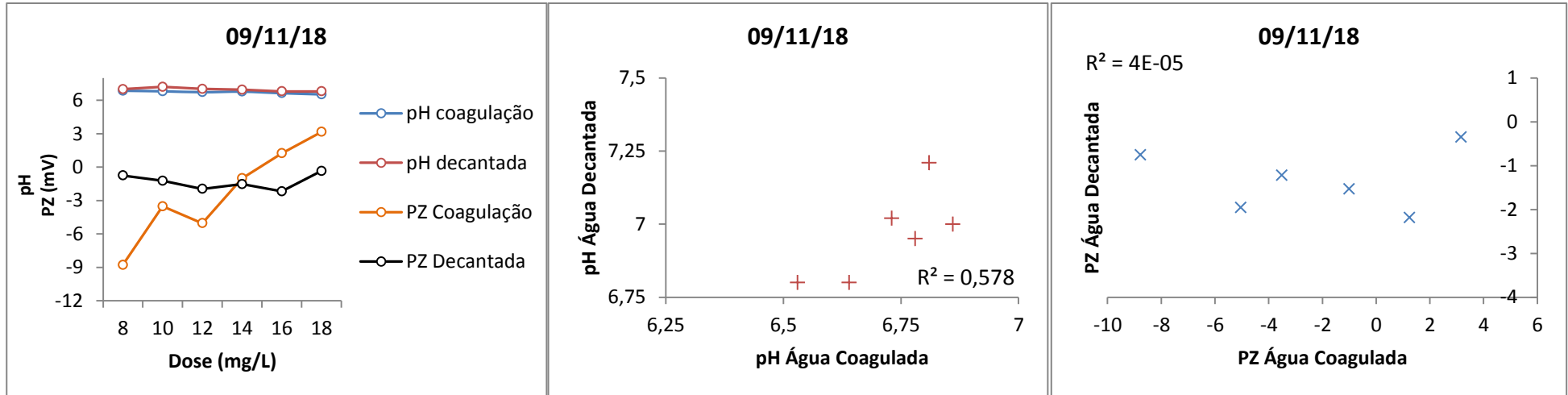


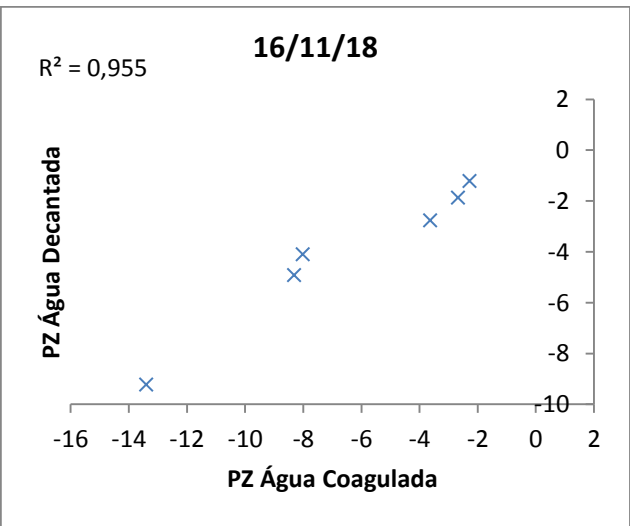
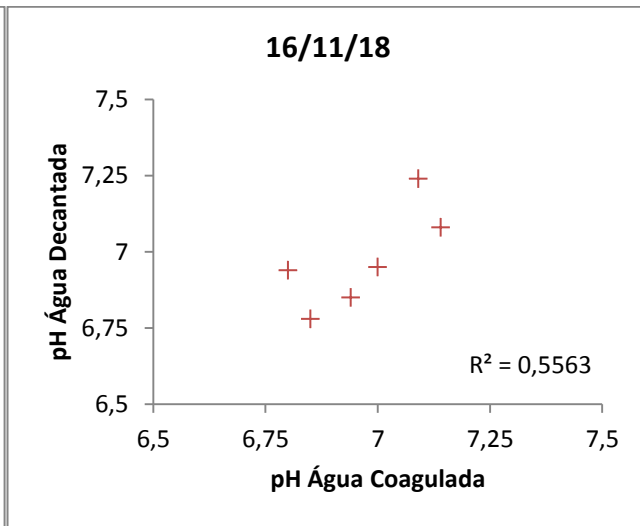
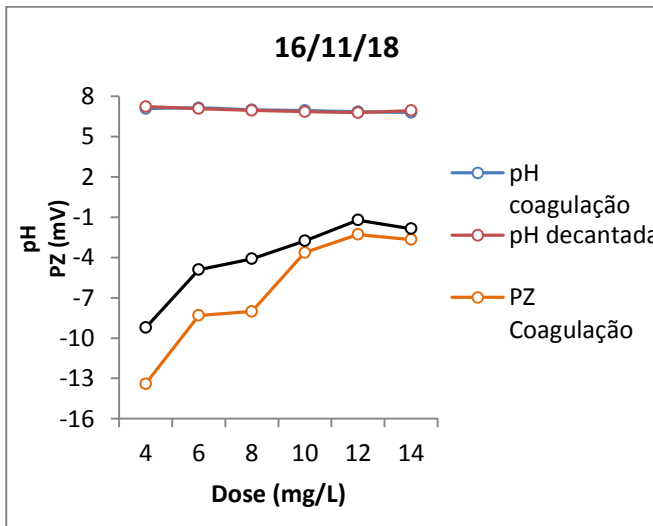
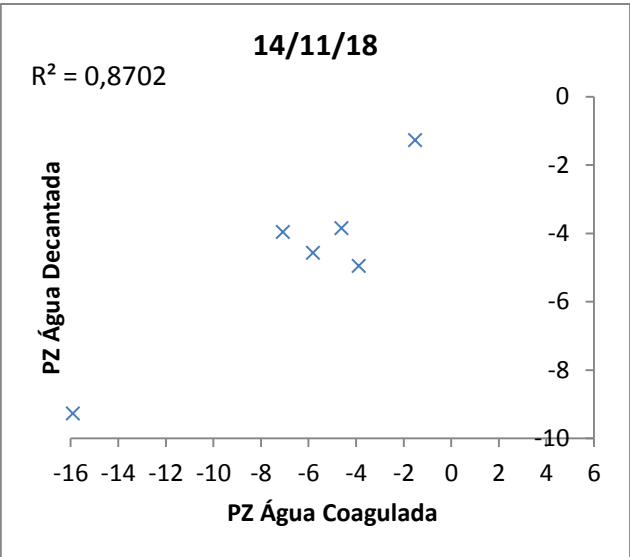
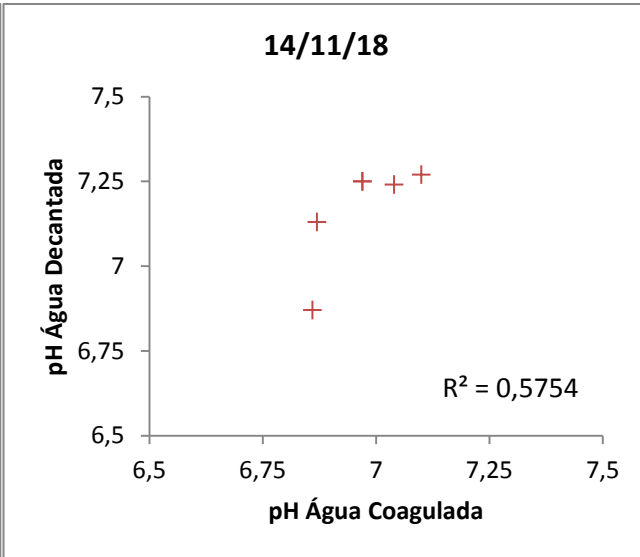
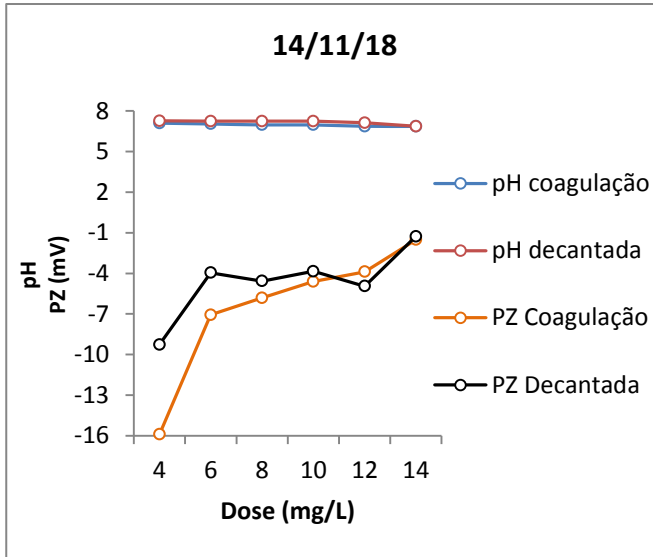


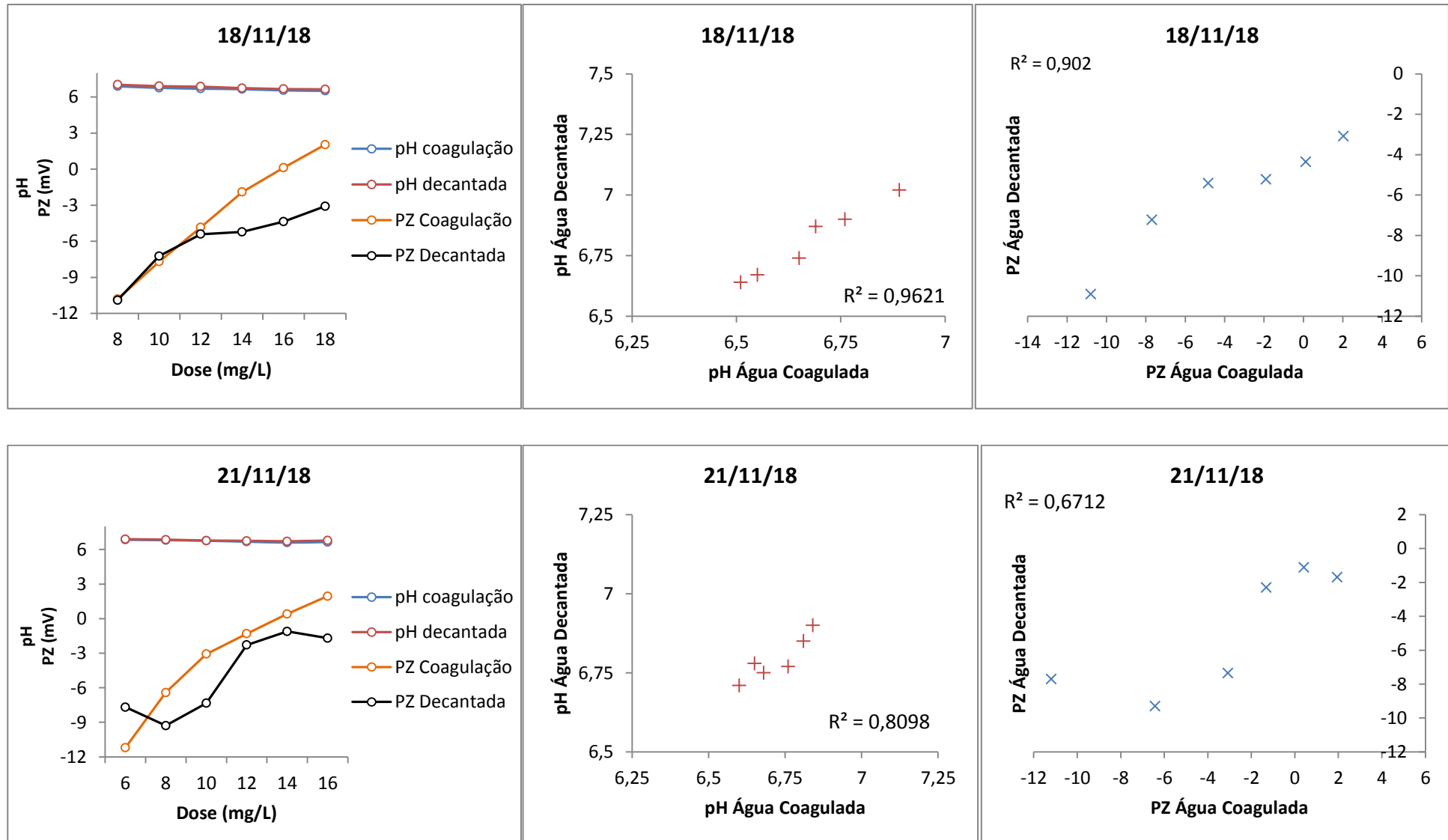


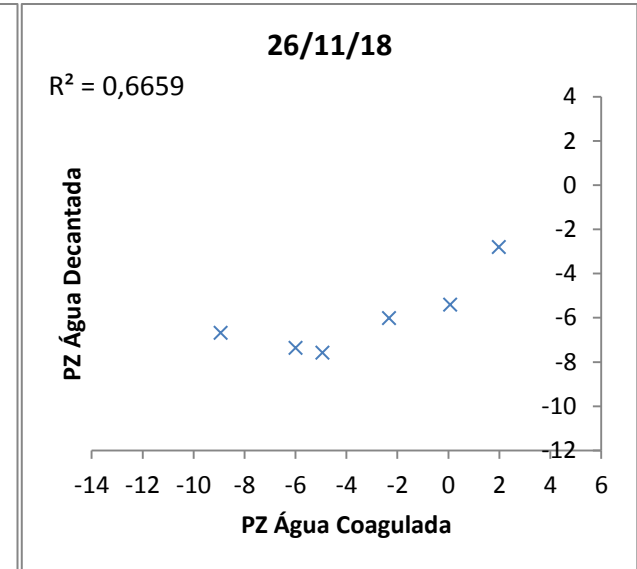
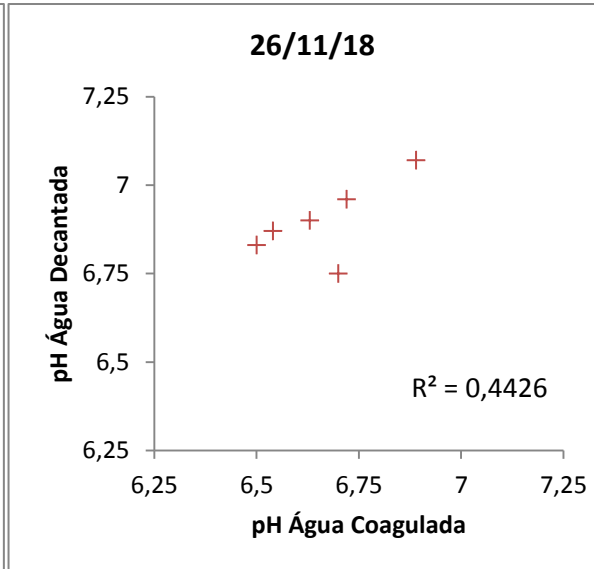
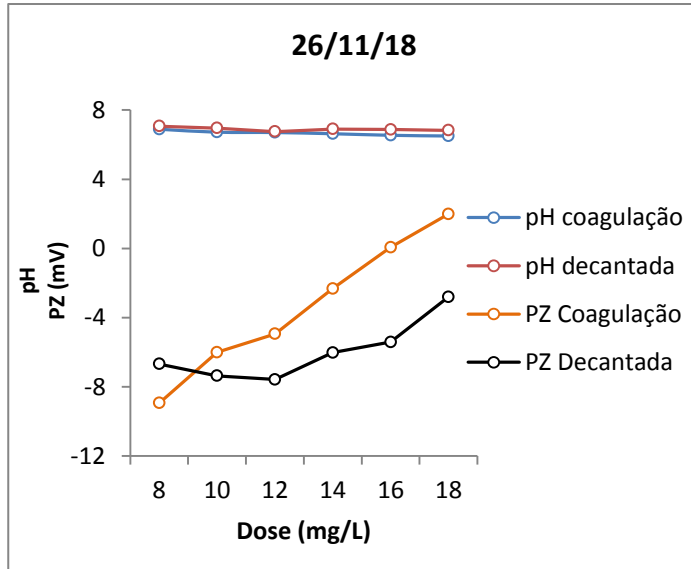




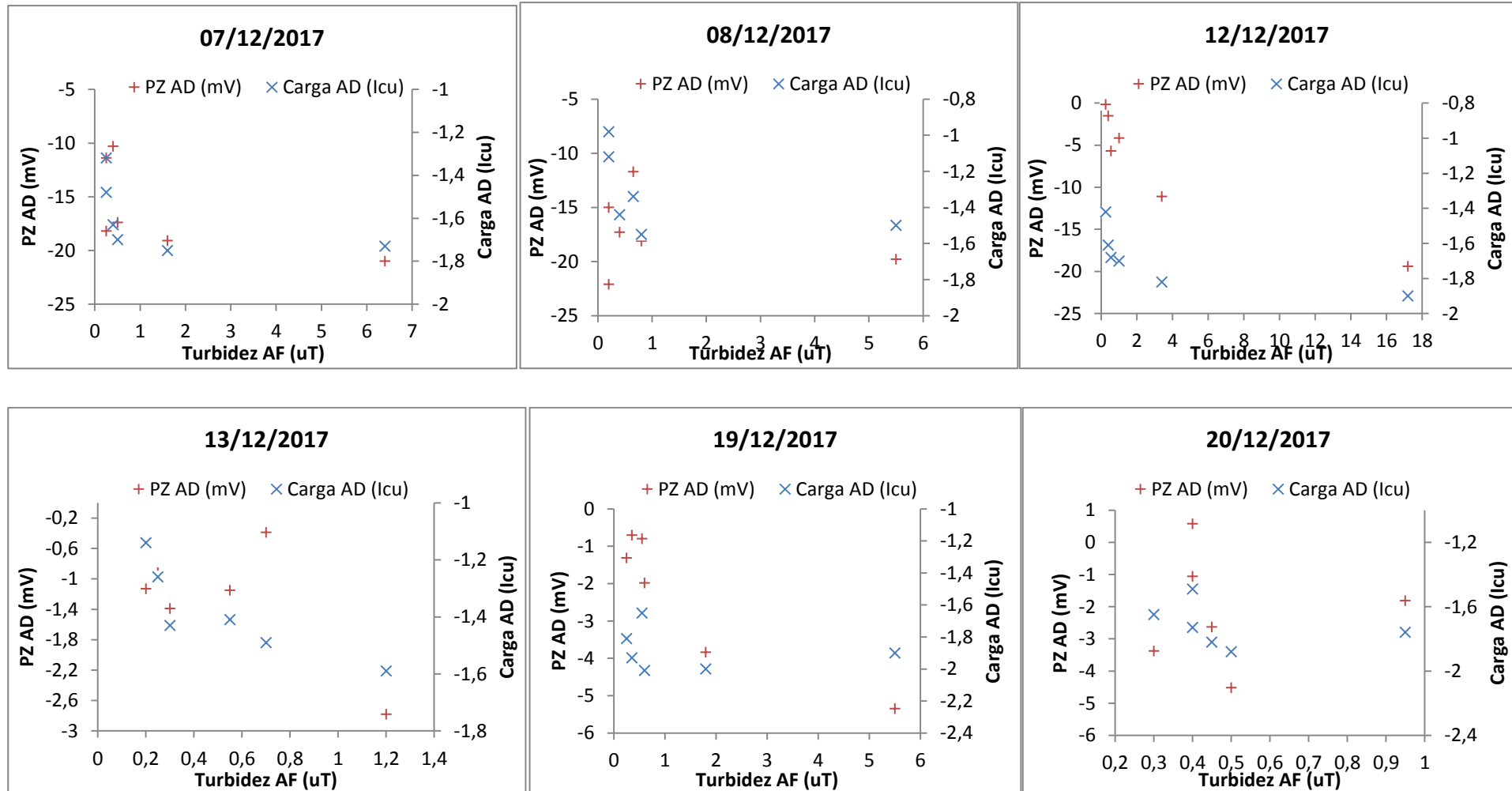


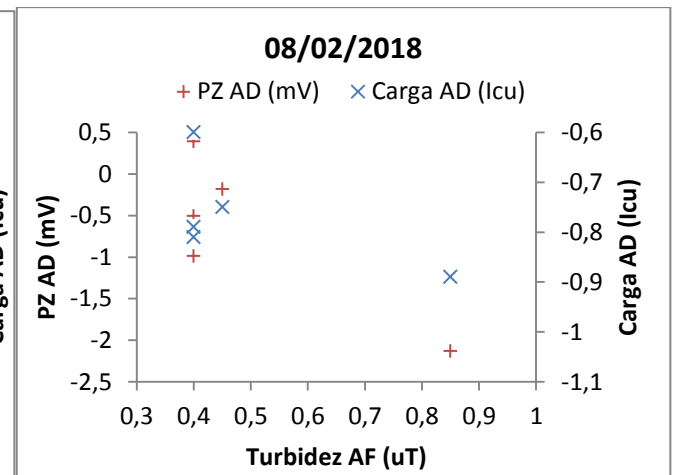
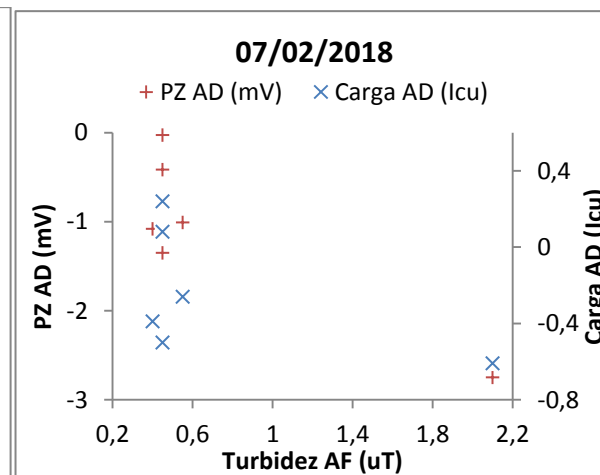
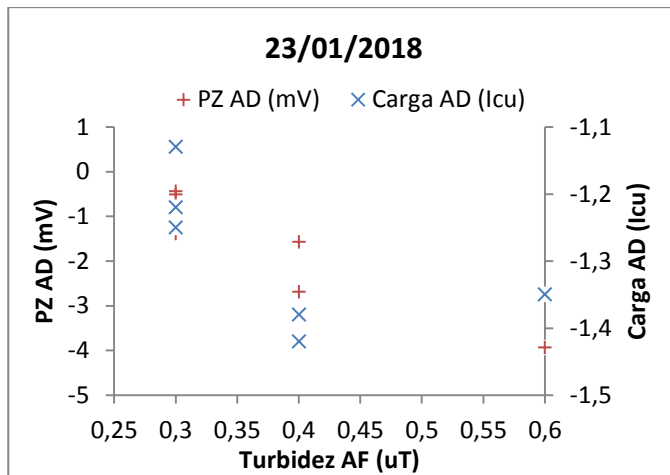
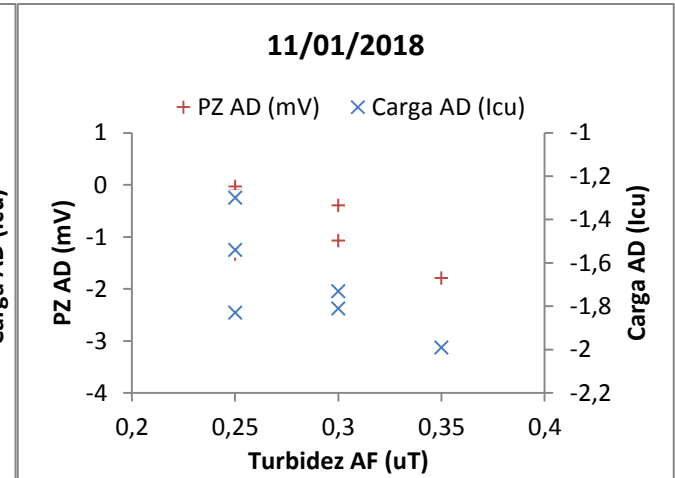
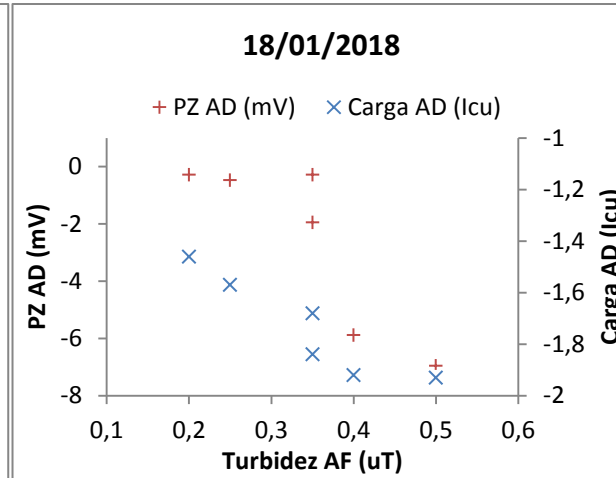
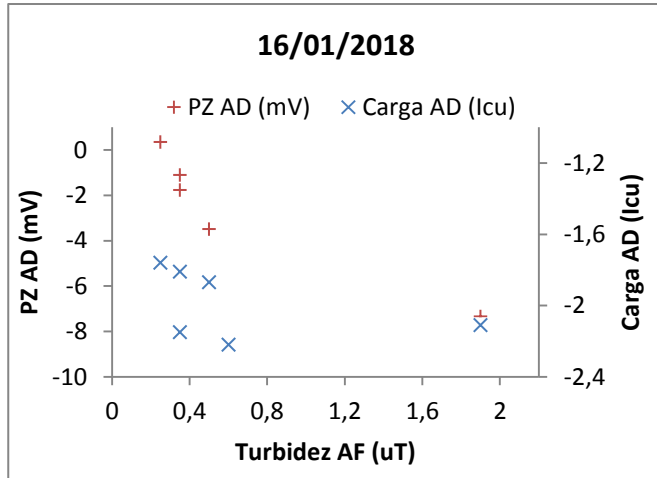


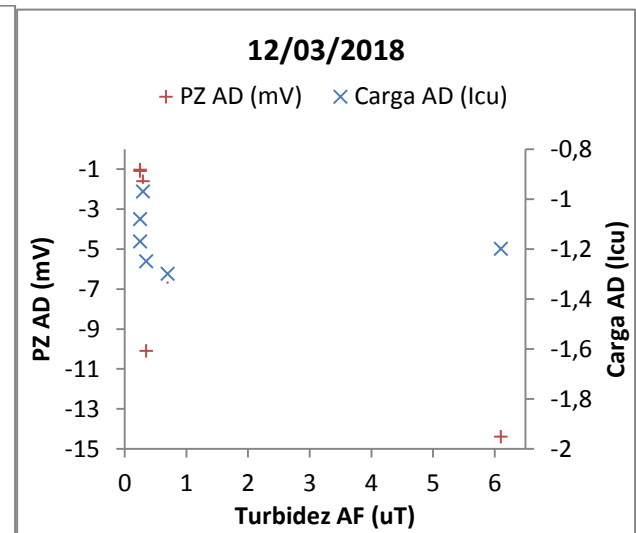
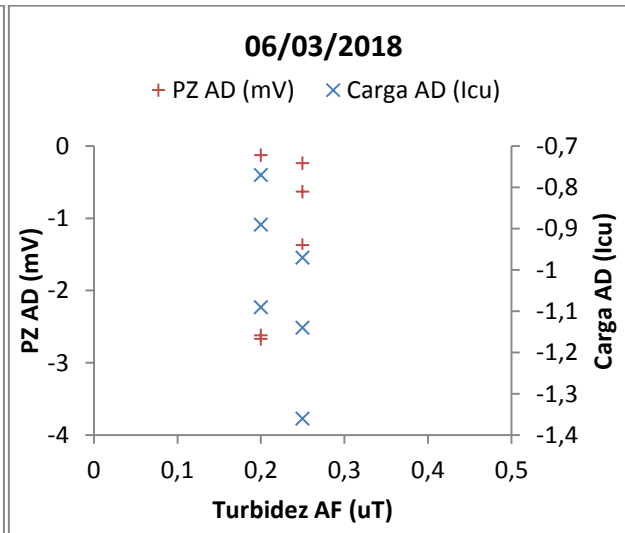
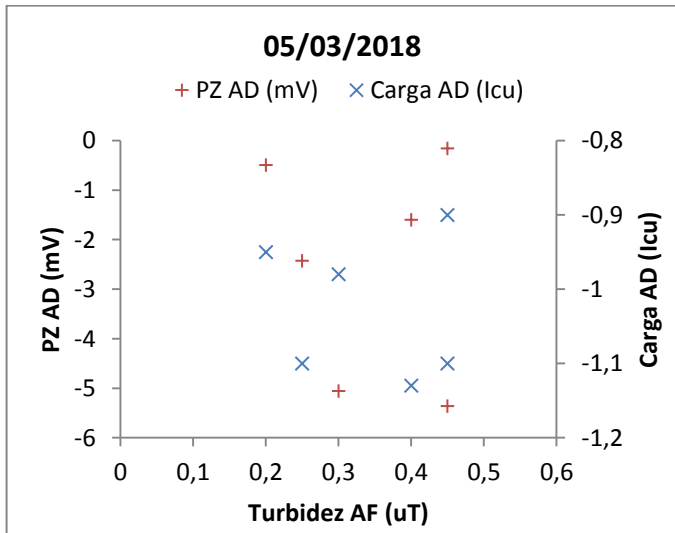
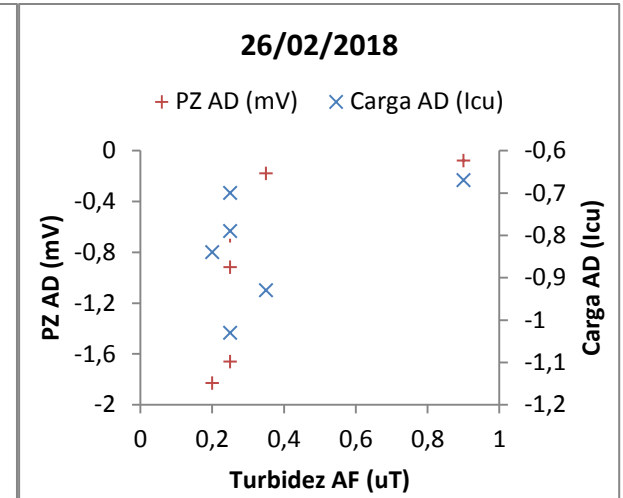
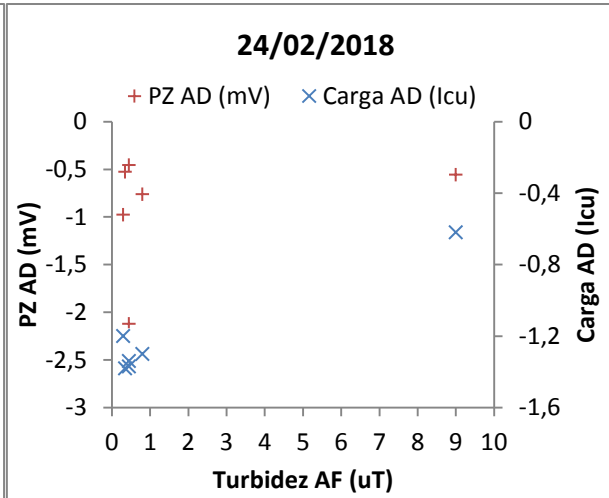
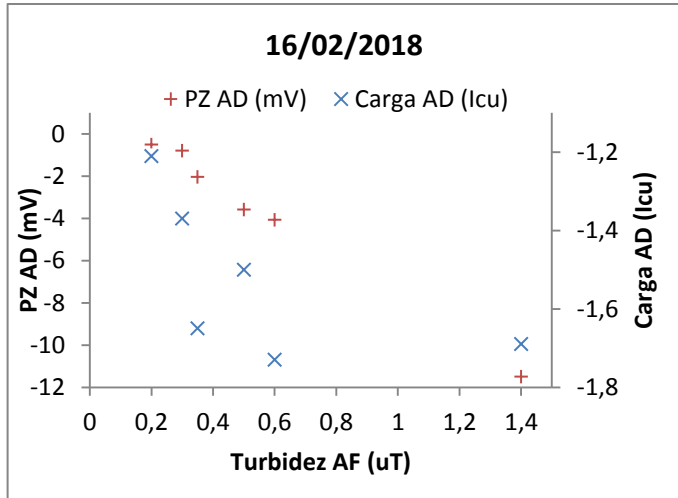


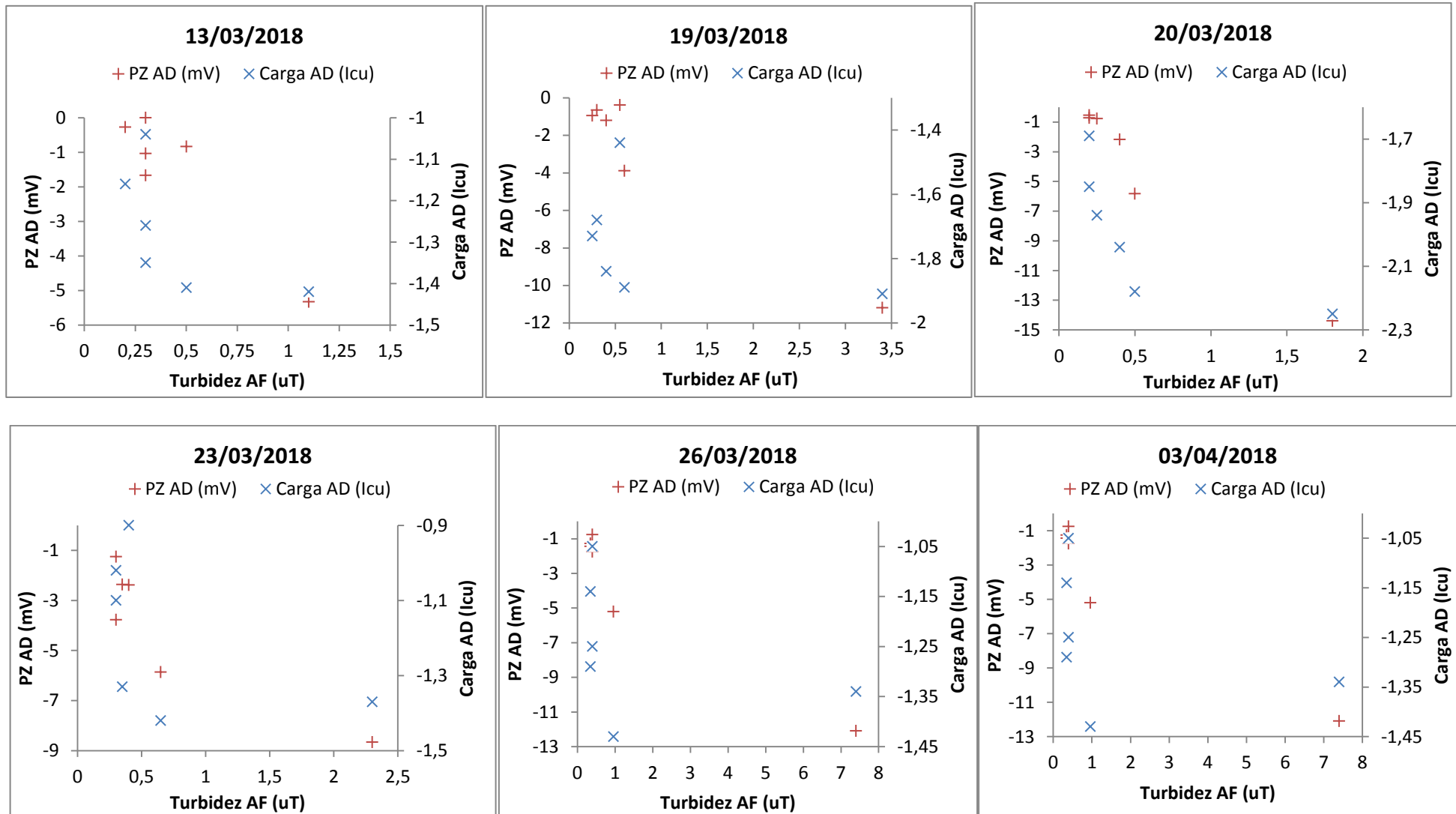


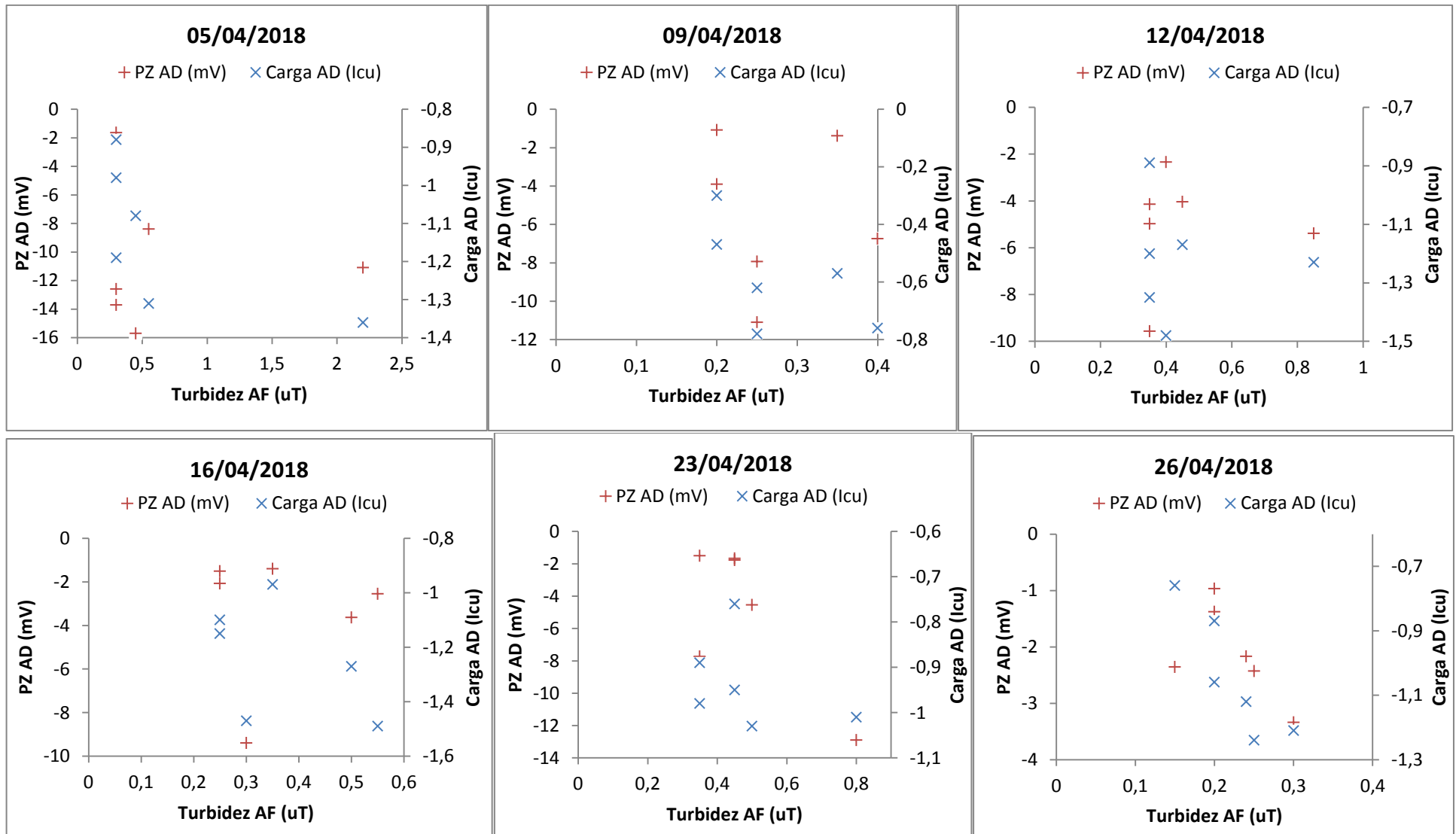
**APÊNDICE E: DIAGRAMA DE DISPERSÃO: TURBIDEZ DA ÁGUA FILTRADA VERSUS POTENCIAL ZETA DA ÁGUA DECANTADA E TURBIDEZ DA ÁGUA FILTRADA VERSUS CARGA DA ÁGUA DECANTADA POR DATA.**

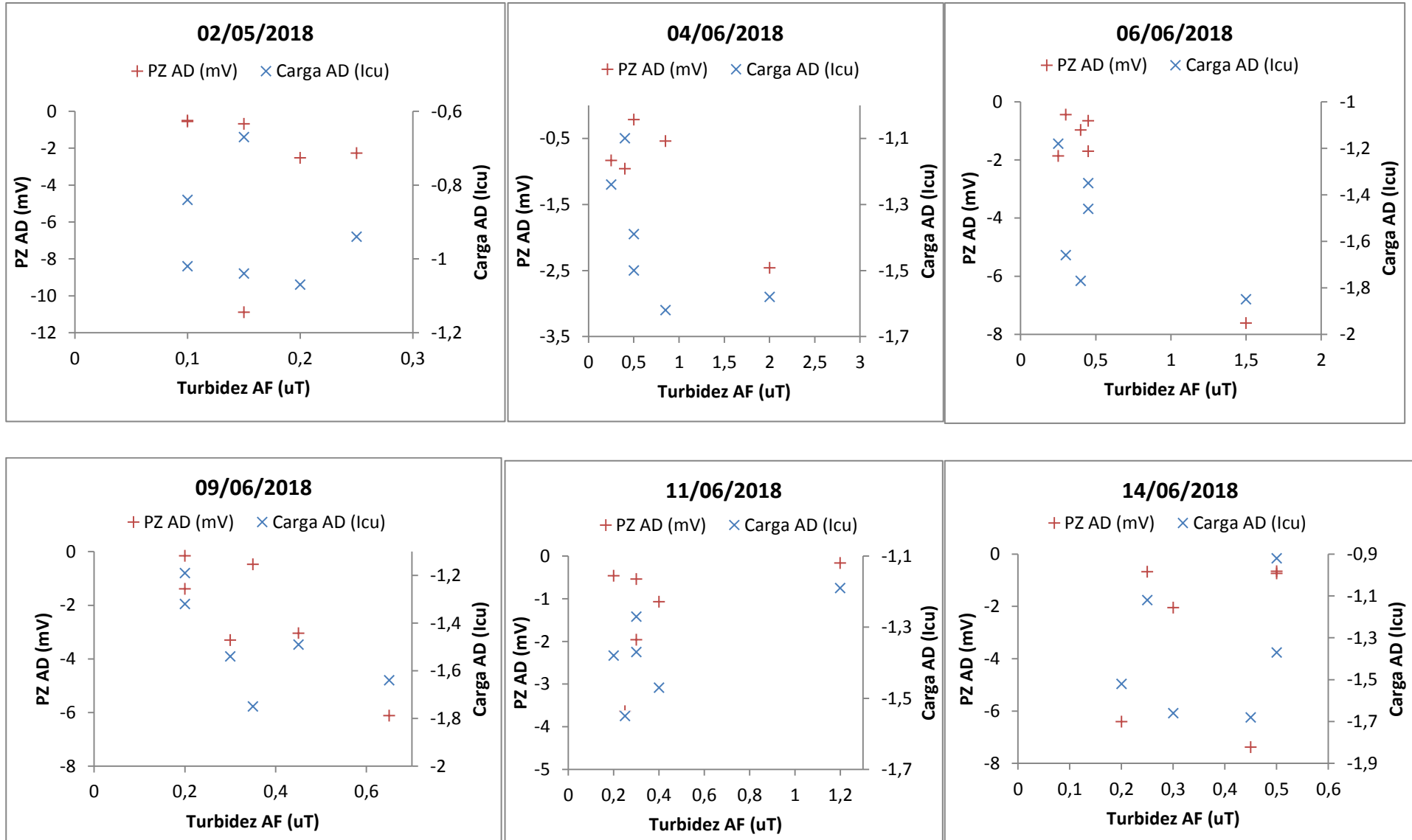


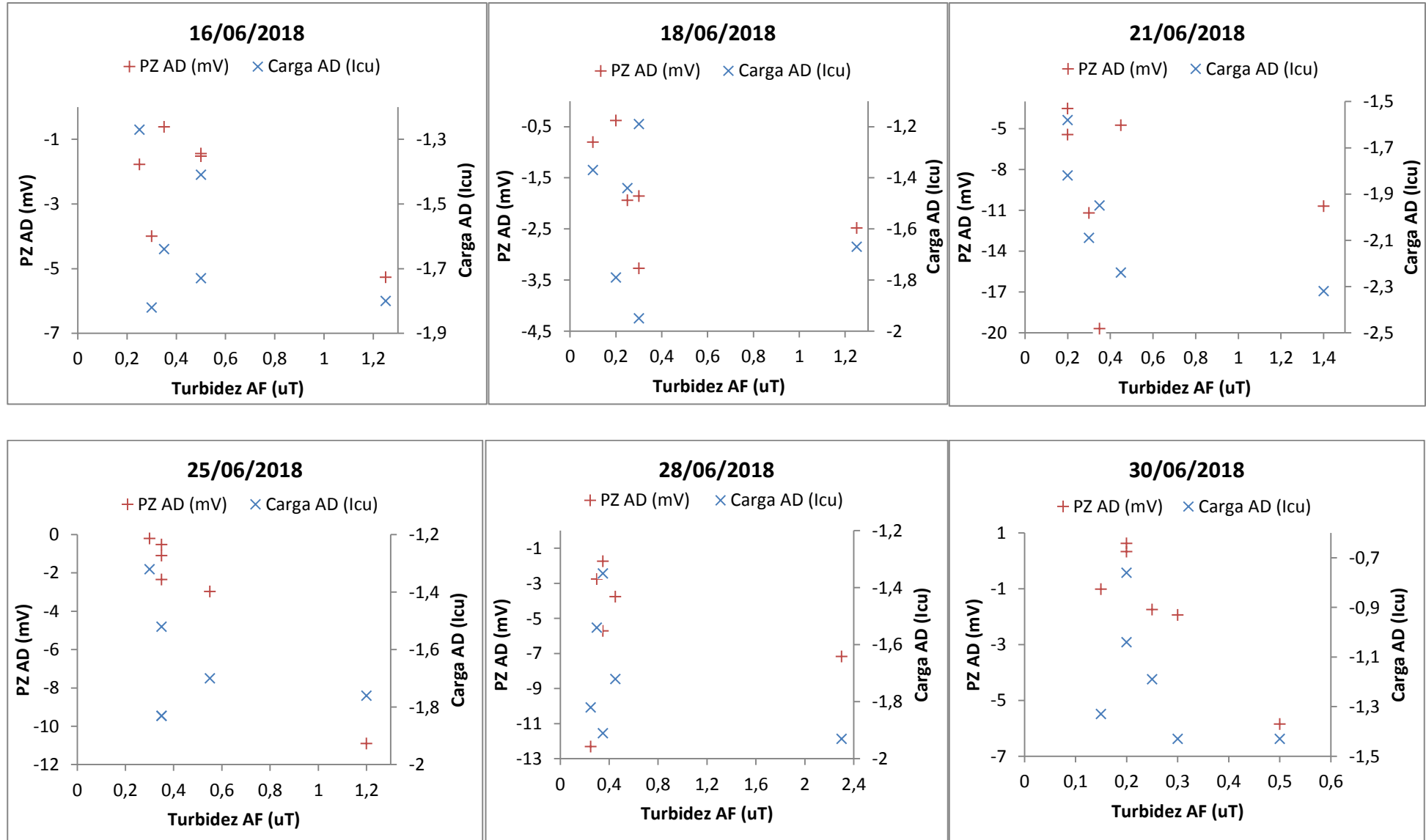


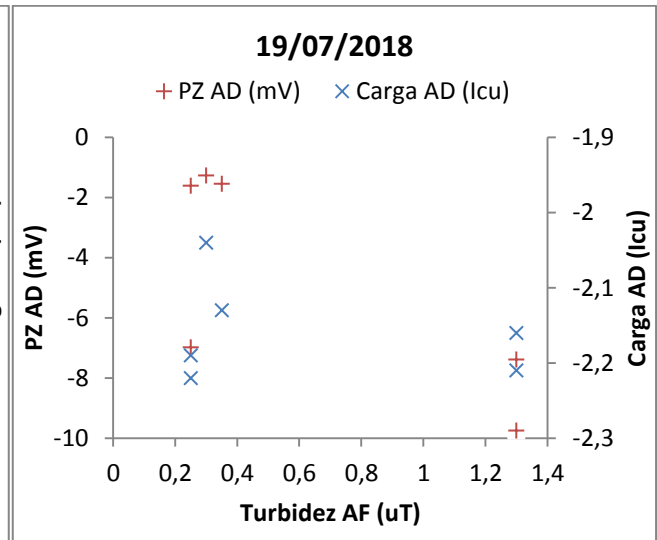
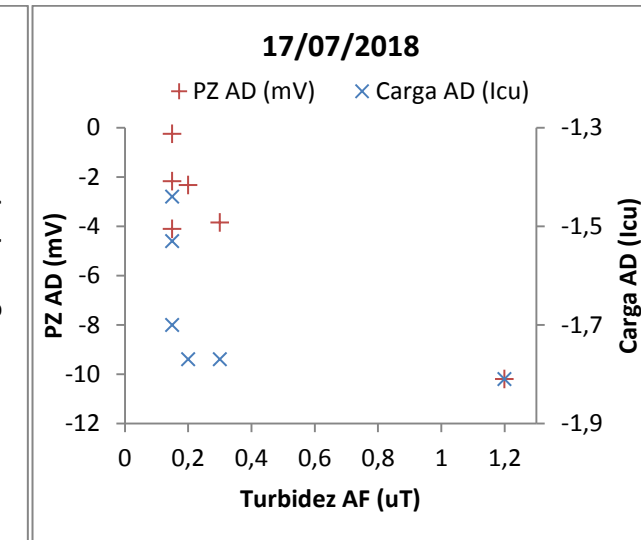
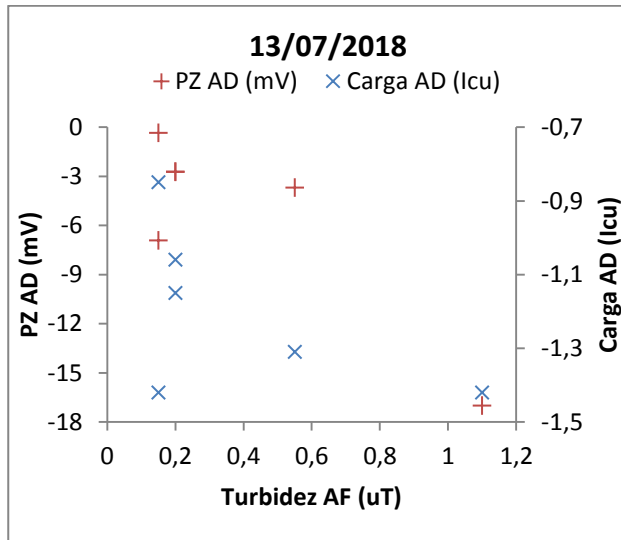
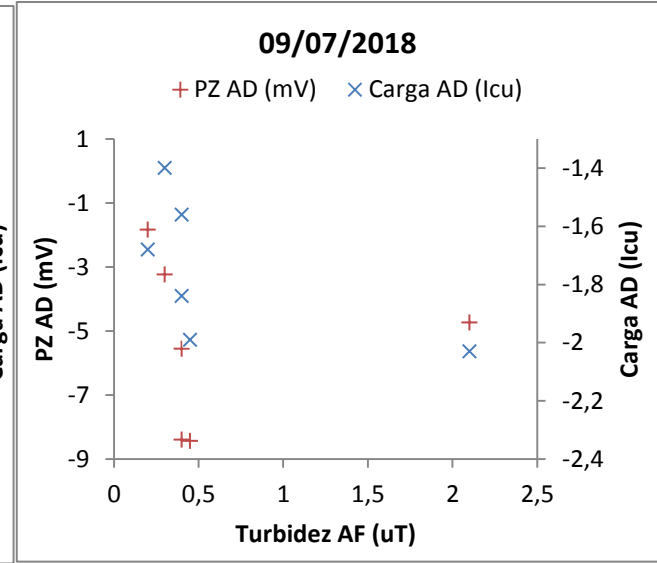
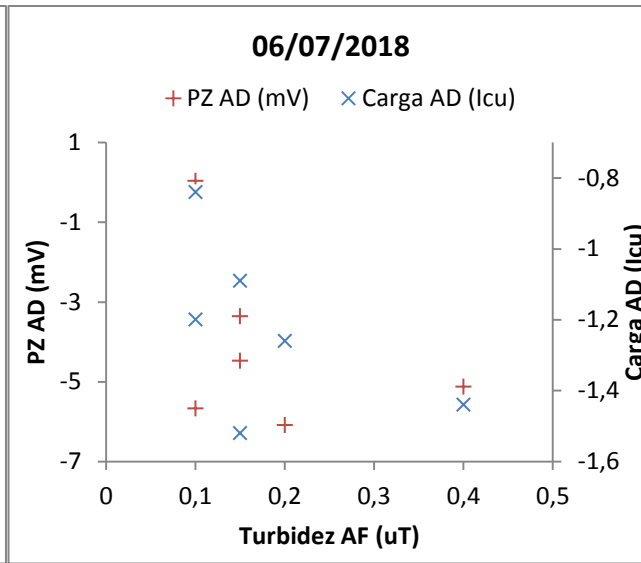
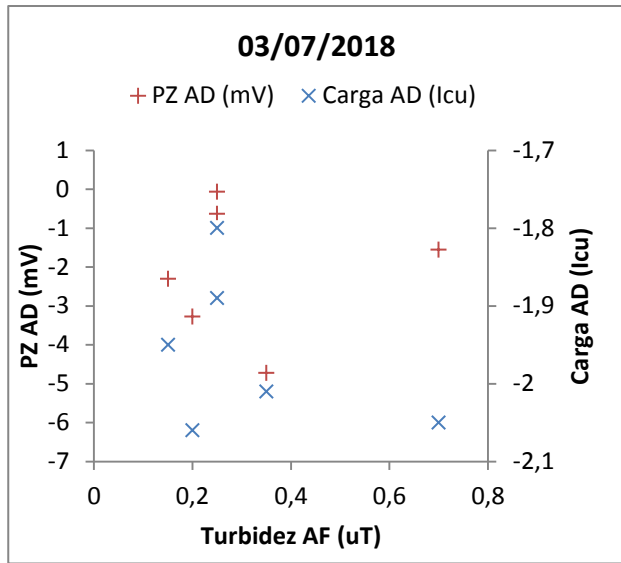


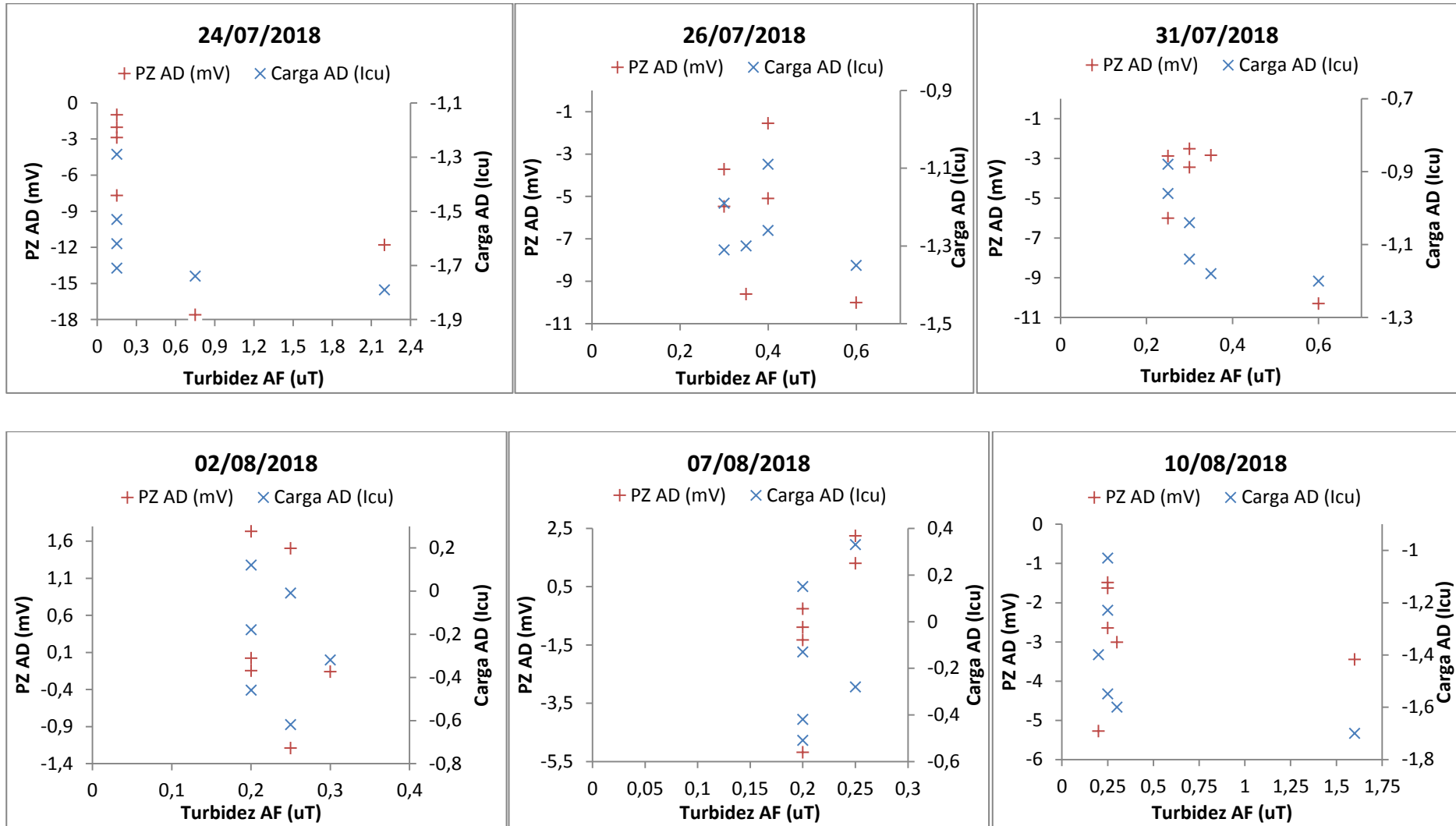


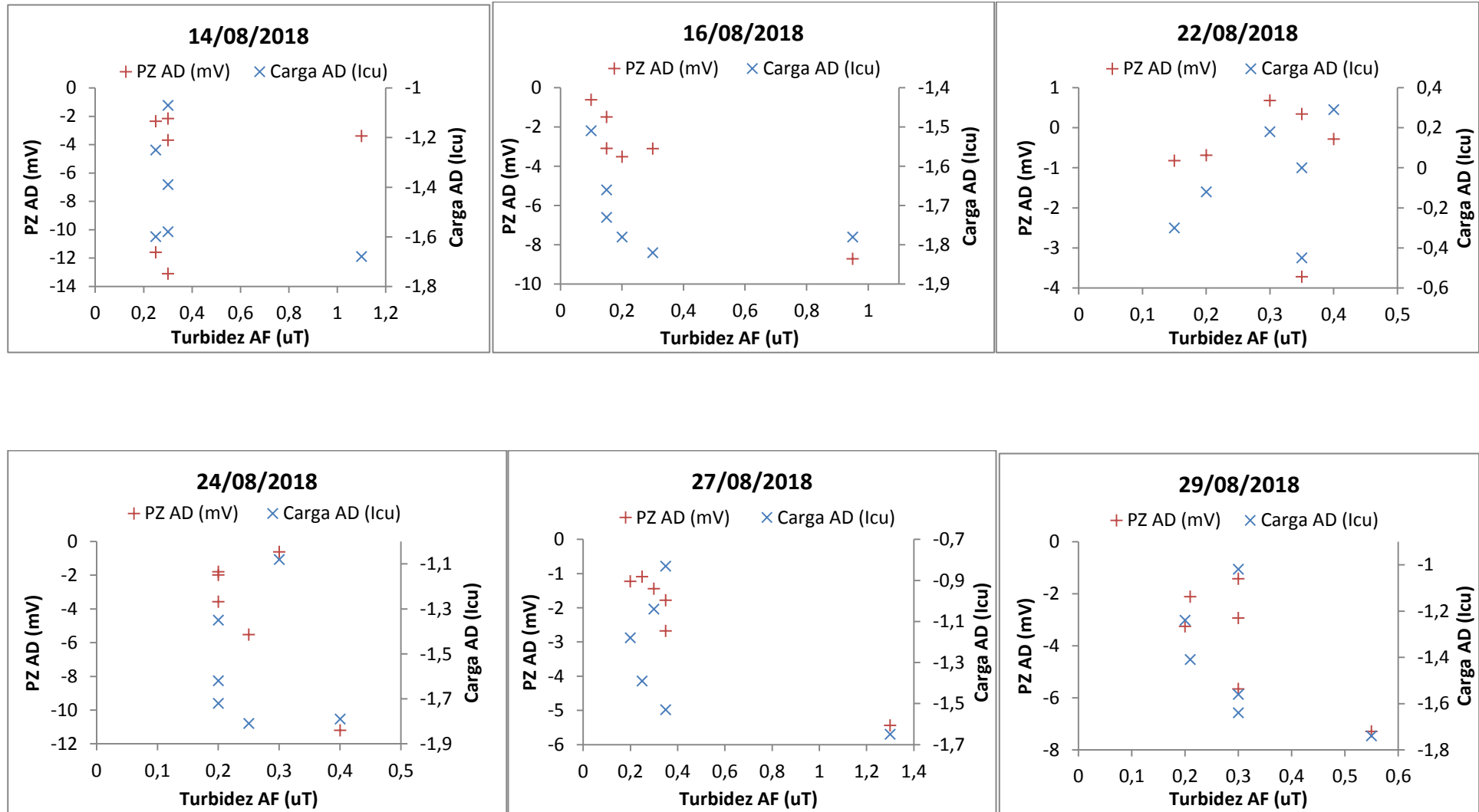


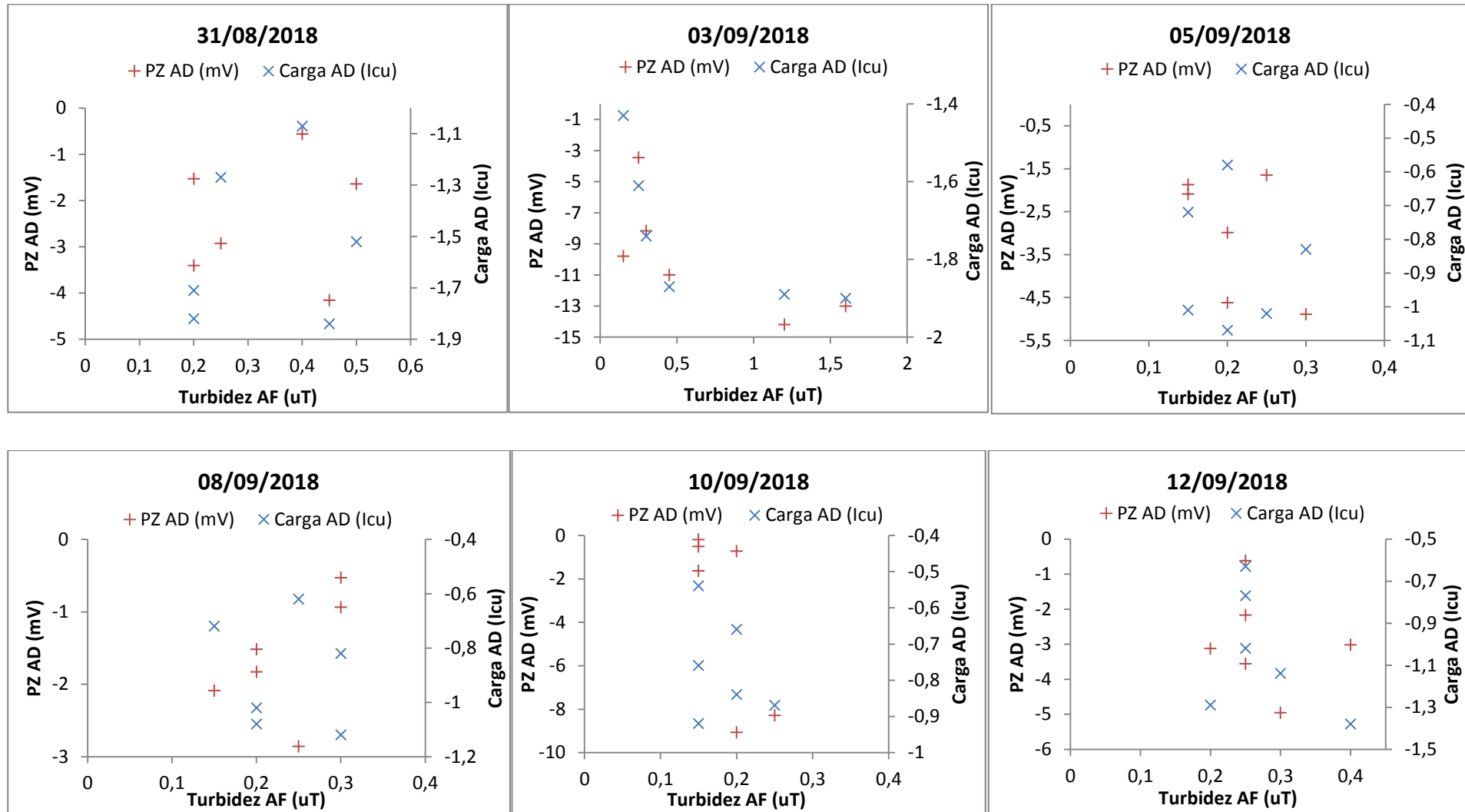




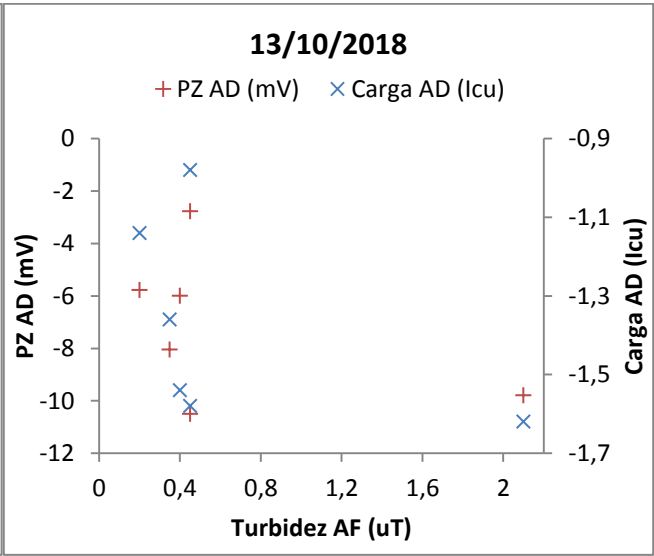
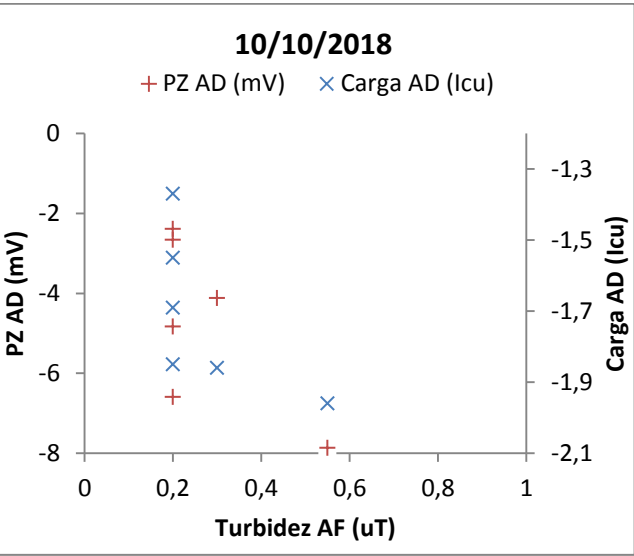
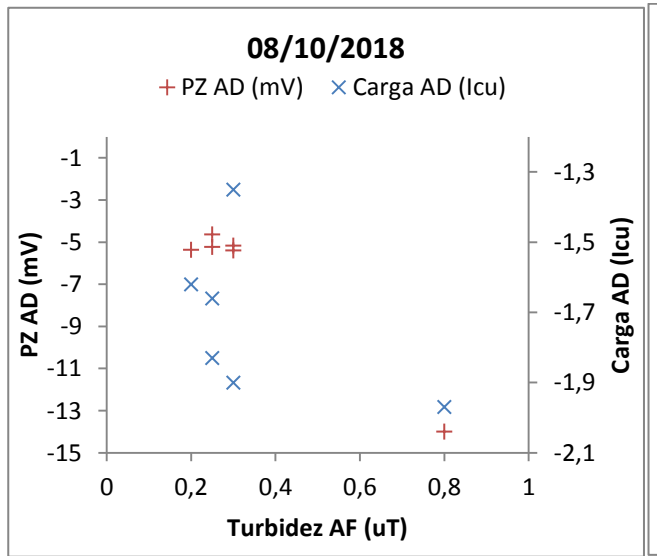
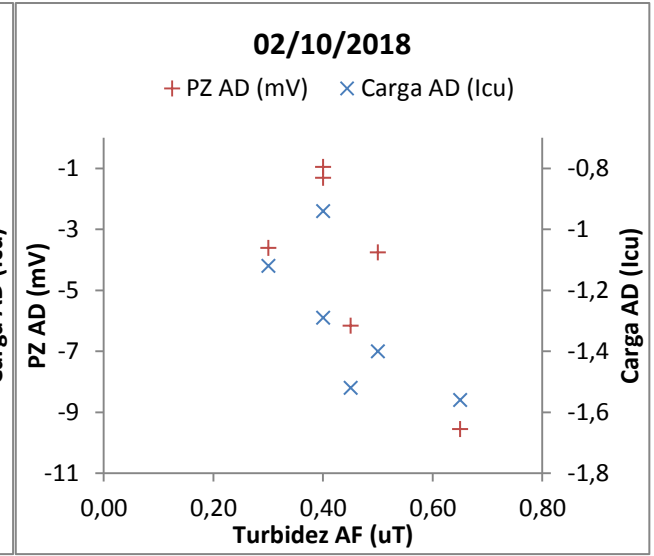
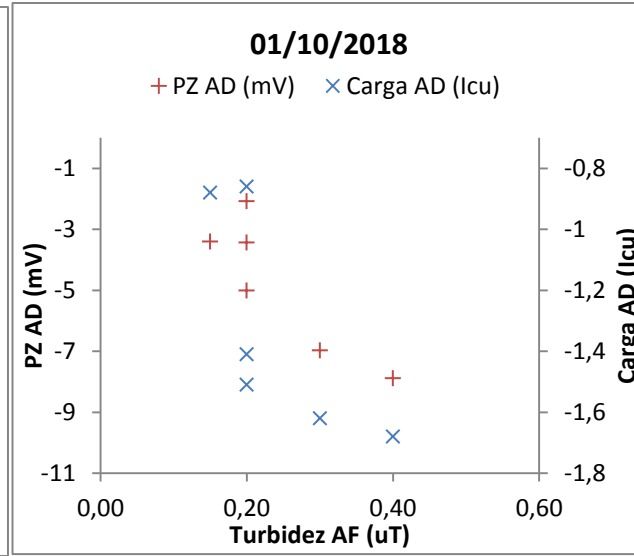
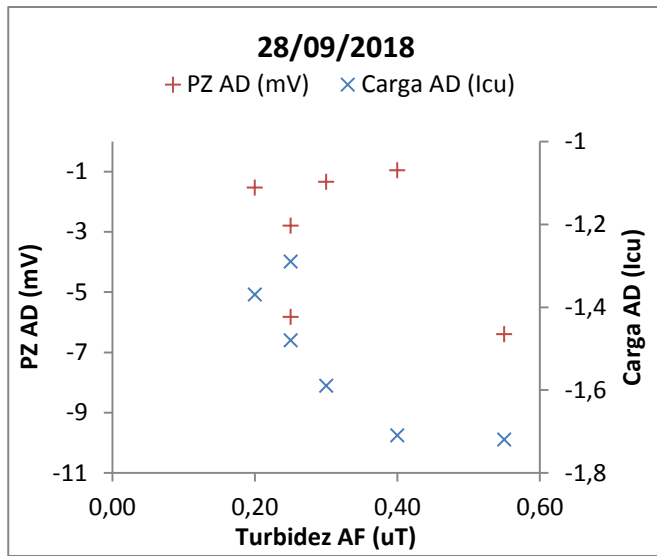


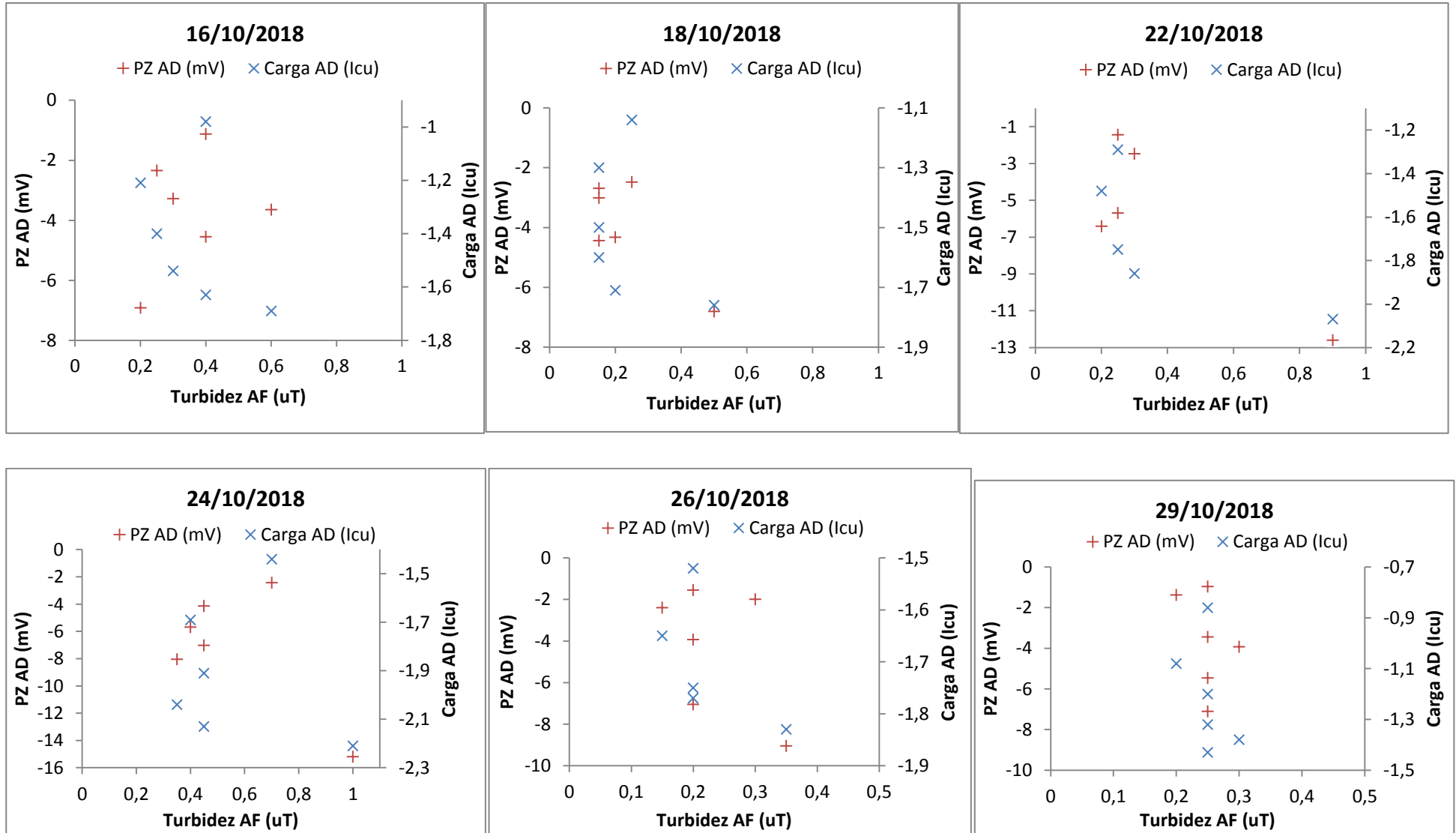


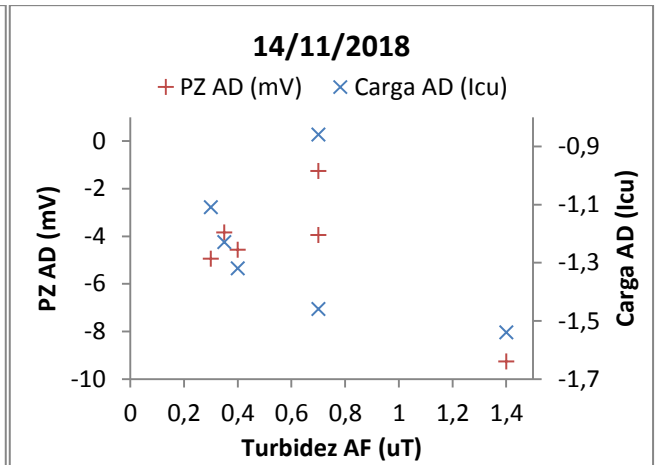
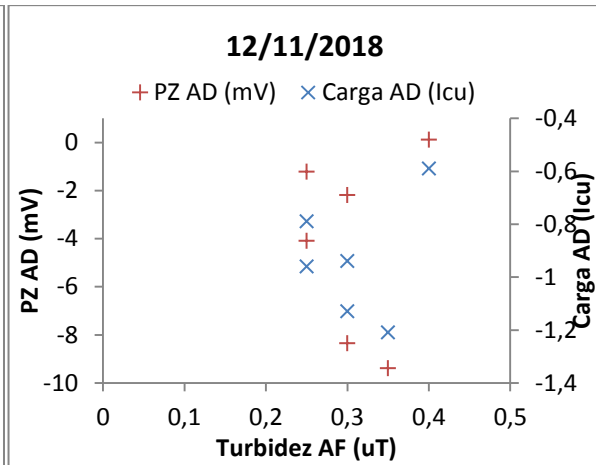
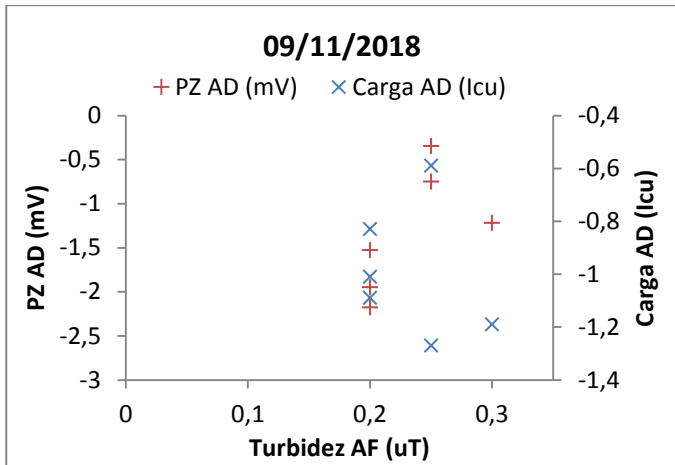
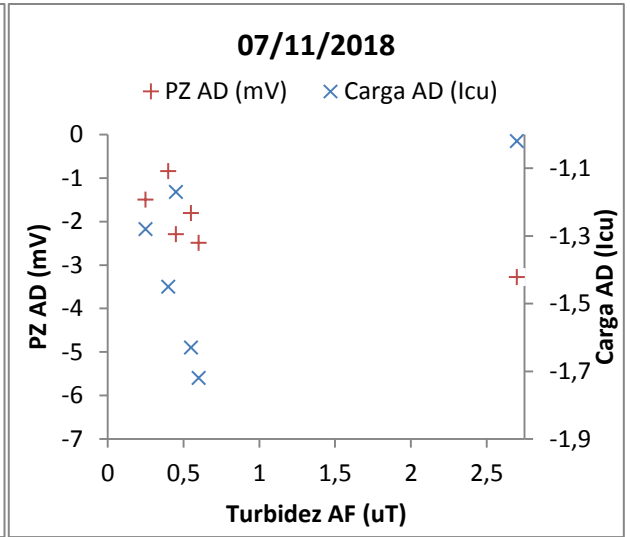
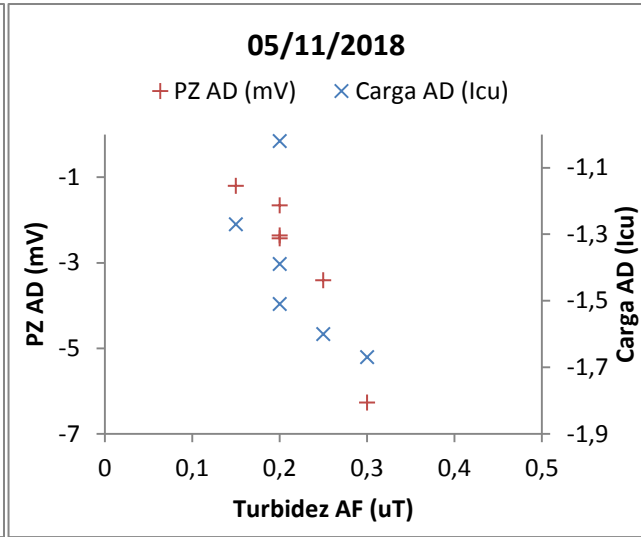
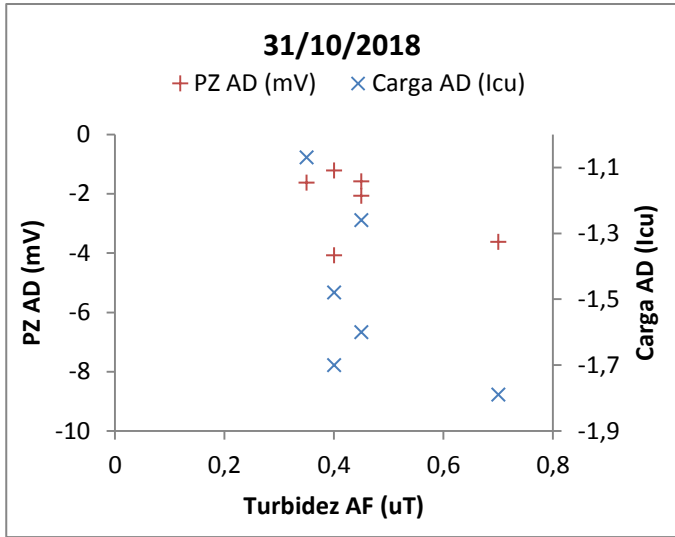


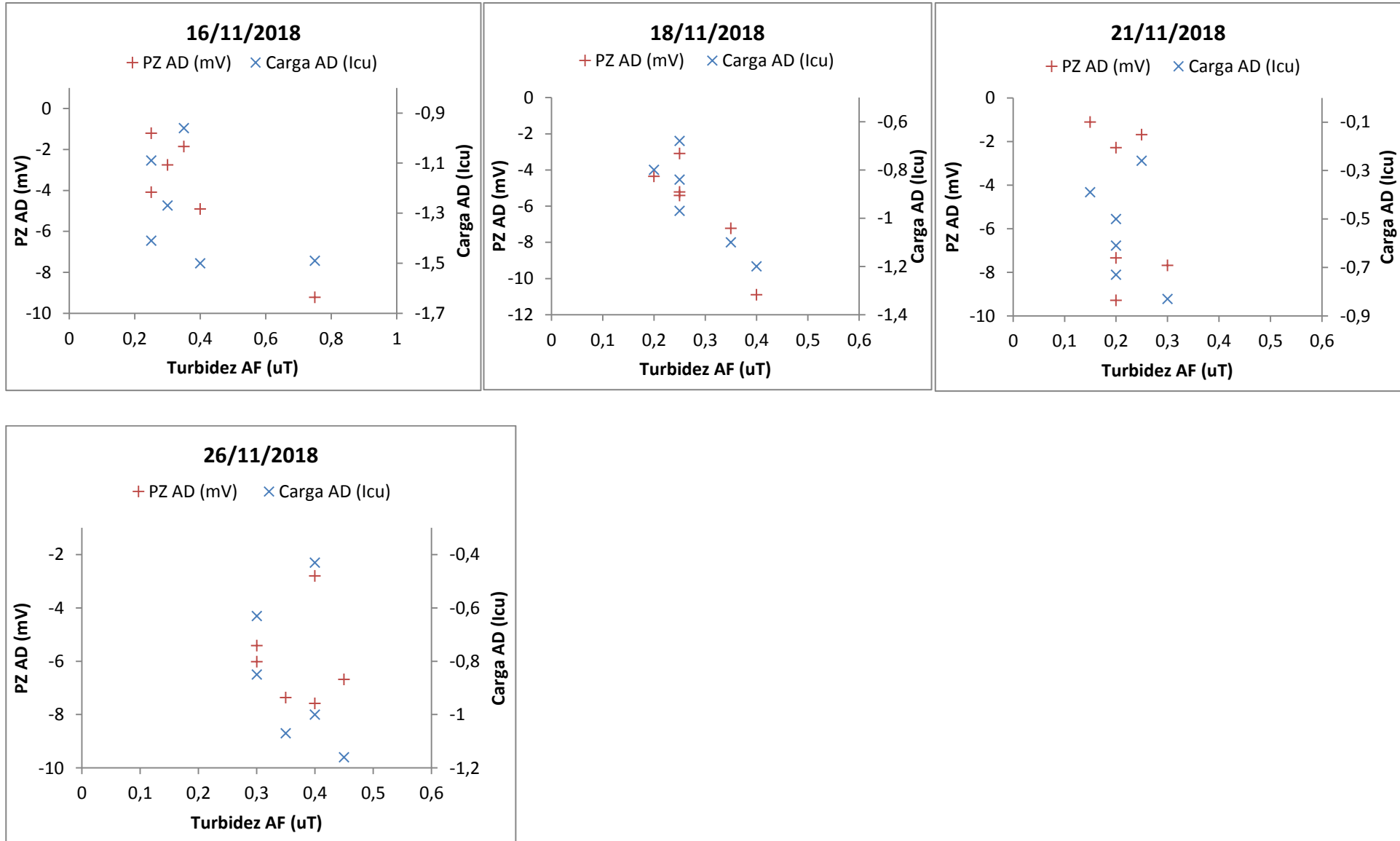












**ANEXO A: RESULTADOS DAS ANÁLISES DE CLOROFILA-A**

Data da coleta	Concentração ( $\mu\text{g/L}$ )	Mês/Ano	Média mensal da concentração ( $\mu\text{g/L}$ )
04/01/2018	14.95	Jan-18	11.21
23/01/2018	9.61		
31/01/2018	9.08		
07/02/2018	4.27	Feb-18	6.65
14/02/2018	8.01		
19/02/2018	7.68		
02/03/2018	7.68	Mar-18	6.49
08/03/2018	6.01		
12/03/2018	7.34		
21/03/2018	6.1		
26/03/2018	5.34		
05/04/2018	6.41	Abr-18	4.99
12/04/2018	3.2		
16/04/2018	5.34		
26/04/2018	5.01		
-	-	Mai-18	-
-	-		
-	-		
-	-		
03/07/2018	12.97	Jul-18	18.12
09/07/2018	12.97		
16/07/2018	19.83		
23/07/2018	26.7		
06/08/2018	26.32	Ago-18	16.69
13/08/2018	9.54		
20/08/2018	11.82		
28/08/2018	19.07		

Data da coleta	Concentração ( $\mu\text{g/L}$ )	Mês/Ano	Média mensal da concentração ( $\mu\text{g/L}$ )
03/09/2018	18.31	Set-18	16.31
10/09/2018	26.7		
17/09/2018	11.82		
26/09/2018	8.39		
01/10/2018	9.92	Out-18	12.67
09/10/2018	16.69		
16/10/2018	10.35		
22/10/2018	13.35		
29/10/2018	13.02		
08/11/2018	12.59	Nov-18	8.39
12/11/2018	5.72		
19/11/2018	10.68		
26/11/2018	4.58		